



Länsstyrelserna

Västra Götaland, Halland och Skåne län



# Bottentråkning och resuspension av sediment

Rapportnr: 2016:36  
ISSN: 1403-168X

Rapportnr: 2016:36

ISSN: 1403-168X

Författare: Andreas Wikström<sup>1</sup>, Torsten Linders<sup>2</sup>, Mattias Sköld<sup>1</sup>, Per Nilsson<sup>2</sup> och Josefina Almén<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Sveriges Lantbruksuniversitet, SLU, Institutionen för Akvatiska Resurser, Havsfiskelaboratoriet

<sup>2</sup>Institutionen för marina vetenskaper, Göteborgs universitet



GÖTEBORGS UNIVERSITET



Rapportansvarig: Anita Tullrot, Enheten för Kosterhavet, Naturavdelningen, Västra Götalands län

Foto: Mattias Sköld

Utgivare: Länsstyrelsen i Västra Götalands län, Naturavdelningen

Rapporten finns som pdf på [www.lansstyrelsen.se/vastragotaland](http://www.lansstyrelsen.se/vastragotaland) under Publikationer/Rapporter.

## Innehållsförteckning

|  |           |
|--|-----------|
| Förord.....  | 5         |
| <b>1. Sammanfattning .....</b>   | <b>6</b>  |
| 1.1. Bakgrund .....  | 6         |
| 1.2. Syfte .....   | 6         |
| 1.3. Genomförande .....  | 7         |
| 1.4. Resultat och slutsatser .....   | 8         |
| <b>2. Summary .....</b>  | <b>10</b> |
| 2.1. Background.....   | 10        |
| 2.2. Purpose.....  | 10        |
| 2.3. Implementation .....  | 11        |
| 2.4. Results and conclusions .....   | 12        |
| <b>3. Introduktion.....</b>  | <b>14</b> |
| <b>4. Metod och Genomförande .....</b>   | <b>16</b> |
| 4.1. Studiemråden och förvaltning .....  | 16        |
| 4.1.1. Koster-Väderöfjorden .....  | 17        |
| 4.1.2. Gullmarsfjorden .....   | 19        |
| 4.1.3. Utsjö Skagerrak.....  | 20        |
| 4.2. Sedimentation och transport av partiklar .....  | 21        |
| 4.2.1. Teoretisk modell av spridningsmönster .....   | 22        |
| 4.3. Databesamling .....   | 23        |
| 4.3.1. Turbiditetsmätare och vattenprov .....  | 24        |
| 4.3.2. LISST-100X .....  | 25        |
| 4.3.3. Provtagningsdesign.....   | 25        |
| 4.4. Statistisk analys av turbiditet.....  | 26        |
| 4.5. Biologiska effekter av resuspension och sedimentering.....  | 26        |
| <b>5. Resultat .....</b>   | <b>29</b> |
| 5.1. Teoretisk modell/beskrivning av spridningsmönster och tidsmässig påverkan av resuspension och sedimentation ..... | 29        |
| 5.1.1. Sedimentplymer orsakade av tråkning .....   | 29        |
| 5.1.2. Sedimentplymer transporterade från andra områden .....  | 31        |
| 5.2. Turbiditet .....  | 33        |
| 5.2.1. Koster-Väderöfjorden .....  | 33        |
| 5.2.2. Gullmarsfjorden .....   | 36        |
| 5.2.3. Utsjö Skagerrak.....  | 38        |
| 5.3. Mätningar av suspenderad volym och partikelstorlekar .....  | 40        |
| 5.3.1. Koster-Väderöfjorden .....  | 40        |
| 5.3.2. Gullmarsfjorden .....   | 42        |
| 5.4. Suspenderat material i vattenmassan .....   | 44        |
| 5.4.1. Koster-Väderöfjorden .....  | 44        |
| 5.4.2. Gullmarsfjorden .....   | 44        |
| 5.5. Biologiska effekter av resuspension och sedimentering.....  | 45        |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>6. Diskussion .....</b>   | <b>50</b> |
| <b>6.1. Åtgärder för att minska sedimentspridning till marina skyddsområden vid trålning .....</b> | <b>52</b> |
| <b>6.2. Resultat och slutsatser .....</b>  | <b>54</b> |
| <b>7. Referenser.....</b>  | <b>56</b> |

## Förord

---

För att kunna skydda värdefulla arter och miljöer, och samtidigt tillåta ett hållbart trålfiske efter räka behövs kunskap om trålfiskets effekter på skyddsvärda arter. Syftet med den här undersökningen var att studera turbiditet och sedimentations-effekter av trålning. Bland annat för att bidra till arbetet med att bestämma lämpliga säkerhetsavstånd mellan skyddsvärda områden och trålning.

Studien har främst skett i Kosterhavets nationalpark och i Gullmarns naturreservat, men även i utsjön i Skagerrak. En mindre sedimentationsstudie har tidigare utförts i Kosterhavets nationalpark, mätningar och resultat från den studien (Trålskyddsuppföljning i Koster-Väderöfjorden, Sedimentationsundersökning i Spiran, Länsstyrelsens rapport 2014:16) har tagits med i denna rapport.

Undersökningen är utförd på uppdrag av Länsstyrelsen i Västra Götalands län inom projekt ”Skydd och förvaltning av marina områden – Västerhavet” där Länsstyrelserna i Västra Götaland, Halland och Skåne samarbetar. Projektet och denna studie har medfinansierats av Havs- och vattenmyndigheten genom anslag 1:12 Åtgärder för havs- och vattenmiljö. Resultaten kommer att kunna användas i framtida förvaltning av skyddade områden i Skagerrak och Kattegatt.

Författarna, som är forskare vid Sveriges Lantbruksuniversitet och Göteborgs universitet, ansvarar i sin helhet för rapportens innehåll och tackas för sin insats.

Anita Tullrot

Enheten för Kosterhavet/Naturavdelningen

Länsstyrelsen i Västra Götalands län

# 1. Sammanfattning

---

## 1.1. Bakgrund

Resuspension eller uppslamning kallas den process när sedimentpartiklar från havsbotten virvlas upp och blandas med ovanliggande vattenmassor. Resuspension av sediment kan ske naturligt genom vågor, bottenströmmar och bioturbation (omlagring av sediment av djur och växter). Resuspension kan också genereras genom mänsklig påverkan till exempel vid muddringsarbete och trålfiske.

En ökad mängd sedimentpartiklar i vattenmassan, kan medföra negativa ekologiska effekter på marin flora och fauna. Mer partiklar i vattnet innebär att mindre solljus kan tränga genom vattenmassan vilket försämrar förutsättningar för primärproducerer som alger och växtplankton, och försämrar livsförutsättningar för ägg och larver av fisk och av ryggradslösa djur (evertebrater). Arter som filtrerar partiklar som t.ex. svampdjur och musslor är beroende av organiska partiklar från bottenvattnet, och förändringar av andel, kvalitet och storlek hos dessa ”födopartiklar” kan påverka födobeteende och kondition hos djuren. En ökad mängd sedimentpartiklar i vattenmassan kan innebära att fler partiklar kommer i kontakt med gälar och slemhinnor vilket riskerar att försämma gasutbyte med vattnet, och i värsta fall att organismer kvävs. Vidare efter suspension kommer partiklar att sjunka till botten och sedimentera. Vid omfattande sedimentering kan organismer komma att helt eller delvis begravas i sediment, fastlevande arter såsom koraller, svampdjur, armfotingar och musslor riskerar då kvävning.

För att förvalta havsområden i Skagerrak och Kattegatt, med bibehållen gynnsam bevarandestatus för skyddsvärda och hotade arter och naturtyper, krävs kunskapsunderlag för att kunna bedöma påverkan från bland annat bottentrålning i anslutning till skyddade områden.

I havsområden med särskilt höga naturvärden som Koster-Väderöfjorden och Gullmarsfjorden har marina skyddsområden inrättats inom vilka verksamheter såsom trålfiske i avgränsade zoner helt eller delvis begränsats för att skydda känsliga arter och naturtyper. En förvaltning som ger ett skydd av kärnvärden mot bottentrålningens direkta fysiska påverkan, samtidigt som verksamheter kan fortgå i direkt närhet till känsliga områden. Skyddsområdena är dock inte inrättade för skydd mot indirekta effekter såsom resuspension av bottensediment genererad av bottentrålfiske. En ökad sedimentation och turbiditet till följd av bottentrålning anges i bevarandeplaner som en möjlig orsak till att gynnsam bevarandestatus inte uppnås.

Rapporten redovisar resultatet av mätningar och beräkningar av resuspension orsakad av bottentrålningar i tre områden längs svenska västkusten under åren 2012, 2014 och 2015.

## 1.2. Syfte

Syftet med studien är att beskriva sambandet mellan trålning och resuspension. Specifikt undersöktes om det finns eventuell effekt från den trålning som idag bedrivs i anslutning till skyddade områden i Skagerrak och Kattegatt. Målsättningen var att resultaten i så hög grad som möjligt ska vara generaliserbara och använd-

bara i förvaltningen av skyddade områden i Skagerrak och Kattegatt, för att bland annat kunna bidra till arbetet med att bestämma lämpliga säkerhetsavstånd mellan skyddsvärda områden och trålning.

I studien ingår följande:

- Kvantifiering av trålningens effekter på resuspension genom att jämföra turbiditet under perioder med och utan trålning, inom och utanför trålskydds-zoner.
- Mätning av storleksfördelningen av partiklar i resuspenderat material.
- Mätning av strömningshastigheter i olika vattenskikt.
- Bedömning av hur långt sedimentpartiklar av olika storlek kan sprida sig genom att kombinera uppmätta värden med modeller för sedimentation.
- Beräkning av de partikelhalter som resuspension från trålning ger upphov till.
- Litteraturstudier för att bedöma om dessa partikelhalter kan orsaka skada på de arter och biotoper som förekommer längs svenska västkusten.

### 1.3. Genomförande

Turbiditet har mätts i Koster-Väderöfjorden, Gullmarsfjorden samt översiktligt i ett utsjöområde i Skagerrak som bland annat omfattar Natura 2000-området Bratten. Under 2015 mättes dessutom suspenderad volym fördelad på olika partiklars storlek.

Inom Koster-Väderöfjorden har mätningar av vertikala profiler genomförts under totalt elva dagar åren 2012, 2014 och 2015. Vid mätningarna uppmättes vertikala profiler i vattenmassan under söndagar respektive måndagar. Mätningar av resuspension under söndagar har fungerat som kontroll då inget trålfiske bedrivs under fredag till söndag. På måndagar trålas det i Koster-Väderöfjorden efter nordhavsräka och en trålinducerad resuspension borde då vara att vänta i vattenmassan; skillnad i resuspension mellan söndagar och påföljande måndagar kan därför betraktas som en effekt av en dags fiske. Aktiv trålning under måndagar, respektive frånvaro på söndagar verifierades med satellitövervakningsdokumentation (VMS), loggböcker, AIS och visuella observationer av trålare under mätningarna.

I Gullmarsfjorden genomfördes mätningar av vertikala profiler vid två tillfällen under 2014 och 2015. Den första studien var en mätserie under två dagar i november 2014. Syftet var att studera de direkta effekterna av trålinducerad resuspension genom mätning av vertikala profiler. Mätningar genomfördes när inget trålfiske förekom (24/11) och samtidigt som trålfiske (ett tråldrag) genomfördes (25/11).

Under april 2015 genomfördes en mätning i samband med att en räkrålare var inne i Gullmarsfjorden och fiskade. Mätningar av vertikala profiler genomfördes i fem områden i Gullmarsfjorden. I områdena A och B hade trålaren nyligen utfört ett tråldrag. I område C genomfördes mätningar bakom trålaren i samband med att fartyget genomförde det andra tråldraget för dagen. Områdena D och E är placerade utanför det trålfisketillåtna området i Gullmarsfjorden, sydväst om färjeleden Skår - Finnsbo.

I Skagerrak (utsjö) genomfördes mätningar under fyra dagar i april 2015, där totalt 16 vertikala profiler uppmättes. Syftet var att samla in information om bakgrundsnivåer av turbiditet och partikelkoncentrationer från öppna delar av Skagerrak för

att kunna jämföra med vad som uppmätts längs kusten i Koster-Väderöfjorden och Gullmarsfjorden.

#### **1.4. Resultat och slutsatser**

##### **Bakgrundsvärden av suspenderat material i Koster-Väderöfjorden varierar**

Bakgrundsvärdena av turbiditet i Koster-Väderöfjorden och Gullmarsfjorden varierar över tid. Undersökningarna visar att en ökad turbiditet är kopplad till perioder med stark vind. Mätningarna, kombinerade med beräkningar av sedimentationshastigheter visar att partiklar i suspension från omkringliggande områden också kan tillföras Kosterrännans och Gullmarsfjordens djupare delar. Långsamt sjunkande partiklar kan vara suspenderade på alla djup och kan tillföras genom vattenutbyten ovan tröskeldjupen. Partiklar med högre sjunkhastighet kan förbli i suspension i ett gränslager nära botten. Dessa partiklar kan transporteras med strömmar i botten nära vattensikt och sjunka nedåt utefter sluttningarna när de når Kosterrännans och Gullmarsfjordens djupare delar.

##### **Halterna av suspenderat material höjs under dagar med trålning**

Turbiditeten höjs i Koster-Väderöfjordens och Gullmarsfjordens djupare vattensikt där trålning sker (60 - 150m) under de dagar då trålningen pågår. Motsvarande höjningar noteras inte i vattenmassorna ovanför trålningsdjupen. Mönstret återkommer i mätningarna av volym suspenderade partiklar, där ses en förhöjning efter trålning. Tydligast är skillnaden för medelstora partiklar (0,01 – 0,1 mm). Förhöjningen av turbiditet i Koster-Väderöfjorden är i medelvärde 0,047 NTU enheter, motsvarande en halt av suspenderat material på 0,057 mg torrvtikt/l. Resultatet representerar effekten av en dags trålfiske. Effekten orsakas av partiklar med tillräckligt låg sjunkhastighet för att vara kvar i suspension under tiden (timmar) från trålning till mätning. Fisket bedrivs under måndag till torsdag och för att beskriva effekten under en hel veckas fiske bör resultatet multipliceras med 4 (4 dagars fiske); den totala mängden suspenderat (långsamt sjunkande) sediment som tillförs vattenmassan under en vecka är ca 0,23 mg/l.

Nivåerna av de medelhalter av suspenderat material som beräknats är relativt låga jämfört med värden från experimentella undersökningar där effekter på fysiologi ( $\geq 5$  mg/l) och beteende konstaterats ( $\geq 3$  mg/l). Skillnaden i medelhalter av suspenderat material mellan dagar utan trålning och dagar med trålning är mindre än variationen av bakgrundsvärdena.

##### **Höjningen av suspenderat material kan i de trålade vattenmassorna vara så hög att den under kortare perioder når nivåer som visat sig vara negativa för vissa organismer**

Trålningen orsakar partikelplymer i vattenmassan med hög turbiditet vilket medför att variationen i vattenpelaren ökar med i snitt 75 % under dagar då det trålas. Motsvarande mönster finns för suspenderad volym av partiklar; framförallt varierar volymen av de medelstora partiklarna (grov silt) kraftigt efter trålning. På vissa lokaler och djup har det uppmätts partikelhalter över 5 mg/l under dagar med trålning. Resultatet innebär att under kortare perioder (timmar) i avgränsade vattenpaket, uppnås så höga värden att vissa organismers fysiologi och beteende kan påverkas. En genomgång av vetenskaplig litteratur visar att generellt är arter som lever på mjukbottnar mindre känsliga för övertäckning eller förhöjda sedimentationsmängder än arter som lever på hårdbottnar eller i fria vattenmassan. De organismer



som visat störst känslighet för förhöjd turbiditet är fisk ( $\geq 3$  mg/l) och larver ( $\geq 5$  mg/l), medan vuxna individer av fastsittande organismer som ögonkorall och svampdjuret *Geodia baretii* är mer toleranta ( $>10$  mg/l).

#### **Resuspension av material från trålning kan leda till förhöjda bakgrunds nivåer av suspenderat material**

Efter att trålningen avslutas under torsdagar avtar turbiditeten i Kosterrännan. De partiklar som dominerar det suspenderade materialet är dock så små att de har långsam sjunkhastighet. Beräkningarna i studien visar att de därför kommer att stanna i suspension i vattenmassan och påverka nivåerna under längre tid än de stopperioder (fredag-söndag) som tillämpas av trålfisket. Det tillskott av suspenderat material som trålningens resuspension tillför, inom de djup där trålning är tillåtet, kommer därför att blandas med partiklar som finns suspenderade av naturliga orsaker. Sammantaget leder detta till långsiktigt förhöjda bakgrundsvärden. Resultatet bekräftas av våra mätningar som visar att bakgrunds nivåerna kan vara påverkade av trålning eftersom turbiditetsprofiler i djupled, under söndagar då trålning inte förekommer, uppvisar förhöjda värden inom de vattenmassor ( $> 60$  m) där trålningen bedrivs.

#### **Små skyddsområden kan minska spridningen av resuspension för stora partiklar men inte för små till medelstora partiklar**

Små (cirka 300 m) skyddszoner och områdesskydd kan ge ett visst skydd mot resuspension och spridning av stora partiklar (större än 0,05 mm). Skydd av mindre områden är dock inte en effektiv åtgärd för skydd mot ökad sedimentspridning från bottentrålning om de bottenar som trålas består av fina (mindre än 0,05 mm) sediment, dvs. silt och lera. Minskning i resuspension åtgärdas mest effektivt med en omställning till passiva redskap t.ex. fiske med burar i känsliga områden. Möjligheter finns också att minska det hydrodynamiska motståndet i olika delar av trålen, särskilt underställ och trålbord. Fiskeansträngningen kan också regleras med olika strategier beroende på vad för organismer som är utsatta. Exempelvis skulle regleringar i tid för att till exempel undvika påverkan på känsliga livsstadier som ägg och larver, kunna vara effektivt.

## 2. Summary

---

### 2.1. Background

The report shows the result of measurements and calculations of resuspension caused by bottom trawling in three areas along the Swedish west coast during years 2012, 2014 and 2015.

Resuspension is the process by which sediment particles from the seabed is swirled up and is mixed with the overlying water. Resuspension of sediment can occur naturally through waves, bottom currents and bioturbation (redistribution of sediment by animals and plants). Resuspension can also be generated through human influences such as dredging and trawling.

Increased amounts of sediment particles in the water can bring by negative ecological effects on marine flora and fauna. More particles in the water body implies less permeability for sun light which impairs conditions for primary producers such as algae and phytoplankton and worsen the living conditions for eggs and larvae of fish and invertebrates. Species like sponges and mussels which filter particles depend on organic particles from the bottom water, and changes in the proportion, quality and size of these “feeding particles” can affect the feeding behaviour and fitness of those species. An increased amount of particles in the water implicates more particles coming in contact with gills, and mucous membranes risking disturbance of gas exchange with the water, and at worst, the suffocation of organisms. Furthermore, resuspended particles sink and sedimentation follows. Substantial sedimentation can lead to the partial or complete burial of organisms. Sessile organisms such as corals, sponges, brachiopods and mussels risk suffocation.

To manage the seas and maintain favourable conservation status for protected and threatened species and habitats, a knowledge base is required to assess the impact of e.g. bottom trawling adjacent to protected areas.

In marine areas with particularly high natural values, such as the Koster-Väderö fjord and the Gullmar fjord, marine protected areas have been established where activities such as trawling in delimited zones have been partially or completely limited to protect sensitive species and habitats; a management which protects core natural values against the direct physical impact of bottom trawling, whilst activities can proceed in direct proximity to the sensitive areas. However, the protected areas are not established to protect against indirect effects such as resuspension of bottom sediment generated by bottom trawling. An increased sedimentation and turbidity due to bottom trawling is mentioned in conservation plans as a possible cause of unachieved favourable conservation statuses.

### 2.2. Purpose

The purpose of the study is to describe the connection between trawling and resuspension. We specifically evaluate the possible effect of trawling conducted today adjacent to or in protected areas on the Swedish west coast. The aim was to present generalizable results useful in the management of protected areas e.g. to identify appropriate buffer zones between trawled and protected areas.

The study includes the following:

- Quantifying the effects of trawling on resuspension by comparing turbidity during periods with and without trawling, inside and outside of protected areas.
- Measurement of particle size distribution in resuspended matter.
- Modelling of settling velocities and distribution of measured particles.
- Calculation of the particle content caused by the resuspension due to trawling.
- Literature studies to estimate if this particle content can cause damage to species and habitats along the Swedish west coast.

### **2.3. Implementation**

Turbidity was measured in the Koster-Väderöfjord, the Gullmar fjord and briefly in a region in the Skagerrak including the Natura-2000 area Bratten. Moreover, in 2015 suspended volume distributed on different particle sizes was measured.

In the Koster-Väderöfjord vertical profiles was measured during altogether eleven days during the years 2012, 2014 and 2015. Vertical profiles of the water column were measured during Sundays and Mondays. Measurements of resuspension on Sundays have worked as a control as no trawling takes place during Friday through Sunday. On Mondays the Koster-Väderöfjord is trawled for pink shrimp (*Pandalus borealis*), and a trawling-induced resuspension of sediment is to be expected; a change in resuspension between Sundays and following Mondays can be considered to be the effect of one day's fishing. Active trawling during Monday's, and its absence during Sundays was verified using vessel monitoring system (VMS), log books, AIS and visual observations of trawlers during measurements.

In the Gullmar fjord measurements of vertical profiles were conducted at two occasions during 2014 and 2015. The first study was a series of measurements during two days in November 2014. The purpose was to study the direct effect of trawling-induced resuspension with vertical profiles. Measurements were conducted when no trawling took place on the 24th and during trawling (one effort) on the 25th.

During April 2015 a measurement was conducted in conjunction with a trawler fishing in the Gullmar fjord. Measurements of vertical profiles were conducted in five areas of the Gullmar fjord. In areas A and B the trawler recently had conducted an effort. In area C measurements were conducted behind the trawler in connection with its second trawl effort of the day. Area D and E are placed outside of the trawling zone in the Gullmar fjord southwest of the ferry line Skår-Finnsbo.

In the open parts of Skagerrak measurements were conducted during four days of April 2015, where altogether 16 vertical profiles were measured. The purpose was to collect information on background-levels of turbidity and particle concentrations from open parts of Skagerrak to compare with measurements from the Koster-Väderöfjord and the Gullmar fjord.

## 2.4. Results and conclusions

### **Background levels of suspended matter in the Koster-Väderöfjord vary**

The background levels of turbidity in the Koster-Väderöfjord and the Gullmar fjord varies over time. The surveys show an increased turbidity coupled with periods of strong wind. The measurements, combined with calculations of sedimentation rates show that suspended particles in adjacent areas can be transported to the deeper parts of the Koster trench and the Gullmar fjord. Particles sinking slowly can be present in all depths and be contributed from water exchange over the sill depths. Particles with higher sinking rate can remain in suspension in a boundary layer close to the bottom. These particles can be transported with currents in the layer of water close to the bottom and sink downwards along the slopes as they reach the deeper parts of the Gullmar fjord and the Koster trench.

### **The amount of suspended material is increased during days of trawling**

During trawling days, in the Koster-Väderöfjord and the Gullmar fjord, turbidity increases in depth where trawling occurs (60-150 m). The corresponding increase is not observed in the water above the trawling depths. The pattern returns in the measurements of volume suspended particles where an increase is observed after trawling. The difference is most evident in medium sized particles (0.01-0.1 mm). The mean increase in turbidity is 0.047 NTU, correspond to 0.057 mg dry weight/l. The result represents the effect of one day's trawling. Trawling is conducted from Monday until Thursday, and in order to describe the effect from one week of trawling the result should be multiplied with 4 (4 days of trawling). The total amount of suspended (slowly sinking) sediments that is added to the water mass during one week is approximately 0.23 mg/l.

The calculated mean amount suspended matter, are relatively low compared to levels which in experimental studies are shown to have physiological ( $\geq 5$  mg/l) and behavioral ( $\geq 3$  mg/l) effects. The difference in mean suspended matter content between days with and without trawling is less than the variation in background levels.

### **The increase in suspended matter can in trawled water bodies become so high that during short periods of time it reaches levels negative for some organisms**

The trawling causes plumes of particles with high turbidity in the water body, which brings about an increase of variation with 75 % on average during trawling days. A corresponding pattern is present in the suspended volume of particles; primarily the volume of the medium sized particles varies considerably after trawling. In certain areas and depths particle content of 5 mg/l has been measured during days with trawling. The results indicate that during short periods of time (hours), in limited bodies of water, levels high enough to affect the physiology and behaviour of certain organisms. Our literature survey shows that species living on soft bottom substrate are generally less sensitive to burial or increased levels of sedimentation than are species living on rocky bottom substrate or in the pelagic. Organisms showing the largest sensitivity to increased turbidity are fish ( $\geq 3$  mg/l) and larvae ( $\geq 5$  mg/l), whilst adult individuals of sessile organisms such as *Lophelia pertusa* and the sponge *Geodia baretii* are more tolerant ( $\geq 10$  mg/l).

**Resuspension of material due to trawling can lead to increased background levels of suspended material**

When trawling activities cease on Thursdays, turbidity in the Koster trench is decreased. However, the particles dominating the suspended material are small and have a low sinking rate. We estimate that those particles will stay in suspension and affect levels during periods of time exceeding the trawl free periods (Friday-Sunday). The addition of suspended material caused by trawling at the trawling allowed depth, will mix with the matter suspended by natural causes. Together it leads to long term increased background levels. The result is confirmed by our measurements showing the possible effect of trawling on background levels since turbidity profiles during Sundays still, show increased levels of suspended matter at depths where trawling occur (> 60 m).

**Small protected areas can decrease the spread of resuspension of large particles but not of small to medium sized particles**

Small (ca 300 m wide) buffer zones can give some protection against the resuspension and spread of large particles (> 0.05 mm). However, a buffer zone within that range i.e. hundreds of meters, will not be an effective measure against increased sedimentation from bottom trawling if the trawled bottoms consist of fine sediment (smaller than 0.05 mm) i.e. silt and clay. The most effective measure in reducing resuspension will be to switch from mobile fishing gears like trawls to use passive fishing gear like pots in sensitive areas. It's also possible to reduce the hydrodynamic drag in various parts of the trawling gear, especially the ground gear and otter boards, and thereby reduce the resuspension caused by the trawl gear. Fishing efforts can also be regulated with different strategies depending on the organisms being subject to exposure. For example, regulations in time to avoid affecting sensitive life stages such as eggs and larvae could be effective.

### 3. Introduktion

---

Resuspension eller uppslamning kallas den process när sedimentpartiklar från havsbotten virvlas upp och blandas med ovanliggande vattenmassor. Resuspension av sediment kan ske naturligt genom vågor, bottenströmmar och bioturbation. Bioturbation kan beskrivas som omlagring av sediment från djur och växter. Bioturbation medför resuspension endast på en mycket lokal skala, några cm ovanför havsbotten, medan strömmar och vågor kan ha en mer regional påverkan och en stor rumslig variation. I djupa havsområden är påverkan från naturlig resuspension mycket låg men kan genereras vid mycket kraftiga stormar; exempelvis har effekter av resuspension mätts ned till och med 130 m djup utanför Kaliforniens exponerade kuststräcka (Sherwood et al., 1994). För svenska förhållanden, exempelvis i Östersjön, beskrivs emellertid detta sällan ske djupare än 50 – 70 m (Danielsson et al., 2007). Inom grunda områden sker naturlig resuspension regelbundet. Resuspension kan också genereras genom mänsklig påverkan till exempel vid muddringsarbete och trålfiske. Jämförelser mellan hydrodynamiska störningar av havsbotten med mekanisk störning av sedimentet på grund av trålfiske visar att trålningen kan generera mer resuspension än naturliga processer på djupare botten (Floderus & Pihl, 1990; Diesing et al., 2013; Martin et al., 2014; Tjensvoll, 2014).

Studier visar att fiske med bottenrål medför förändring av havsbottens morfologi (t.ex. Puig et al., 2012). Påverkan orsakas av de delar av trålen som står i direkt kontakt med havsbotten i samband med fiskets bedrivande. Det största bidraget till resuspension orsakas dock av det hydrodynamiska motståndet som uppstår i vattenmassan ovan botten när utrustningen dras fram genom vattenmassan till att resuspendera stora mängder sediment vilka också sprids till omkringliggande och även till djupare områden (O'Neill & Summerbell., 2011, Martin et al., 2014, Puig et al. 2015). Vid fiske med en bottenrål av modell ”rockhopper”, som traditionellt används av den skotska fiskeflottan, resuspenderas mellan 12,4 till 69,3 kg/m<sup>2</sup> substrat (O'Neill & Summerbell., 2011). På havsbotten med botten substrat av finare karaktär till exempel silt resuspenderas mer substrat jämfört med områden bestående av grövre botten substrat till exempel sand. Det hydrodynamiska drag som genereras av trålen olika delar är högst för tråldörrarna (O'Neill & Summerbell., 2011). Trålinducerad resuspension av ackumulerat sediment kan också bidra till en reduktion av halten organiskt innehåll i ytsedimentet, vilket kan bidra till att tillgängliggöra näringspartiklar (Dounas et al., 2007) och föroreningar (Bradshaw et al., 2012). Ökad suspension av partiklar i vattenmassan med förhöjd turbiditet (grumlighet) som följd kan medföra negativa ekologiska effekter på marin flora och fauna. De negativa ekologiska effekterna uppstår på grund av reducerad mängd solljus vilket kan leda till försämrade förutsättningar för primärproducenter (Moore et al., 1997), reducerad överlevnad för ägg och larver hos fisk och evertebrater (Westerberg et al., 1996; Gilmour, 1999; Larsson et al., 2013). Suspensionsätare som svampdjur är selektiva med hänsyn till födoval och är beroende av organiska partiklar från bottenvattnet. Förändringar av kvalitet och storlek hos partiklar på grund av resuspension av sediment kan därför påverka syrekonsumtion och födobe-teende (Tjensvoll et al., 2013; Kutti et al. 2015). Fisk kan också vara känslig mot förhöjda halter av sediment i vattenmassan på grund av att gälarna täpps till (Humborstad et al., 2006).

I vissa havsområden med höga naturvärden som till exempel i Kosterfjorden, Bratten och Gullmarsfjorden i Skagerrak har marina skyddsområden inrättats. Inom skyddsområdena har fiske i avgränsade zoner helt eller delvis begränsats i syfte att skydda känsliga arter och naturtyper. Genom denna typ av förvaltning fås ett enkelt men effektivt skydd av kärnvärden mot exempelvis bottentrålningens direkta fysiska inverkan samtidigt som verksamheter kan fortgå i direkt närhet till känsliga områden. Zonerna är dock inte inrättade för skydd mot indirekta effekter såsom resuspension av botten sediment genererad av bottentrålfiske i närheten av de marina skyddsområdena. En ökad sedimentation och turbiditet till följd av bottentrålning anges i bevarandeplaner som en möjlig orsak till att gynnsam bevarandestatus inte uppnås.

För att förvalta havsområden i Skagerrak och Kattegatt, med bibehållen gynnsam bevarande status för skyddsvärda och hotade arter och naturtyper, krävs underlag för att bedöma risker med bottentrålning i anslutning till skyddade områden. Det finns sedan tidigare en undersökning utförd i ett marint trålskyddsområde, Spiran, lokaliserat inom Kosterhavets nationalpark (Linders et al., 2014). Resultatet från studien indikerade på ett samband mellan trålningsaktivitet och förhöjd turbiditet inom skyddsområdet. Mätningarna i studien var emellertid något begränsade varvid fördjupade studier efterfrågats av Länsstyrelsen. I oktober 2014 uppdrog därför Länsstyrelsen i Västra Götalands län åt Göteborgs Universitet och Sveriges Lantbruksuniversitet att vidare studera effekter av bottentrålning på turbiditet och sedimentering med fokus på skyddade områden i Skagerrak och Kattegatt.

Syftet med denna studie är att beskriva sambandet mellan trålning och resuspension. Specifikt undersökte vi om det finns eventuell effekt från den trålning som idag bedrivs i anslutning till skyddade områden i Skagerrak och Kattegatt. Vår målsättning var att resultaten i så hög grad som möjligt skall vara generaliserbara och användbara i förvaltningen av skyddade områden i Skagerrak och Kattegatt, för att bl.a. kunna bidra till arbetet med att bestämma lämpliga säkerhetsavstånd mellan skyddsvärda områden och trålning vilket efterfrågats av Länsstyrelsen.

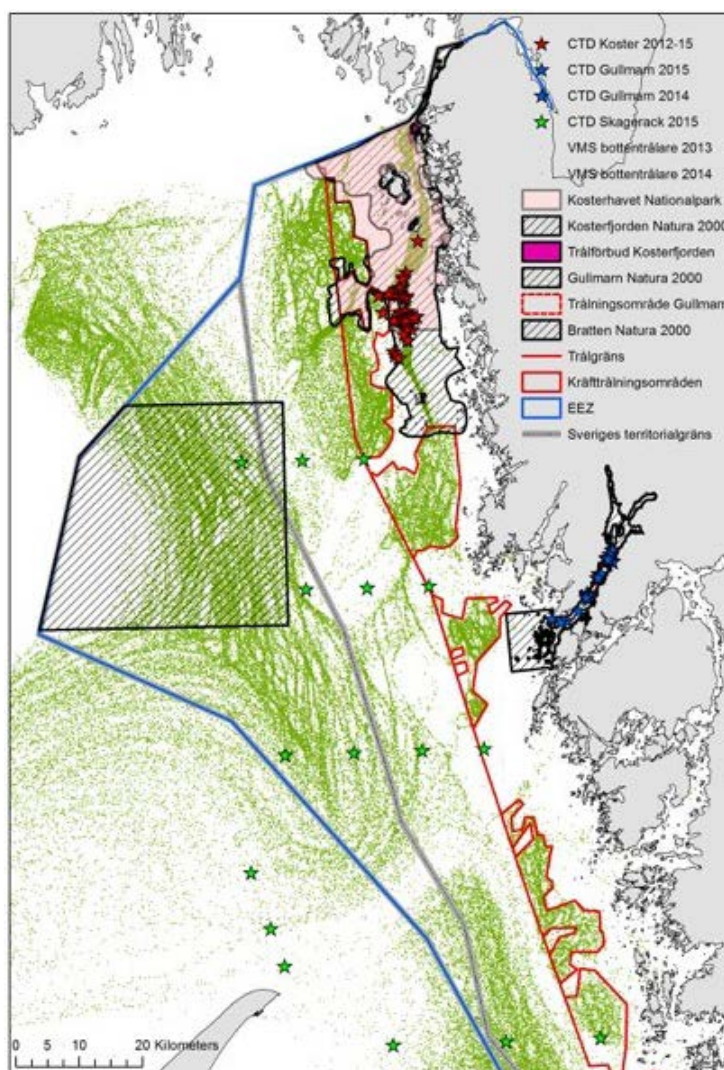
Inom denna och föregående studie har:

- Trålningens effekter på resuspension kvantifierats genom att jämföra turbiditet under perioder då trålning sker respektive inte sker, både inom och utanför trålskydds zoner
- Storleksfördelningen mätts av partiklar i resuspenderat material
- Strömningshastigheter mätts i olika vattenskikt
- Uppmätta värden kombinerats med modeller för sedimentation, för att bedöma hur långt sedimentpartiklar av olika storlek kan sprida sig
- Beräkningar av hur höga partikelhalter resuspendering från trålning ger upphov till
- Litteraturstudier genomförts för att bedöma om dessa förhöjda partikelhalter kan orsaka skada på arter och biotoper som förekommer längs svenska västkusten.

## 4. Metod och Genomförande

### 4.1. Studieområden och förvaltning

För att beskriva sambandet mellan bottenträning och turbiditet i anslutning till skyddade områden i Kattegatt och Skagerrak har mätningar av turbiditet genomförts inom Kosterhavets nationalpark, Gullmarsfjorden samt översiktligt i ett utsjöområde i Skagerrak som bland annat omfattar Natura 2000-området Bratten (Figur 1).



Figur 1. Översiktsbild för Koster-Väderöfjorden, Gullmarsfjorden och Utsjö Skagerrak. För utsjö Skagerrak anges provtagningslokalerna med område A – E. Övrig information presenterad i kartbild ses i legenden.



#### 4.1.1. *Koster-Väderöfjorden*

Kosterhavets nationalpark är den första och hitintills enda marina nationalparken i Sverige (Figur 2). Den inrättades år 2009 och förvaltas av Länsstyrelsen i Västra Götalands län. Koster-Väderöfjorden är en unik miljö, med en mångfald av habitat och arter som saknar motsvarighet i svenska vatten. Den djupa Kosterrännan sträcker sig igenom området från norska gränsen i norr till Väderöarna i söder, med ett största djup på 247 m. Djuprännan står norröver, via en tröskel på ca 110 m djup, i förbindelse med den ännu djupare (ca 700 m), Norska rännan som ansluter till kontinentalsockelns sluttningar ut mot Atlanten vid Norge. Ett antal trösklar finns också söder och västerut med minsta djup om ca 60-70 m. Förutsättningar som medför att det råder marina förhållanden med oceanisk salthalt, och att djupvattnet har begränsat utbyte med ovanliggande vattenlager och med de djupa vattenlagren i Skagerrak.

I området finns såväl djupa som grunda hårbottenar, mjukbottenar och skalgrusbottenar, samt exponerade och skyddade grundområden. De djupa kustnära hårbottenarna och korallreven är unika livsmiljöer för Sverige. Dessa habitat ger oceaniska förutsättningar för stor biologisk mångfald av bl.a. svampdjur, koraller, mossdjur, armfotingar och andra för Sverige ovanliga djurgrupper.

Koster-Väderöfjorden är lokaliserad innanför trålgränsen. I enlighet med Havs- och Vattenmyndighetens författningssamling (HVMFS 2015) är trålning innanför denna gräns inte tillåtet, men undantag görs för traditionellt trålfiske efter nordhavsräka (*Pandalus borealis*). År 2000 undertecknade yrkesfiskarna och myndigheterna en överenskommelse rörande naturvårdsintressena och förutsättningar för trålfisket efter räka i området. Överenskommelsen innebär bland annat att fiske efter räka skall ske med speciella räktrålar utrustade med artsorterande rist, att fiske endast får ske i områden med ett vattendjup av 60 m eller djupare, att i särskilt skyddsvärda områden förbjuda trålfisket samt att området vidare förvaltas med utvecklande av fiskeredskap och ökad informationsinsamling om de marina värdena i området. Gällande regleringar innebär att trålens uppbyggnad är reglerad där övertelnen får vara högst 38 m och undertelnen får vara högst 50 m mellan armarnas yttre ändar, att trålborden får ha en maximal vikt om vardera 350 kg och ha en yta om maximalt 2,7 m<sup>2</sup>, att totalt 11 områden omfattas av trålfiskeförbud, och att trålfisket efter nordhavsräka endast får bedrivas med särskilt tillstånd från Havs- och Vattenmyndigheten (HVMFS 2015:7<sup>1</sup>). För tillståndsgivning krävs också att fiskelicensinnehavare deltar på en introduktionskurs om naturvärdena i Koster-Väderöområdet och att fiskarna har AIS påslagen ombord vid fiske. Som villkor i tillståndet anges numera att trålfiske endast får bedriva helgfria vardagar mellan kl. 05.00-20.00. Då fisket är begränsat i vattenmassor från 60 meter och djupare sker i praktiken nästan allt trålfiske efter räka i själva Kosterrännan.

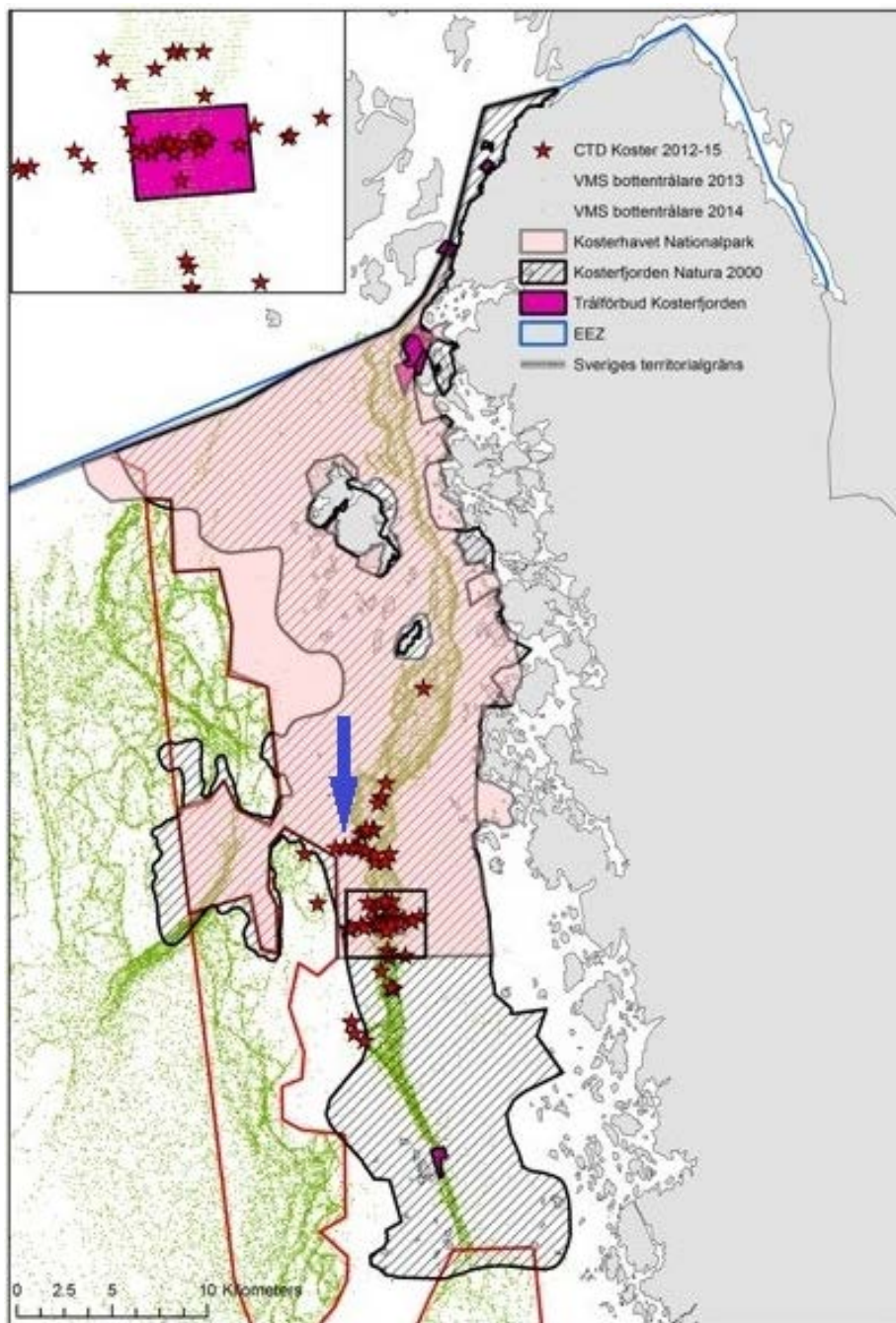
I Kosterhavets nationalpark och vidare söderut återfinns Natura 2000-området Kosterfjorden-Väderöfjorden inom vilket följande skyddsvärda miljöer finns i havet: *Blottade ler- och sandbottenar* (H1110), *Rev* (H1170), *Sandbankar* (H1110) samt *Stora vikar och sund* (H1230) (Rådets Direktiv 92/43/EEG, bilaga 1). Nationalparken ingår också i OSPARs nätverk av skyddade MPA (Marine Protected Areas) för

---

1

<https://www.havochvatten.se/download/18.39e6d68414ca353051ff1074/1430823225736/HVMFS+2015-7-ev.pdf>

hotade och/eller minskande arter och habitat (OSPAR 2008-6). Enligt skötselplanen för nationalparken (Naturvårdsverket, 2009) återfinns 13 av totalt 39 uppsatta arter och 11 av totalt 16 uppsatta habitat på OSPARs lista. Särskilt intressant är att i Kosterhavet återfinns kustnära levande kolonier av ögonkorall (*Lophelia pertusa*) (Jonsson et al., 2004). Det finns även ett flertal döda kolonier av ögonkorall som hyser en hög artdiversitet.



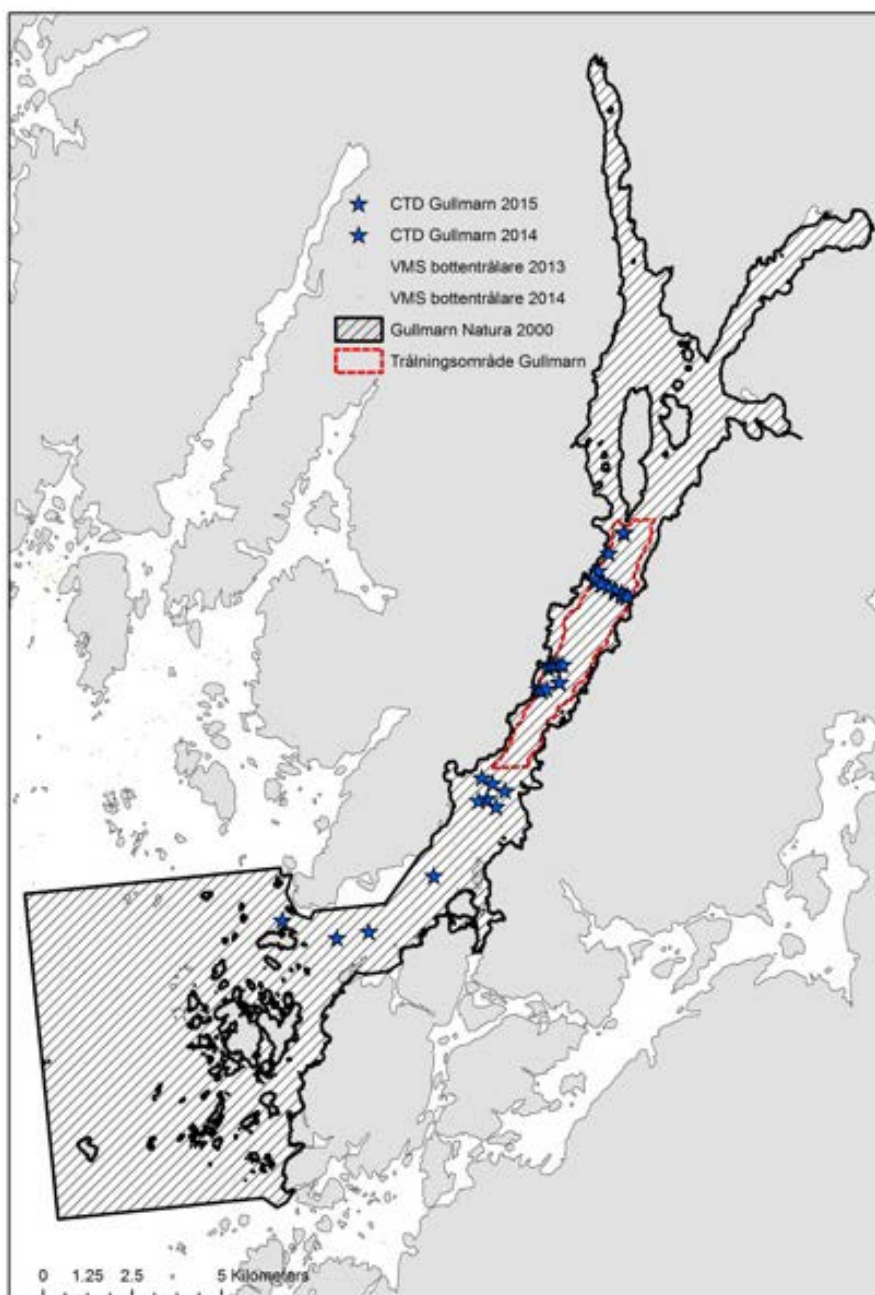
Figur 2. Högupplöst kartbild över Kosterhavets nationalpark och avgränsningar. I kartbildens framgår dessutom provtagningspunkter för hydrografiska profiler. Den blå pilen visar en av sidorrännorna in till Kosterrännan.

#### 4.1.2. Gullmarsfjorden

Gullmarsfjorden är med 25 km längd och 1-3 km bredd den största av Bohusläns fjordar (Figur 3). Den är belägen i gränzonen mellan det sydvästsvenska gnejsområdet och det bohuslänska granitområdet och är en tröskelfjord. Det största djupet på ca 120 meter är beläget nära Alsbäck ca 10 km från mynningen och tröskeldjupet är ca 45 meter i den yttre delen av fjorden. I den inre delen förgrenar sig Gullmarsfjorden i Färlevfjorden och Saltkällefjorden. Till Saltkällefjorden mynnar Örekilsälven som är västra Sveriges näst största älv med ett medelflöde på ca  $25 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , vilken har en stor påverkan på fjordens hydrografi. De hydrografiska förhållandena med ett komplicerat och mycket begränsat vattenutbyte med Skagerrak nedanför tröskeldjupet har bidragit till uppkomsten av ett rikt och delvis unikt marint djurliv, men även till att fjorden är särskilt känslig då syrebrist i djupvattnet kan uppstå mellan vattenutbytena. Det kalla djupvattnet i fjorden med nära oceanisk salthalt medför att det finns förutsättningar för organismer som annars återfinns på stora djup i Skagerrak.

I Gullmarsfjorden liksom i Koster-Väderöfjorden har det sedan början av 1900-talet bedrivits trålfiske efter nordhavsräka. Trålfisket förbjöds helt i Gullmarsfjorden år 1990 i avvaktan på utredningar om påverkan av trålningen på de skyddade bottenorganismerna. Fisket öppnades åter upp den 1:a juli år 1999. Vid öppnandet reglerades fisket efter räka i Gullmarsfjorden så att fiske endast bedrivs efter särskilt tillstånd av Havs- och Vattenmyndigheten varvid det endast får utdelas 4 samtidiga tillstånd per kalenderår (HVMFS 2015). Fiske får endast ske under sammanlagt 80 dagar per år, i områden från 60 m och djupare i ett avgränsat område i den mellersta delen av fjorden. Trålens konstruktion är reglerad i tillståndet och skall vara utrustad med artsortande rist, övertelnen får vara högst 10 m och undertelnen får vara högst 20 m mellan armarnas yttre ändar, trålborden får ha en maximal vikt om vardera 185 kg och ha en yta om maximalt  $1,3 \text{ m}^2$ , (HVMFS 2015:7). Området där trålning är tillåtet i Gullmarsfjorden begränsas av latitud  $58^{\circ}18.05$  i syd och  $58^{\circ}21.70$  i nord.

Gullmarsfjorden är Sveriges första marina naturreservat och omfattas av EU:s nätverk av skyddade områden, Natura 2000. I Gullmarsfjorden återfinns ett flertal miljöer som omfattas av Natura 2000 däribland: *Blottade ler- och sandbottnar* (H1110), *Estuarier* (H1130), *Rev* (H1170), *Sandbankar* (H1110) samt *Stor vikar och sund* (H1230) (Rådets Direktiv 92/43/EEG, bilaga 1). Gullmarsfjorden ingår också i OSPARs nätverk av skyddade MPA (Marine Protected Areas) för hotade och/eller minskande arter och habitat (OSPAR 2008-6). Enligt OSPARs lista återfinns följande miljöer i Gullmarsfjorden: Deep sea sponge aggregations (djupa svampsamhällen), Sea pen and burrowing megafauna communities ("sjöpennebottnar") och *Zostera* beds ("ålgräsängar").



Figur 3. Kartbild över Gullmarsfjorden och avgränsningar. I kartbilden framgår dessutom provtagningspunkter för hydrografiska profiler.

#### 4.1.3. Utsjö Skagerrak

Provtagning i utsjö Skagerrak medför en bild av resuspension i mer öppna utsjöförhållanden jämfört med de inneslutna systemen i Koster-Väderöfjorden och Gullmarsfjorden (Figur 1). Bottentrålfisket i utsjö Skagerrak är mer varierat med fokus på andra arter än endast nordhavsräka såsom bottenlevande fiskarter och havskräfta, och sker på djup mellan ca 30 m i det kustnära kräftfisket till 300 m i räk- och fiskfisket längre ut från kusten.

I den svenska delen av Skagerrak återfinns området Bratten, ett stort område nästan helt belägen i EEZ (exklusiv ekonomisk zon) som föreslogs år 2011 av regeringen att ingå i EU:s nätverk av skyddade områden, Natura 2000. Kärnområdet i Bratten ligger på sluttningen mot den Norska rännan och djupen varierar mellan 130 till 440 m. I det kuperade undervattenslandskapet med smala kanjoner finns hårda bottenar och klippväggar omgivna av mjuka sedimentbottenar. En speciell miljö är s.k. pockmarks. Pockmarks utgörs av hålor troligen orsakats av att gas strömmat ut från underliggande sediment och skapat en hålighet då bottenen sjunkit ned. I området återfinns Natura 2000 naturtyperna i form av *Rev* (H1170) och *Bubbelstrukturer och undervattenskratrar* (H1180). Bratten är också godkänt som OSPARMPA (Marine Protected Areas) och innehåller flera av de arter och miljöer som finns på konventionens lista för hotade och/eller minskande arter och habitat (OSPAR 2008-6). Enligt OSPARs lista återfinns följande miljöer i Bratten: *Coral Gardens* ("korallträdgårdar"), *Deep sea sponge aggregations* (djupa svampsamhällen) och *Sea pen and burrowing megafauna communities* ("sjöpennebottenar"). Det förekommer också ett flertal arter i Bratten såsom exempelvis hajar och rockor som också återfinns på OSPARs lista. Med syfte att bevara dessa värdefulla miljöer och arter har Länsstyrelsen i Västra Götalands län utarbetat och överlämnat ett förslag på fiskeregleringar inom Bratten till Havs- och vattenmyndigheten (HaV). HaV arbetar i dagsläget vidare med regleringen inom Bratten.

## 4.2. Sedimentation och transport av partiklar

Bottentrålning försätter partiklar från botten i suspension. Vart dessa partiklar tar vägen beror på deras sjunkhastighet och på hur vattnet strömmar. En del partiklar kommer att återsedimentera snabbt i närheten av trålningssområdet. Andra partiklar kommer att förbli längre i suspension och kan därför föras längre med strömmar.

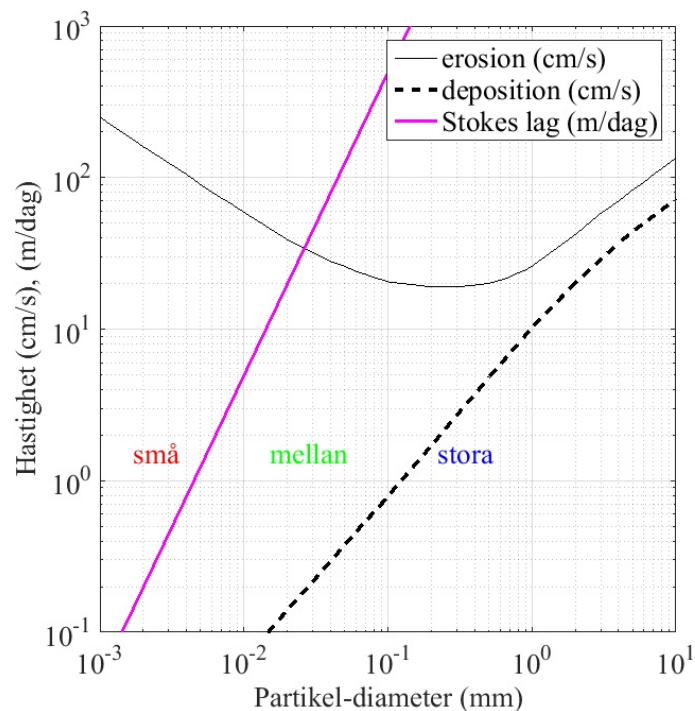
Sjunkhastigheten,  $w_s$ , hos en partikel kan teoretiskt beräknas från dess diameter,  $d$ , och dess densitet,  $\rho_s$ , genom Stokes lag (t.ex. Kundu & Cohen, 2002, p.299)

$$w_s = \frac{d^2(\rho_s - \rho_0)g}{18\mu}, \quad (1)$$

där  $\rho_0=1027 \text{ kg/m}^3$  är vattnets densitet,  $g=9,81 \text{ m/s}^2$  är gravitationsaccelerationen och  $\mu=0,0015 \text{ kg/(m s)}$  är vattnets molekylära dynamiska viskositet. Notera att sjunkhastigheten beror kvadratisk på partikelns diameter, vilket ger en mycket större sjunkhastighet för större partiklar (Figur 4).

Vi antar att de suspenderade partiklarna har en densitet som motsvarar kvarts ( $2600 \text{ kg/m}^3$ ), vilket ger en sjunkhastighet som motsvarar den streckade linjen i figur 4. Samma figur visar även Hjulströms diagram, som ger empiriska värden för vilka strömhastigheter partiklar av olika storlekar tenderar att erodera respektive deponeras. Bottensediment i de områden vi undersöker innehåller en viss mängd organiskt material. Det betyder att densiteten hos resuspenderade partiklar kan vara lägre än för kvarts, vidare diskussioner om detta förs längre fram i rapporten.

Notera att depositionshastigheten alltid är lägre än erosionshastigheten och för små partiklar mycket lägre. Notera också att det krävs ganska stora strömhastigheter ( $> 20 \text{ cm/s}$ ) för att erodera partiklar. Hastigheter över  $20 \text{ cm/s}$  är ovanliga nära botten (Linders et al., 2014, figur 11). Det förtjänar att påpekas att Hjulströms diagram är en etablerad modell, men utgör en förenkling av komplicerade processer.



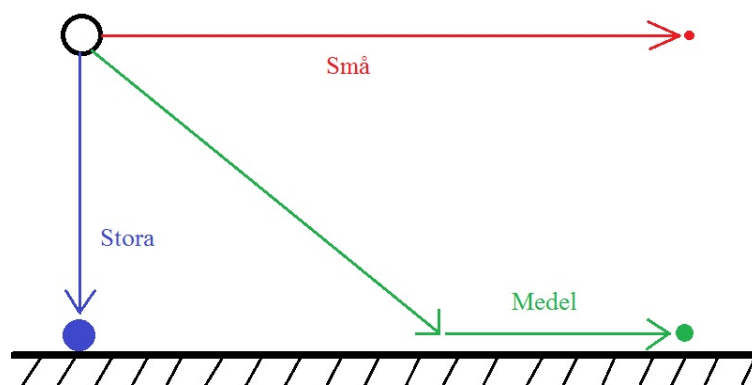
Figur 4. Stokes lag och Hjulströms diagram. Storleksklasserna små, medel och stora beskrivs även i figur 5 och tabell 3.

Ekvation (1) är giltig för låga Reynoldstal, dvs. när friktionen runt partikeln dominerar av den molekylära viskositeten,  $\mu$ , och inte av turbulens. I vårt fall ger ekvation (1) ett fel som är mindre än 10 % för partiklar som är mindre än 0,15 mm. För större partiklar med högre sjunkhastighet blir Reynoldstalet större och ekvation (1) överskattar sjunkhastigheten, men för dessa partiklar är sjunkhastigheten ändå mycket hög, större än 1000 m/dag. I relation till andra processer som ström och utspädning är överskattningen av dessa större partiklars sjunkhastighet av liten betydelse.

#### 4.2.1. Teoretisk modell av spridningsmönster

När partiklarna sjunker kommer de samtidigt att transporteras horisontellt med strömmen i vattnet. Figur 5 ger en schematisk beskrivning av spridningsmönster. Stora snabbt sjunkande partiklar kommer att återsedimentera nära den plats där de har resuspenderats, illustrerat med den vertikala pilen i figur 5. Medelstora partiklar kommer att transporteras en längre sträcka innan de når botten; detta är partiklar som typiskt befinner sig ovanför depositionscurvan i Hjulströms diagram (Figur 4). Det betyder att de kommer förbli i suspension i bottengränslagret och kan föras långa sträckor med bottenströmmen, illustrerat av pilen längs med botten i figur 5. Små och långsamt sjunkande partiklar kommer att nå botten först efter mycket lång tid och kommer då att ha transporterats mycket långt, illustrerat av den övre horisontella pilen i figur 5. I avsnitt 4.4.1 diskuteras realistiska värden för sjunktid och horisontell transport.



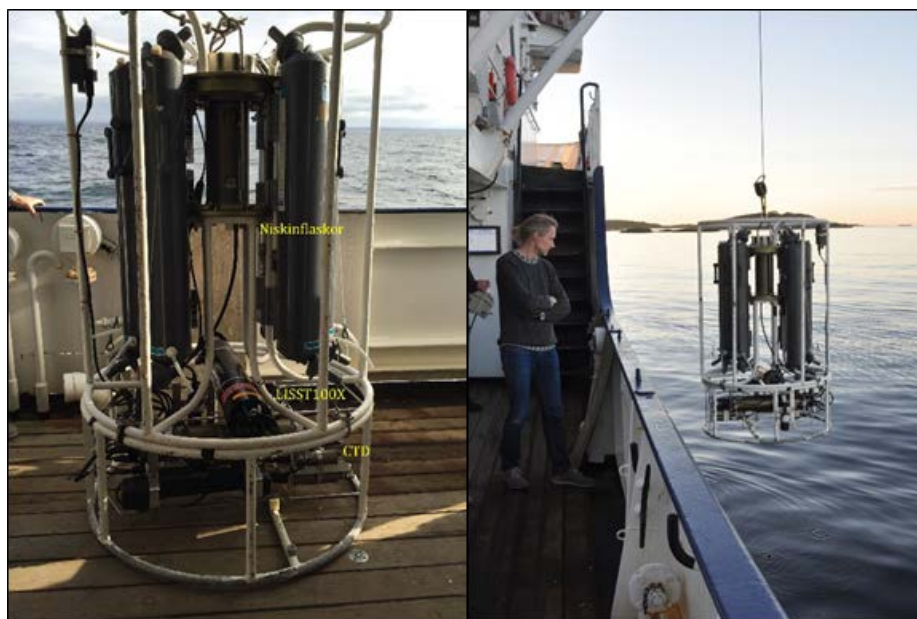


Figur 5. Schematisk illustration av spridningsmönster för partiklar av olika storlekar.

### 4.3. Datainsamling

Data har insamlats under sammanlagt tre år: 2012, 2014 och 2015. Antal mätningar och provtagningsdesign varierade mellan de tre olika undersökta havsområdena. I studien har fokus varit på Kosterhavets nationalpark och trålskyddsområdet Spiran som är en förträngning mitt i Kosterrännan.

Hydrografiska profiler insamlades med hjälp av en CTD-rosett (*Conductivity Temperature Depth*) påbyggd med niskinflaskor för vattenprovtagning, turbiditetsmätare (Wet lab) och LISST-100X (LASER In Situ Scattering and Transmissiometry) (Figur 6). LISST-instrumentet monterades med en horisontell orientering på CTD-rosetten. Genom en horisontell placering möjliggjordes ett så fritt flöde av vatten som möjligt genom optikdelen av instrumentet när CTD-rosetten vinschas ned genom vattenmassan. Mätning av vertikala profiler utförs både i samband med CTD-rosettens nedsänkning och upptagning genom vattenmassan. Insamlad mätdata användes i första hand från dess nedsänkning eftersom CTD-rosetten då passerar, med samtliga instrument, genom ostörda vattenmassor. Vid behov användes också information från upptagning.



Figur 6. Bild på CTD-rosett påbyggd med niskinflaskor, turbiditetsmätare (placerad på CTD) samt LISST-100X; konstruktionen är riggad för provtagning ombord fartyget R/V Skagerak.

#### 4.3.1. Turbiditetsmätare och vattenprov

Turbiditet (grumlighet) i vattenmassan är ett mått på mängden lösta partiklar och kan kvantifieras genom att mäta reflektion. Reflektion mäts med hjälp av en turbiditetsmätare, vilken sänder ut ljus i vattenmassan varpå reflektionen av det utsända ljuset registreras. I vattenmassan är det främst partiklar som ger upphov till spridning av ljus och reflektioner, varpå turbiditet blir mätbar. Resultatet kan mätas på olika sätt beroende på vald sensor, och vanligen för turbiditet anges enheten NTU (*Nephelometric Turbidity Unit*). Ett av våra instrument mäter istället FTU (*Formazin Turbidity Unit*). En sensor som mäter FTU visar cirka 10 procent högre värden än NTU (Hongve och Åkesson, 1998). I rapporten har värden registrerats i FTU omräknats till enheten NTU.

För att skapa en uppfattning om hur mycket uppmätt NTU representerar i torr vikt suspenderat material (TSM) i vattenmassan insamlades vattenprov för korrelation mellan totala massan suspenderat material och turbiditet. Vattenproven insamlades med hjälp av niskinflaskor monterade på CTD-rosetten. Niskinflaskorna kan stängas med hjälp av en automatutlösare, vilket gör det möjligt att avgöra djup för vattenprov i realtid utifrån plottade diagram för turbiditet. Prov insamlades i vattenmassor med hög turbiditet då dessa vattenmassor också förväntas innehålla mycket TSM. Varje flaska insamlade 10 l havsvatten. När CTD-rosetten var åter ombord tömdes 2 l provvatten i rengjorda plastflaskor sköljda med partikelfritt, s.k. milliQ, vatten. Provet filtrerades sedan genom tvättade, brända (500°C över natt) och vägda glasfiberfilter (GF/F; 0,7 µm). Filtrerade prov torkades i torkugn under 3 dygn i 60°C varefter torr vikt dokumenterades till en noggrannhet av 0,00001g.



#### **4.3.2. LISST-100X**

LISST (Laser In Situ Scattering and Transmissiometry) mäter volymen av suspenderade partiklar av olika storleksintervall med hjälp av laserdiffraction (Agrawal & Pottsmith, 2000). Genom att skicka ett laserljus genom vattenmassan, som sedan sprids olika mycket beroende på storlek (och form) av partiklar i suspension kan information fås om vilken fördelning av storlekar som utgör den totala suspenderade volymen material. LISST använder en laser av 670 nm våglängd, en mottagarlins, ringdetektor med 32 storleksintervall och en datalogger. Den ger resultat som volymkoncentration av partiklar i 32 storleksintervall logaritmiskt uppdelade från 2,5 till 500 µm, detta motsvarar substrattypen silt och sand (tabell 4).

#### **4.3.3. Provtagningsdesign**

Inom Koster- Väderöfjorden har mätningar av vertikala profiler genomförts under totalt 11 dagar under åren 2012, 2014 och 2015 (Figur 2). Under expeditionerna uppmättes vertikala profiler i vattenmassan under veckodagarna söndag och måndag. Mätningar av resuspension under söndagar har fungerat som en kontroldag då inget trålfiske bedrivs under fredag - söndag. På måndagar trålas det i Kosterfjorden efter nordhavsräka och en trålunducerad resuspension borde då vara att vänta i vattenmassan; skillnad i resuspension mellan söndagar och påföljande måndagar kan därför betraktas som en effekt av fiske. Trålningsaktiviteter under måndagar, respektive frånvaro på söndagar verifierades med satellitövervakningsdokumentation, AIS och visuella observationer av trålare under expeditionen.

I Gullmarsfjorden genomfördes mätningar av vertikala profiler under två olika expeditioner år 2014 och 2015 (Figur 3). Den första studien var en mätserie under två dagar i november 24/11 – 25/11 år 2014. Syftet med studien var att studera de direkta effekterna av trålunducerad resuspension genom mätning av vertikala profiler. För att vara säkra på att inget fiske pågick de närmaste dagarna innan studien kontaktades yrkesfiskarna i området. Mätningar genomfördes när inget trålfiske förekom (24/11) och samtidigt som trålfiske (ett tråldrag) genomfördes (25/11). För genomförandet av tråldraget den 25/11 kontrakterades en yrkesfiskare för att fiska enligt angivna instruktioner.

Under april år 2015 genomfördes en mätning i samband med att fartyget Gullbris var inne i Gullmarsfjorden och trålade. Mätningar av vertikala profiler genomfördes i 5 områden i Gullmarsfjorden (Figur 3). I områdena A och B hade Gullbris nyligen utfört ett tråldrag. I område C genomfördes mätningar bakom Gullbris i samband med att fartyget trålade det andra tråldraget för dagen. Områdena D och E är placerade utanför det trålfisketillåtna området i Gullmarsfjorden, sydväst om färjeleden Skår - Finnsbo.

I Skagerrak (utsjö) genomfördes en expedition under 20-22:e och 24:e april år 2015, där totalt 16 vertikala profiler uppmättes (Figur 1). Expeditionen genomfördes av Göteborgs Universitet för att bl.a. kartera plastpartiklar i havet där vi erbjöds möjlighet att delta då informationen från våra mätningar också var av värde för andra ingående forskningsprojekt. Syftet för projektets deltagande var framförallt att samla in information om bakgrundsnivåer av turbiditet och partikelkoncentrationer från öppna delar av Skagerrak att jämföra med vad som uppmätts längs kusten i Koster- och Gullmarsfjorden.

#### 4.4. Statistisk analys av turbiditet

Insamlad data indelades i tre djupintervall (0-60 meter, 60-150 meter, och djupare än 150 meter). Inom varje kast beräknade vi medelvärde och variationskoefficient för samtliga mätvärden inom de tre olika djupstrata, så att vi fick ett mätvärde för varje djupsstratum. Fördelningen av data undersöktes genom inspektion av box-diagram och residualgrafer. Det visade sig att data generellt inte var centrerade med ett mer eller mindre tydligt samband mellan medelvärde och varians, så samtliga dataset transformerades genom en  $\ln(x+1)$ -transformering. Detta stabiliserade varianserna och gjorde data mer normalfördelade. Det kvarstod fortfarande en del avvikande datapunkter (outliers). En del av dessa var tydligt orimliga (förmodligen läsfel eller effekter av enstaka aggregat i mätkammaren). Övriga avvikande värden analyserades genom att räkna ut om de var mer avvikande än det 95 % -iga konfidensintervallet för gruppen (s.k. studentiserade residualer). Om så var fallet uteslöts de ur den statistiska analysen. Statistiska analyser med och utan dessa avvikande datapunkter visade dock inte på några avgörande skillnader i slutsatserna, så våra slutsatser tycks gälla oavsett om vi plockar bort avvikande punkter eller inte.

Skillnaden mellan dagar med fiske och utan fiske analyserades sedan med en tvåfaktors variansanalys, med fiske/ickefiske som en fixerad faktor och experimenttillfälle som en slumpad faktor.

Analyserna gjordes i programvaran R version 3.1.3, med programbiblioteken lmer4 och lmerTest för variansanalys med typ III-SS.

#### 4.5. Biologiska effekter av resuspension och sedimentering

I underlaget har kunskap om biologiska effekter av resuspension och sedimentation sammanställts med syfte att bedöma känsligheten hos några vanliga biotoper<sup>2</sup> och arter. Informationen är framtagen som grund för att kvantifiera möjliga effekter av turbiditet och sedimentation genererat från bottenrålning. Information insamlades utifrån vetenskapligt publicerad litteratur inom ämnet samt från den brittiska kunskapsöversikten MarLIN ”*The marine life information network*” (www.marlin.ac.uk). MarLin gör bedömningar över känsligheten hos marina arter och biotoper i förhållande till olika störningar (fysiska, kemiska och biologiska). Grunden till bedömningarna baseras på sammanställningar av vetenskapligt publicerad litteratur och tekniska rapporter, i kombination med en systematisk metod för att klassificera känslighet. MarLIN anger också hur säkra deras känslighetsbedömningar är utifrån en tregradig skala (Tabell 1). Metodiken innebär att bedömningen av en *biotops* känslighet är baserat på känsligheten hos *viktiga strukturerande arter*.

---

<sup>2</sup> Vi använder här begreppet ”biotop” för att beskriva en miljö med tillhörande arter. Andra namn skulle kunna vara ”naturmiljö” eller ”habitat”.

Tabell 1. MarLInns system för att klassificera grad av konfidens (tillförlitlighet) hos känslighetsbedömningarna.

| Konfidens <sup>3</sup> | Informationskälla   | Vilken information används  | Samstämmighet av källor   |
|------------------------|---|---|---|
| Hög (H)                | Baseras på vetenskapliga artiklar eller rapporter, med inriktning på just denna art/biotop/störning | Bedömningen baseras på studier som specifikt adresserar den kombination av stress och biotop/art som bedömningen gäller (i Storbritannien). | Källorna är eniga i riktning och omfattning av påverkan                           |
| Medel (M)              | Baseras delvis på vetenskapliga artiklar och rapporter, men också på "expertbedömning"              | Bedömningen baseras på studier som adresserar den kombination av stress och biotop/art som bedömningen gäller eller liknande                | Källorna är eniga i riktning men kan skilja i bedömning av omfattning av påverkan |
| Låg (L)                | Baserad endast på "expertbedömning"   | Bedömningen baseras på andra företeelser som liknar stressen, t.ex. variationer i naturliga förhållanden.                                   | Källorna kan ha olika bedömning av riktning och omfattning av störning            |

MarLin baseras främst på beskrivningar av marina biotoper i Storbritannien, men många av de biotoper som beskrivs har en motsvarighet i Sverige. I dessa sammanställningar har analyser för sådana arter och biotoper som bedöms relevanta för svenska förhållanden sammanställts.

MarLIN analyserar flera aspekter av känslighet, dels används termen "Sensitivity" som definieras "*The intolerance of a species or habitat to damage from an external factor and the time taken for its subsequent recovery*". Definitionen innebär att känsligheten främst beskriver hur en biotop påverkas av en tillfällig störning. Förhållanden i och i närheten av trålområden överensstämmer inte med denna känslighet, eftersom biotoper och arter störs regelbundet vid återkommande trålning. Istället har MarLInns analys av begreppet "Intolerans" använts. Intolerans definieras som: "*Resistance (intolerance) characteristics indicate whether a receptor can absorb disturbance or stress without changing character*". Begreppet innebär alltså om (och i hur hög grad) en art eller biotop blir störd (t.ex. förändras i antal eller funktion) när den utsätts för någon form av stress (t.ex. orsakad av mänskliga aktiviteter). De olika klasserna för intolerans presenteras i tabell 2.

<sup>3</sup> Översättning av MarLInns engelska text till svenska för lättare läsförståelse

Tabell 2. MarLINs definition av klasserna för intolerans (Original text är översatt från engelska till svenska för lättare läsförståelse).

| Intolerans      | Beskrivning  |
|-----------------|--|
| <b>Hög</b>      | Funktionella eller strukturella nyckelarter eller arter som karaktäriserar en biotop kommer att allvarligt minska, och/eller fysiskt-kemiska parametrar kommer att påverkas, t.ex. genom att biotopen förstörs. En allvarlig minskning definieras som att utbredningen av biotopen eller antalet av en eller flera nyckelarter minskar med 75 % eller mer. |
| <b>Medel</b>    | En signifikant ökad dödlighet hos nyckelarter eller arter som karaktäriserar biotopen, kombinerat med viss förlust/förändring i de fysiska och kemiska förutsättningarna för biotopen. En signifikant minskning definieras som utbredningen av biotopen eller antalet av en eller flera nyckelarter minskar med 25 - 75 %.                                 |
| <b>Låg</b>      | En ökad dödlighet av arter, utan att biotopen förstörs. Detta leder till en minskning genom att utbredningen av biotopen eller antalet av en eller flera arter minskar med mindre än 25 %.   |
| <b>Tolerant</b> | Inga signifikanta effekter på biotopens utbredning, eller ökad dödlighet hos populationerna av nyckel- eller karaktäriserande arter, men det kan bli effekter på födosök, respiration eller fortplantning hos de ingående arterna.   |

Av MarLINs analyser av stress har vi fokuserat på två typer: övertäckning ("Smothering") och ökad sedimentation ("Increased sedimentation"). MarLIN definierar dessa stress-typer så här:

- Övertäckning:  
"Hela (den lokala) populationen av en art, eller utbredningen av en biotop täcks av sediment till ett djup av 5 cm under en månad."
- Ökad sedimentation:  
"En akut förändring i bakgrundskoncentrationen av suspenderat material, t.ex 100 mg/l under en månad."

I detta sammanhang är alltså ökad sedimentation den fysiska och kemiska effekten av partiklar i vattenmassan, medan övertäckning innebär effekten på organismer när partiklarna åter lägger sig på botten.

## 5. Resultat

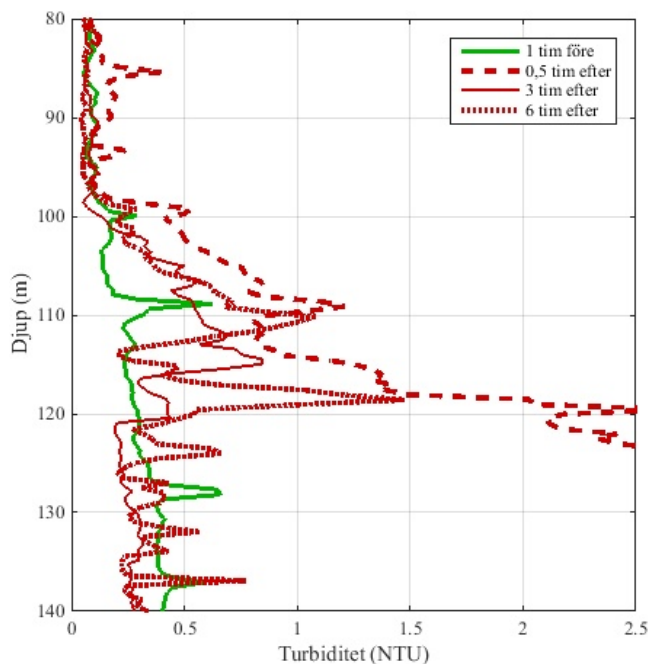
### 5.1. Teoretisk modell/beskrivning av spridningsmönster och tidsmässig påverkan av resuspension och sedimentation

#### 5.1.1. *Sedimentplymer orsakade av trålning*

I april 2014 genomfördes mätningar på den västra sluttningen av Kosterrännan runt 58,75°N i direkt anslutning till att två trålare möttes. Trålarna kom från motsatt håll längs rännans sida. På grund av botten kraftiga lutning så hade de mötande trålarna sina redskap på olika djup.

Figur 7 visar vertikala profiler av turbiditet före och efter att trålarna passerat. Den grå profilen visar mätningar vid Spiran 5 km söderut, cirka en timme innan passagen. De andra tre profilerna visar mätningar i närheten av passagen, ungefär ½, 3 och 6 timmar efter passagen. De fyra profilerna är medelvärden av 3, 3, 2, respektive 2 kast. Baserat på trålarnas position, batymetri och topparna i grumlighet uppskattas att de två redskapen fanns på 110 m, respektive 120 m djup.

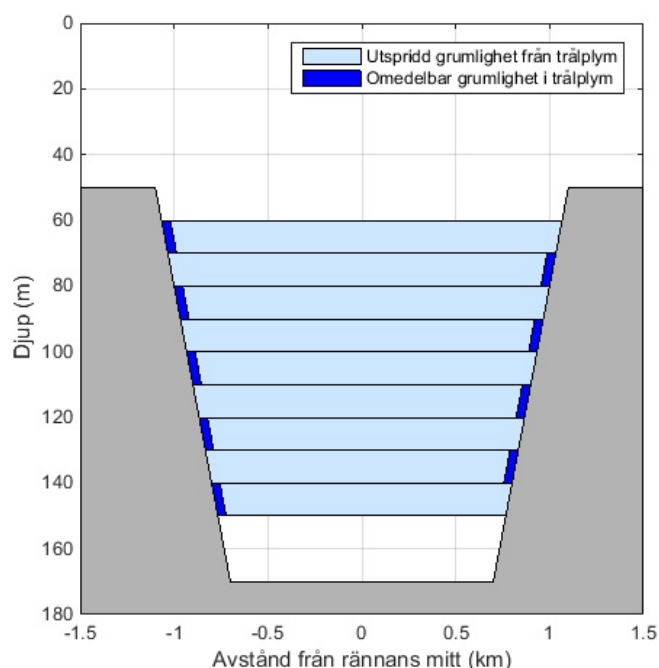
Mätningarna ½ timme efter passagen visar turbiditet förhöjd till 1 - 2,5 NTU, inom ett djupintervall på 100-125 m. De följande mätningarna, 3 och 6 timmar efter passagen, visar hur plymen avtar i intensitet, med mindre förhöjd turbiditet. Vi antar att ett 20 m tjockt lager av förhöjd turbiditet kommer från passagen av två trålare på olika djup. Från detta drar vi slutsatsen att en initial trålpym i Kosterhavet kan vara ungefär 10 m hög, med en turbiditet förhöjd ungefär 1 NTU (Figur 7). Baserat på yrkesfiskets rapporteringar till SLU och regleringen av trålens storlek är bedömningen att den inledande plymen blir ca 42 m bred.



Figur 7. Vertikala profiler av turbiditet uppmätta före- och efter passage av två trålare i april 2015.

Figur 8 visar mycket schematiskt hur plymer med resuspenderade sediment från trålning sprids tvärs Kosterrännan. Observera att spridningen av trålplymen delvis är orsakad av trålningen, i form av den mekaniska blandningen av det skiktade vattnet. Vattnet i trålplymen kommer att få en densitet som motsvarar ett medelvärde av det omblandade vattnet. Plymen kommer att tendera att lagras in sig på en nivå som motsvarar denna medeldensitet.

Initialt visades en förhöjd turbiditet med ca 1 NTU. Vi utgår från att plymen är 10 m hög och 42 m bred. Vid horisontell totalomblandning skulle detta ge en förhöjning om 0,023 NTU över hela rännans bredd, ca 1800 m. Vi antar att plymen är 10 m hög vilket kräver fyra tråldrag (på olika djup) för att skapa ett 40 m djupt lager med förhöjd turbiditet. För att skapa ett motsvarande lager med den uppmätta medelförhöjningen i turbiditet på 0,05 NTU över hela det trålade djupintervallet 60 – 150 m, så krävs ungefär 20 tråldrag och att dessa fördelas jämnt över djupintervallet. Vi återkommer till denna jämförelse i avsnitt 5.



Figur 8. Illustration över horisontell spridning av sedimentplymer från trålning längs sidorna av Kosterrännan. Partiklarna förutsätts ha en försumbar sjunkhastighet.

Tabell 3 visar exempel på sjunktid och horisontell transport av partiklar i olika storleksklasser. Vi antar att partiklar har lyfts 10 m från botten och att medelströmmen är 4 cm/s, vilket representerar en realistisk medelström under timmar/dagar i de djupare lagren (Linders et al., 2014, figur 11). Sjunkhastigheten är beräknad med ekvation (1).

Vid jämförelse med angivna värden i tabell 3 med den schematiska bilden i figur 5 ses att; storlekarna 0,01 mm och mindre är att betrakta som små, dvs. partiklarna transporteras långt och eventuellt ut ur området innan de når botten. Storlekarna 0,1 mm och större är att betrakta som stora, dvs. dessa partiklar kommer att nå botten inom ett avstånd av samma storleksordning som den typiska bredden på en trålplym. Däremellan hamnar medelstora storlekar, dvs. partiklarna kommer att trans-

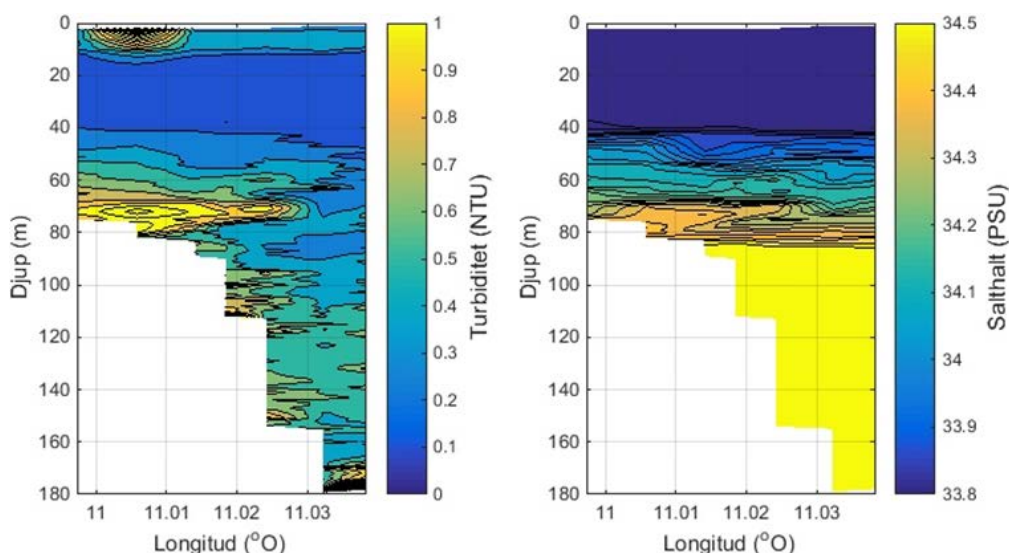
porteras en relativt stor sträcka innan de når botten. De medelstora partiklarna kommer tendera att förbli länge i bottengränslagret, eftersom de endast kräver lite ström för att hållas i suspension (Figur 4).

Tabell 3. Ungefärlig sjunktid och horisontell transport för partiklar av olika storlekar. Partiklarna antas ha lyft 10 m över botten och strömmen antas vara konstant 4 cm/s. Sjunkhastigheten är beräknad med ekvation (1.). Klassning utifrån de olika storlekarna är hämtade från Karlsson & Hansbo (1992; SGU 1994, 2000) redovisat i Leonardsson (2004).

| Benämning | Klassning         | Storlek  | Tid        | Transport |
|-----------|-------------------|----------|------------|-----------|
| Små       | Silt (finsilt)    | 0,005 mm | 8 dagar    | 28 km     |
|           | Silt (mellansilt) | 0,01 mm  | 2 dagar    | 7 km      |
| Medel     | Silt (grovsilt)   | 0,02 mm  | 12 timmar  | 1,7 km    |
|           |                   | 0,05 mm  | 2 timmar   | 280 m     |
| Stora     | Sand (finsand)    | 0,1 mm   | 29 minuter | 70 m      |
|           |                   | 0,2 mm   | 7 minuter  | 17 m      |

### 5.1.2. Sedimentplymer transporterade från andra områden

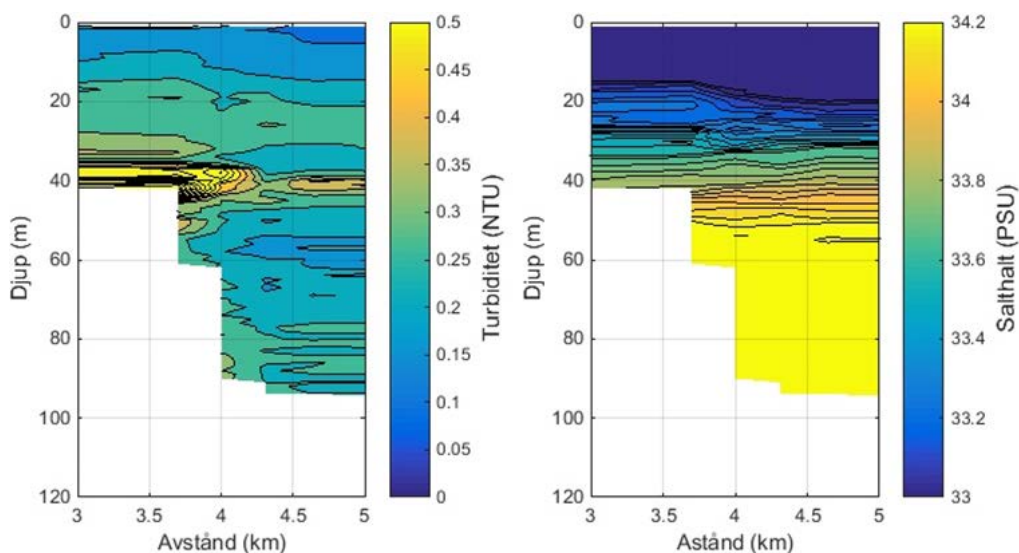
Ofta observeras markant högre turbiditet i ett relativt tunt lager närmast botten. Vatten från ett sådant bottenlager kan strömma horisontellt ut mot en plats där djupet är större, till exempel ovan trösklar och branter i Koster-Väderöfjorden och Gullmarsfjorden. Det skulle kunna vara en källa till turbiditet i lager som är avsevärt ovanför botten och det skulle kunna ge ett bidrag till bakgrunds nivåer som är jämförbart med effekten från trålning.



Figur 9. Turbiditet och salthalt längs en av sidorännorna in till Kosterrännan, se den blå pilen i figur 2.

I figur 9 presenteras observationer gjorda 5 oktober 2015 vid sju stationer längs en sidorränna som mynnar i den västra sidan av Kosterrännan, se pilen i figur 2. Turbiditeten är hög nära botten runt 70 m. Detta lager av hög turbiditet sträcker sig ut i den djupare Kosterrännan, fortfarande runt 70 m. Vattenlagret är saltare och varmare (visas ej) än det omgivande vattnet på 70 m i Kosterrännan. Tydligast är skillnaden i salthalt, som visas i figur 9. Observationerna är gjorda en tråldag och den höga turbiditeten ses i vattenmassor under trålningsdjupet 60 m. Det betyder att även om graferna potentiellt visar tilltransport av grumligt vatten från området väster om Kosterrännan, så kan den grumligheten vara orsakad av trålning i det området.

I figur 10 ses observationer gjorda 24 november 2015 vid fyra stationer i ett tvärsnitt över Gullmarn i höjd med Orreviksnabb, söder om Bornö. Värdena för de nordvästra och sydöstra stationerna har interpolerats mot observationer väster om Bornö, respektive Alsbäcksdjupet. Det ses att i området väster om Bornö är turbiditeten hög nära botten runt 40 m. Lagret av hög turbiditet sträcker sig delvis ut i den djupare delen av fjorden, fortfarande runt 40 m men utmärker sig inte lika tydligt i salthalt (eller temperatur) som i fallet med sidorrännan till Kosterrännan. Lagret tycks även till stor del vara begränsat till fjordens nordvästra sida. Ett resultat som sannolikt kan förklaras med att lagret med den högre turbiditeten fångas av en ström åt sydväst, ut ur fjorden. Isohalinerna i figur 10 visar att det intermediära lagret (20 – 50 m) är tjockare i nordväst, vilket är en indikation på att strömmen är påverkad av jordrotationen (geografisk ström) och i detta lager är riktad ut ur fjorden.



Figur 10. Turbiditet och salthalt i ett tvärsnitt över Gullmarn vid Orreviksnabb, söder om Bornö. Värdena i figurens vänstra och högra marginaler är interpolerade mot observationer väster om Bornö, respektive Alsbäcksdjupet.



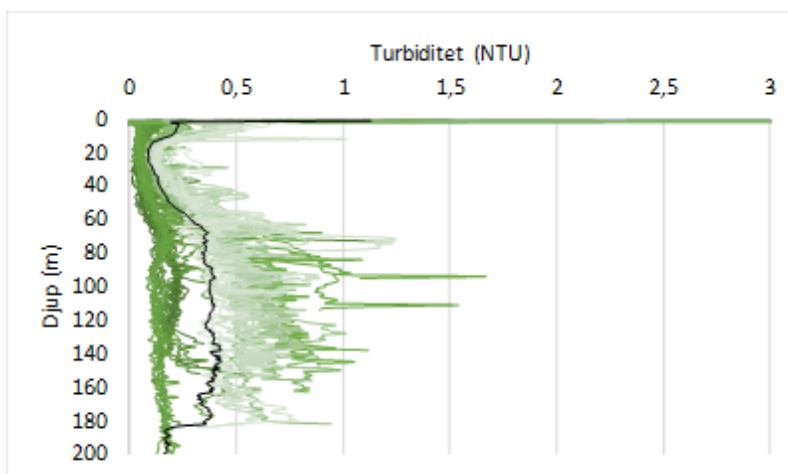
## 5.2. Turbiditet

Mätresultaten av turbiditet presenteras nedan områdesvis för Koster-Väderöfjorden, Gullmarsfjorden och från utsjön i Skagerrak.

### 5.2.1. Koster-Väderöfjorden

För att skapa en objektiv metod för bedömning av trålningsintensitet i Kosterrännan och kring trålskyddsområdet Spiran har utdrag ur VMS (Vessel Monitoring System)- och loggboksdata analyserats. VMS är ett obligatoriskt satellitspåringsystem för fiskefartyg längre än 12 m där position, fart och kurs lagras. VMS sänder data en gång per timme för varje fartyg och data sorterades med avseende på uppskattad hastighet vid trålning av nordhavsräka, vilket motsvarar 1,25 – 2,25 knop. Trålningsintensitet under veckodagarna fredag – söndag var i samtliga fall noll.

Turbiditeten i Kosterfjorden insamlad under söndagar betraktas därför som bakgrundsturbiditet, opåverkad av resuspension från trålfiske under minst 48 timmar. Bakgrundsturbiditeten fördelat på djup redovisas för varje enskilt kast och som medelvärde i figur 11. I vattenmassorna från ytan ned till 60 m ses att turbiditeten varierar från <math><0,1 - 0,19</math> NTU med några enstaka toppar uppemot maximalt 1,0 NTU, djupare i vattenmassorna ses att turbiditeten istället är högre och varierar mellan 0,1 – 1,0 NTU med enstaka inslag av högre nivåer uppemot 1,7 NTU. Lägst är medelturbiditeten inom djupintervallet 15 - 35 m och högst inom djupintervallet 70 – 180 m.



Figur 11. Vertikala turbiditetsprofilkast (gröna) i Kosterfjorden vilka representerar naturliga variationer i turbiditet. Profilkasten är insamlade under fiskefria dagar. Det svarta profilkastet utgörs av ett medelvärde beräknat på samtliga kast presenterade i figuren (n=71).

I figur 12a - j presenteras vertikalkast av mätningar från samtliga 11 mätställen i Kosterfjorden. Figuren är uppbyggd så att parvisa jämförelser mellan dagar med trålning och utan trålning kan jämföras. Resultatet visar att antalet kast med förhöjda turbiditetsvärden ökar under dagar trålning pågår jämfört med dagar då trålfiske inte bedrivs.

Mätperioden den 27:e augusti visar på ett flertal kast med förhöjd turbiditet jämfört med 26:e augusti då inget fiske förekom (Figur 12a-b). Skillnaden motsvaras av en ökad turbiditet med ca 0,2 – 0,3 NTU upp till nivåer kring maximalt 0,6 NTU.

Den trålade dagen 18:e oktober ses på motsvarande sätt ett flertal profilkast med förhöjda turbiditetsnivåer inom djupintervallet 100 – 150 m som inte återfinns under referensdagen den 5:e oktober (Figur 12c-d). Referensdagen är dock i detta fall en fredag och det är flera dagars mellanrum till jämförande trålad dag den 18:e oktober. Skillnaden som ses kan därför inte helt uteslutas att ha påverkats av andra orsaker utöver trålfiske. Det är också troligt att referensdagen är påverkad av pågående trålfiske under torsdagen innan.

Under tredje expeditionen erhöles liknande mönster i turbiditet som föregående expeditioner. En ökning av antal profilkast med högre turbiditetsnivåer inom djupintervallet 90 – 140 m den 20:e oktober, ett mönster som inte observerats under kontrolldagen den 19:e oktober (Figur 12e-f). Skillnaden motsvaras av en ökning i turbiditet med 0,9 till 1,5 NTU, upp till nivåer kring maximalt 2,1 NTU. Intressant är att 2,1 NTU är högre än vad som är förväntad bakgrundsturbiditet för området (jämför med figur 11 bakgrundsturbiditet).

Den 3:e maj 2015 observerades de högsta värdena på 1,5 och 1,7 NTU av bakgrundsturbiditet under samtliga fem mätperioder i Kosterfjorden (Figur 12g-h). Utöver detta ses att turbiditeten djupare än 60 m generellt är något högre jämfört med tidigare undersökningar. Följande dag då trålning efter räka pågick i området visades förhöjda värden på turbiditeten i ett flertal kast. Skillnaden i turbiditet motsvarade en ökning med uppemot 3,0 NTU, upp till nivåer kring maximalt 4,5 NTU.

Den 4:e oktober 2015 dokumenterades profiler på nytt under icke trålade förhållande och jämfördes på nytt med trålad dag den 5:e oktober då fiskeaktiviteten åter var igång (figur 12i-j). Resultatet visar att turbiditetsnivåerna i vattenmassor från 60 m och djupare ökar i några profilkast. Skillnaderna motsvarar ökning med 2,8 till 3,0 NTU, upp till nivåer kring maximalt 4 NTU.

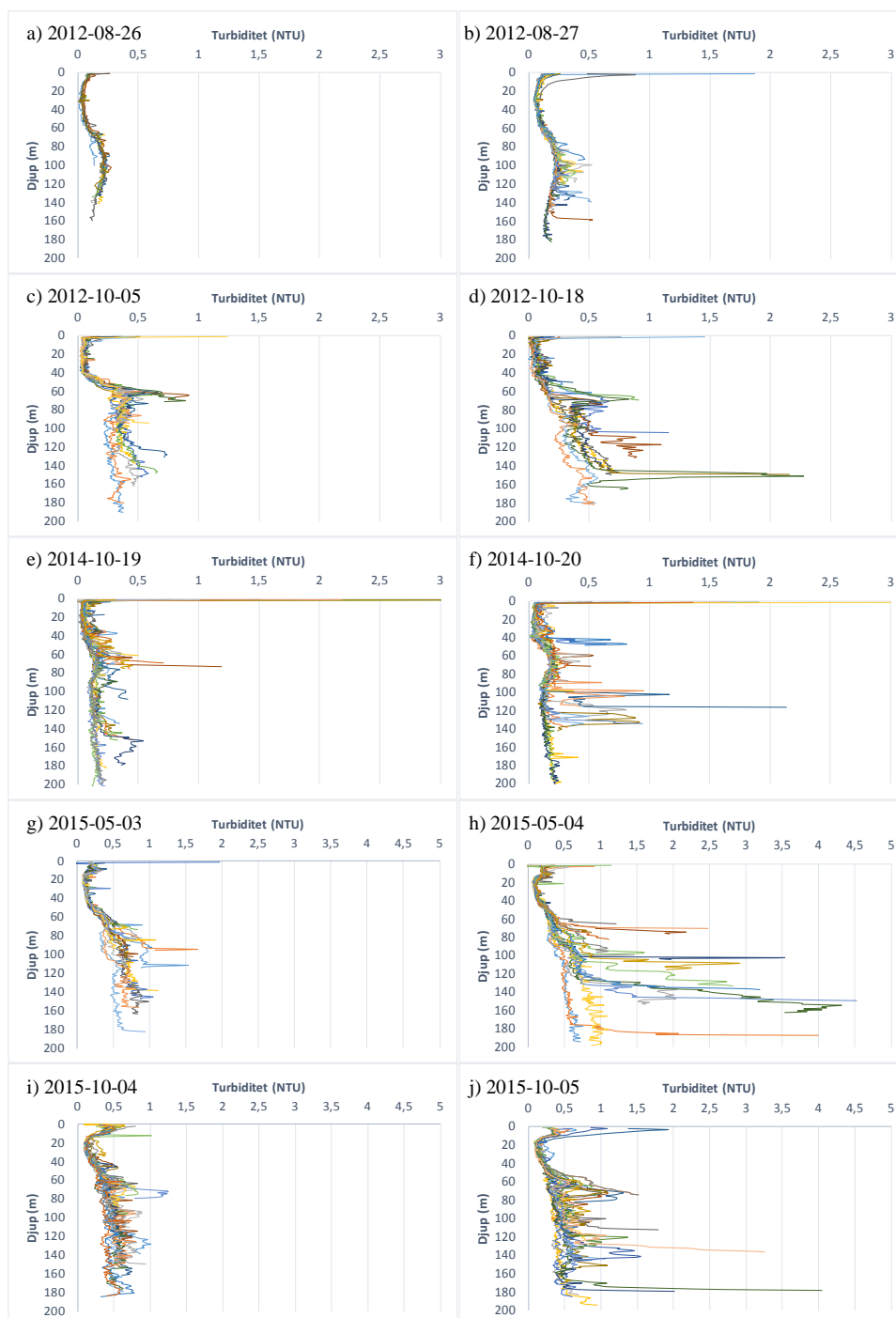
För att statistiskt utvärdera de dokumenterade variationerna i turbiditet mellan olika dagar med trålning respektive utan trålning applicerades en tvåvägs ANOVA med behandling (tråldag/utan trålning) och djupintervall som faktorer.

Djupindelningen är tänkt som ytterligare en nivå att fånga variationen i det övre vattenlagret där det inte trålas (0-59 m) respektive i vattenlagren där trålning sker (60-150 & >150 m). I resultatet (Figur 12a-j) ses att vissa kast uppvisar högre turbiditet under dagar med trålning men inte alla dvs. variationen i turbiditet ökar dagar med trålning. För data analyserades därför både medelvärde på turbiditet och variationskoefficienten för varje kast. En högre variationskoefficient indikerar på en ökad variation. I ytvattnet (0-59 m) är det ingen statistiskt signifikant effekt av fiske på medelturbiditet eller variationskoefficient. Inom det trålade djupintervallet (60-150 m) visar analysen att medelturbiditeten är högre ( $p=0,039$ ), en ökning med ca 0,047 NTU och mer variabel ( $p=0,023$ ) under fiskedagar jämfört med dagar utan fiske. I det djupaste intervallet (> 150 m) ses ingen skillnad i medelturbiditet ( $p=0,44$ ) eller variationskoefficienten ( $p=0,052$ ).

Resultatet styrker att de observerade skillnaderna beror på trålfiske, och inte endast kan förklaras av naturliga variationer av turbiditet. De dokumenterade effekterna av förhöjd turbiditet ses endast i de vattenmassor där trålfiske bedrivs det vill säga djupare än 60 m.

### Utan trålfiske

### Med trålfiske



Figur 12 a-j. Vertikala turbiditetsprofiler från Kosterfjorden. Figurerna i den vänstra kolumnen representerar vertikala profilkast insamlade under söndagar då det inte bedrivs något trålfiske och figurerna i den högra kolumnen representerar vertikala profilkast insamlade under följande dag (måndag) då trålfiske bedrivs i Kosterfjorden. Med undantag för resultat för 2012-10-05 som utgörs av en fredag och jämförande resultat 2012-10-18 är inte nästföljande dag. Notera skalskillnaderna utmed x-axeln för figur a - f (0 - 3 NTU) jämfört med g - j (0 - 5 NTU).

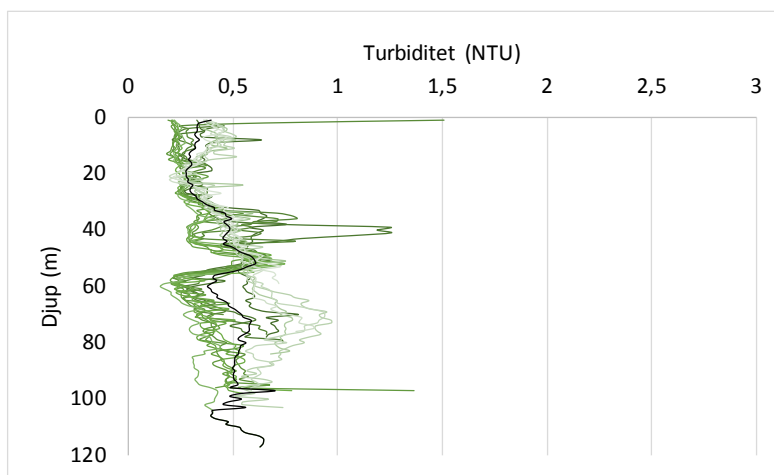
### 5.2.2. Gullmarsfjorden

Trålningsintensiteten i Gullmarsfjorden kan inte beskrivas utifrån VMS-data eftersom majoriteten av trålfiskebåtar med tillstånd för fiske i Gullmarsfjorden understiger 12 m längd, VMS är då inte obligatoriskt. Fiskarena är dock rapporteringsskyldiga till Havs- och vattenmyndigheten samma dag de skall fiska i området och registrerar sina fångster och sättningspositioner också i loggbok på sedvanligt sätt. De två perioderna som studerats har verifierats mot dessa källor.

I Gullmarsfjorden är bottentrålfiske efter räka reglerat med hänsyn till naturvärden i fjorden. Enligt utdrag ur yrkesfiskarens loggboksdata från perioden november 2014 noteras att det finns ett uppehåll i fiskeaktivitet mellan 21/11 och 26/11. Det enda trålfiske efter räka som genomförts under denna period är ett tråldrag av fartyget Gullbris den 25/11. Tråldraget var en del av den studie som genomfördes tillika delar av det korta fiskeuppehållet. I april 2015 utgörs fisket av fartyget Gullbris den 13:e det första trålfisket i april i Gullmarsfjorden.

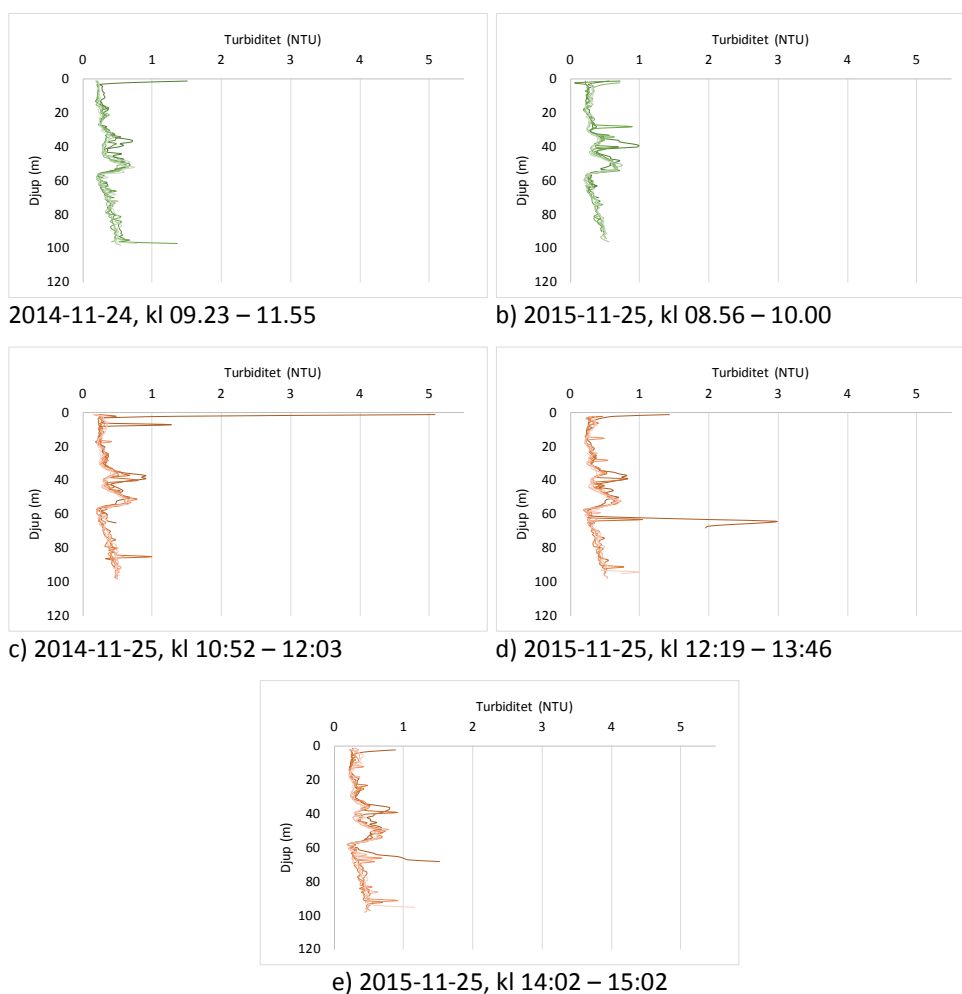
I Gullmarsfjorden är det periodvis syrebrist i de djupare delarna (< 80 m) och i dessa vattenmassor finns ingen räka. Enligt yrkesfiskarena bedrivs räkfisket i Gullmarsfjorden därför ovanför dessa vattenmassor koncentrerat inom djupintervallet för 60 – 70 m. I samband med resuspension av bottensediment förväntas turbiditetsmolnet bland annat spridas uppåt i vattenmassan. För att ta hänsyn till en sådan effekt har gränsen för tolkning av resultat för trålfiskeinducerad resuspension i Gullmarsfjorden därför dragits för vattenmassor djupare än 50 m, detta trots att gränsen för fisket är vid  $\geq 60$  m.

Turbiditeten i Gullmarsfjorden inför de båda mätserierna, november 2014 och april 2015, är därför att betrakta som opåverkad av bottentrålfiske (Figur 13). Bakgrundsturbiditeten i Gullmarsfjorden ( $\geq 50$  m) varierar mellan 0,2 – 0,8 NTU med enstaka inslag av högre nivåer av turbiditet.



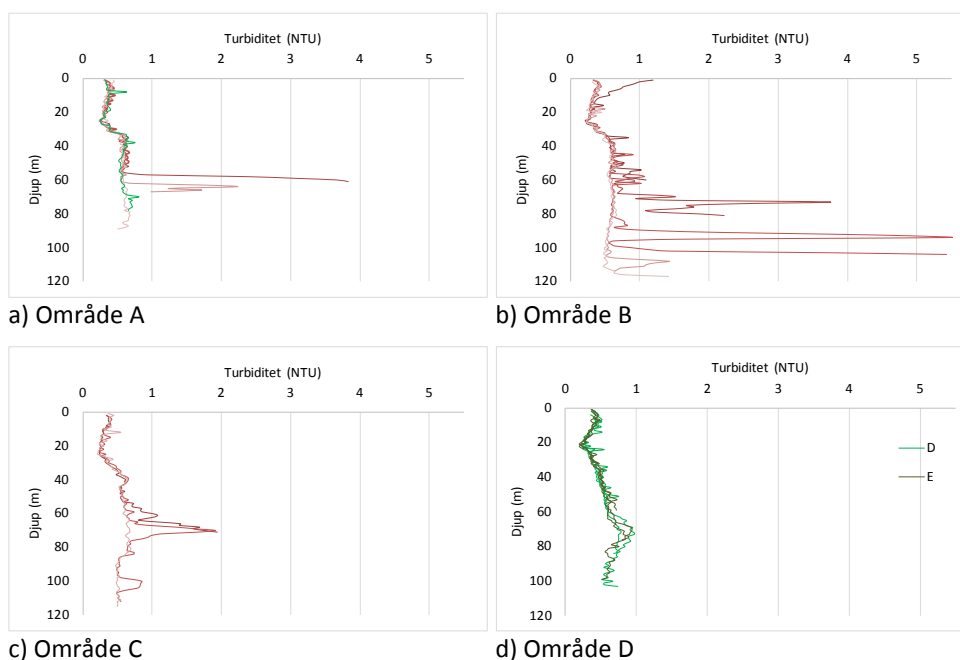
Figur 13. Vertikala turbiditetsprofilkast (gröna) från trålfiskeområdet i Gullmarsfjorden vilka representerar naturliga variationer i turbiditet. Profilkasten är insamlade inom, det av trålfisket tillåtna fiskeområdet. Det svarta profilkastet utgörs av ett medelvärde beräknat på samtliga kast presenterade i figuren (n=16).

Resultatet för mätserien i november 2014 visar att turbiditetsnivåerna inom vattenmassor ( $\geq 60$  m) där trålfiske förekommer är i huvudsak inom 0,2 – 0,7 NTU med något enstaka högre värde. Efter att fiskefartyget genomfört ett tråldrag i Gullmarsfjorden ses i efterföljande mätningar att turbiditeten ökar och variationen mellan kast blir större. Ökningen upp till 3 NTU motsvarar cirka en fördubbling av de högsta värden som uppmätts under opåverkade förhållanden i Gullmarsfjorden (Figur 14a-e) och drygt åtta gånger högre värde jämfört med samma position och djup som uppmätts innan trålningen (Figur 14a, b & d). Vidare ses att den förhöjda turbiditeten i figur 14d halverats efter nästan 2 timmar, detta representerat av profilkast i figur 14e.



Figur 14 a-e. Mätserie över vertikala profilkast tvärs Gullmarsfjorden under 2014-11-24 och 2014-11-25. Mätningarna i figur a & b representerar referensvärden (gröna) då ingen trålning genomförts och figurerna c – e representerar turbiditet efter att ett tråldrag genomförts i Gullmarsfjorden (röda).

Undersökningen i Gullmarsfjorden 2015-04-13 genomfördes som ett alternativ till det öppna havsområdet i Kosterfjorden på grund av hård vind och sjöhävning. I Gullmarsfjorden, samma dag som mätningar av vertikala turbiditetsprofiler utfördes, bedrev räkträlaren Gullbris fiske och genomförde två tråldrag, ett inåt i fjorden och ett ut. Vid tiden då mätningar av turbiditetsprofiler inleddes befann sig räkträlaren vid norra delen av trålområdet i Gullmarn och höll på att ta in fångsten efter första tråldraget. Första profilkastet som genomfördes, benämnt A 1 (Figur 15a) betraktas som opåverkad av resuspension från trålning då position var bortom det område där Gullbris nyss hade trålat. Vidare fortsatte mätningar av turbiditetsprofiler i de 5 områdena: A (resterande kast), B, C, D & E. I samtliga områden som är placerade inom det tråltillåtna området i Gullmarsfjorden (A, B och C) ses effekter av trålning på resuspension genom förhöjda turbiditetsvärden vid det intervall som trålningen förväntas ha en påverkan (Figur 15a-c). Dessa effekter ses inte i kast A 1 taget innan trälaren nått området, eller för något av kasten inom områdena D eller E (Figur 15d). De två sistnämnda områdena är lokaliserade något söder om gränsen för området där trålning är tillåten.



Figur 15a-d. Vertikala turbiditetsprofilkast från Gullmarsfjorden, mätningar genomfördes 2015-04-13. Gröna kastlinjer representerar referenskast opåverkade av resuspension från trålning och röda kastlinjer representerar kast påverkade av resuspension från trålning. Resultat för områdena D & E har slagits ihop i samma diagram och representeras av gröna kastlinjer med två olika nyanser.

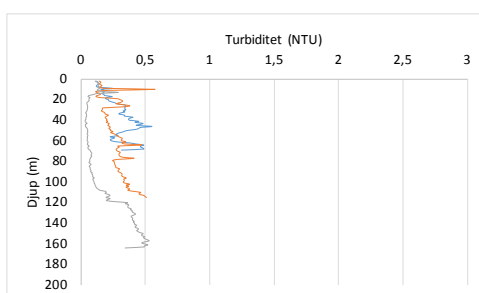
### 5.2.3. Utsjö Skagerrak

Trålningens intensitet presenteras som antal positioner för svenskt bottenrälfiske i Skagerrak för de dagar som mätning av turbiditet genomförts samt föregående dag och redovisas i tabell 4. Det var aktivitet i Skagerrak under samtliga mättillfällen med högst intensitet under första halvan av veckan (mån - ons). Vidare analyserades aktiviteter inom en radie av 3 km, de föregående 24 timmarna i direkt anslutning till provtagningsstationerna (Figur 1). Analysen visade ingen eller låg (station B3=5, och B4=4 positioner) aktivitet i närheten av stationerna.

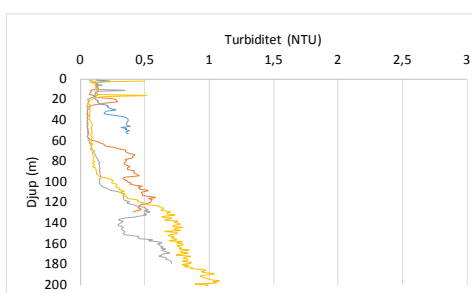
Uppmätta profilkast i Skagerrak visar nivåer av turbiditet omkring 0,1 – 1,5 NTU (Figur 16a-d). De uppmätta nivåerna bedöms inte vara förhöjda p.g.a. trålning. Slutsatsen baseras på jämförelser med de mönster som uppmätts i Koster-Väderöfjorden och Gullmarsfjorden (Figur 11 och Figur 14) samt att trålaktiviteten generellt var låg i närheten av de uppmätta områdena (Tabell 4).

Tabell 4. VMS-data för allt aktivt svenskt bottenrålfiske definierat genom en hastighet inom 0,5 – 3,5 knop i Skagerrak. Data presenteras för de dagar som mätning av vertikala turbiditetsprofiler genomförts samt föregående dag.

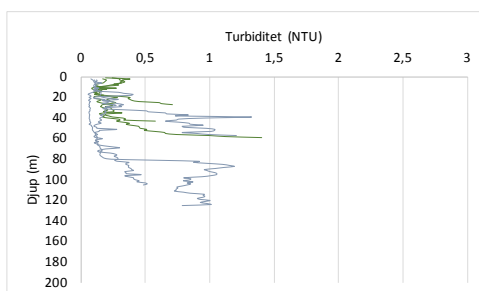
| Fiskeaktivitet<br>VMS signaler | Datum           | Dag       |
|--------------------------------|-----------------|-----------|
| 588                            | 19:e - 20:e apr | sön - mån |
| 993                            | 20:e - 21:e apr | mån-tis   |
| 862                            | 21:e - 22:e apr | tis-ons   |
| 862                            | 21:e - 22:e apr | tis-ons   |
| 83                             | 23:e - 24:e apr | tor-fre   |



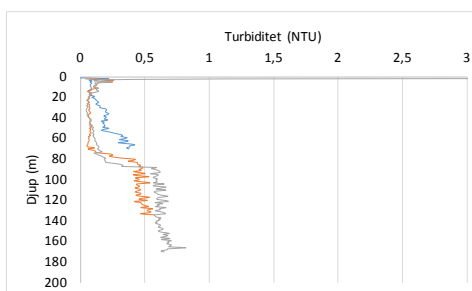
a) Område A, 2015-04-20



b) Område B, 2015-04-21



c) Område C (grön) och Område D (blå), 2015-04-22



d) Område E, 2015-04-24

Figur 16 a-d. Vertikala turbiditetsprofilkast från Skagerrak, mätningar genomfördes under perioden 2015-04-20 – 2015-04-24. Profilkast från Område A och Område B har slagits ihop i en och samma figur då dessa samlats in under samma dag.

### 5.3. Mätningar av suspenderad volym och partikelstorlekar

Nedan i figurerna 17 – 20, presenteras resultat från mätningar med LISST, med spektra av suspenderad volym av partiklar för angivna tillfällen och djupintervall inom Koster-Väderöfjorden respektive Gullmarsfjorden. I de undre graferna inom respektive figur är skalan för suspenderad volym i samtliga figurer 0 – 0,2  $\mu\text{l/l}$ , vilket täcker resultaten för de flesta storleksklasser (Figur 17 - 20). Figur 18 & figur 20 visar även spektra (svart) för ett kast med hög turbiditet, insamlat i nära anslutning till passage av trålare.

Figurerna visar så kallade låddiagram ("boxplot"), med en låda för varje storleksklass. Själva lådan sträcker sig från den 25:e till den 75:e percentilen av värdena och linjen inne i lådan visar medianen. De vertikala "morrhåren" ("whiskers") visar värdenas utbredning, men sträcker sig maximalt 1,5 gånger lådans storlek. Detta motsvarar 99,3 % av värdena i en normalfördelning. Värden utanför morrhåren ("outliers") visas som punkter.

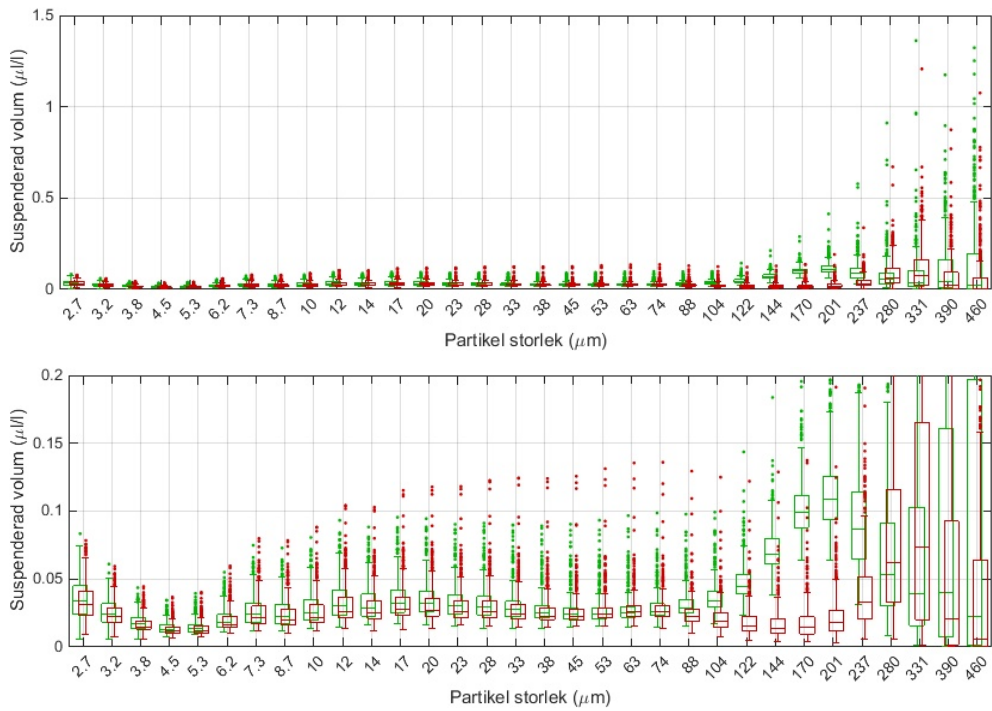
#### 5.3.1. Koster-Väderöfjorden

Djupintervallet 20 – 60 m (Figur 17a-b) i Koster-Väderöfjorden antas vara relativt opåverkat av trålning, eftersom trålningens minsta djup är reglerat till 60 m. Intervallet betraktas därför som en kontroll. Fördelningen bör följaktligen inte skilja sig åt mellan dagar med trålning och dagar utan trålning i detta lager, vilket inte heller är fallet för turbiditeten, se avsnitt 4.1. Den övre gränsen av detta lager är vald för att undvika de starka variationerna som karaktäriserar ytlagret. I de små och medelstora klasserna är den suspenderade medelvolymen runt 0,03  $\mu\text{l/l}$  och skillnaden mellan dagarna är liten. I de större klasserna ( $> 80 \mu\text{m}$ ) är flera av värdena högre under dag utan trålning och i de största klasserna är mönstret otydligt. Under båda dagarna finns det höga outliers; detta följer mönstret från våra mätningar av turbiditeten, som oftast är mycket variabel med tillfälliga ökning, se avsnitt 4.1. Fördelningen av outliers i detta djupintervall är likartad dagen utan trålning den 4:e oktober och dagen med trålning den 5:e oktober.

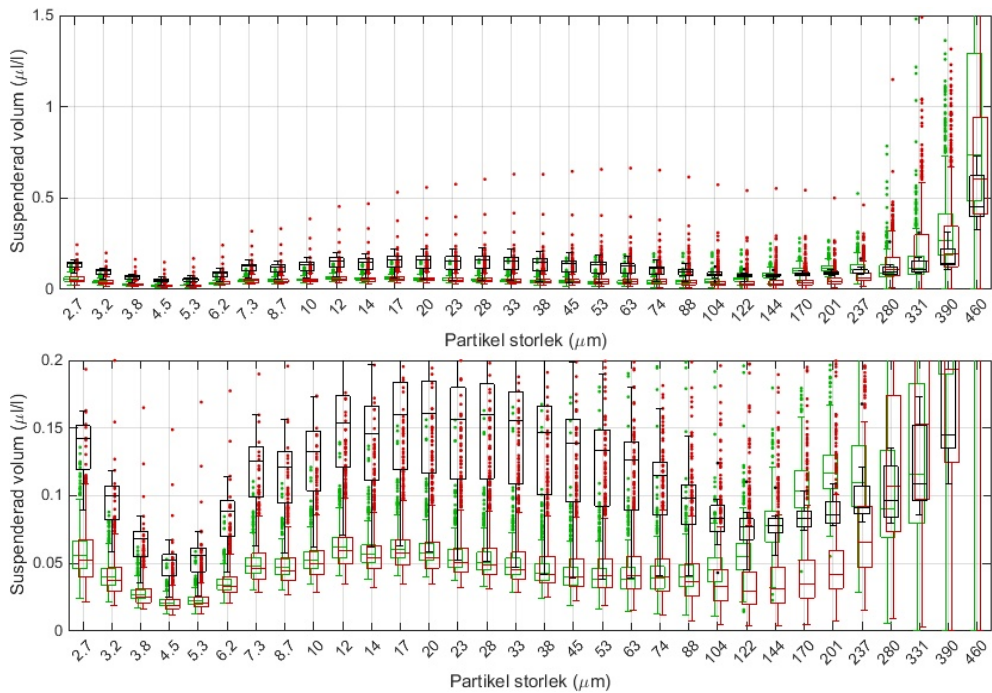
I djupintervallet 60 – 150 m (Figur 18a-b) bedöms turbiditeten vara påverkad av trålning. Jämfört med djupintervallet ovan är de suspenderade volymerna större i samtliga klasser upp till ca 120  $\mu\text{m}$ . Antalet höga outliers är också större och deras värden avviker mer från medianerna i respektive klasser. Resultatet med höga outliers är dessutom mycket mer påtagligt under dagen med trålning den 5:e oktober, och särskilt tydligt är mönstret för de medelstora partiklarna.

De svarta lådorna i figur 18a-b visar värden från 5:e oktober från djupintervallet 130 – 146 m i nära anslutning till passage av en trålare. I detta spektrum är värdena för de små och medelstora klasserna drygt 100 % högre jämfört med den dagen utan trålning den 4:e oktober (för de stora klasserna är det svårt att se något mönster). En stor del av det ökade antalet outliers 5 oktober (röda prickar) för de medelstora partiklarnaligger innanför de svarta lådorna. Med andra ord, många värden som statistiskt är outliers i den totala mängden värden, är inom normalfördelningen för en mätning i nära anslutning till passage av en trålare. Det är därför troligt att dessa outliers är orsakade av trålning.





Figur 17a-b. LISST-spektra för mätning i Kosterhavet 4:e (grön, ingen trålning) och 5:e (röd, trålning) oktober 2015. Mätning representerar resultat inom djupintervall 20 – 60 m. I den övre grafen är skalan anpassad för att visa även de högsta värdena i de största storleksklasserna.



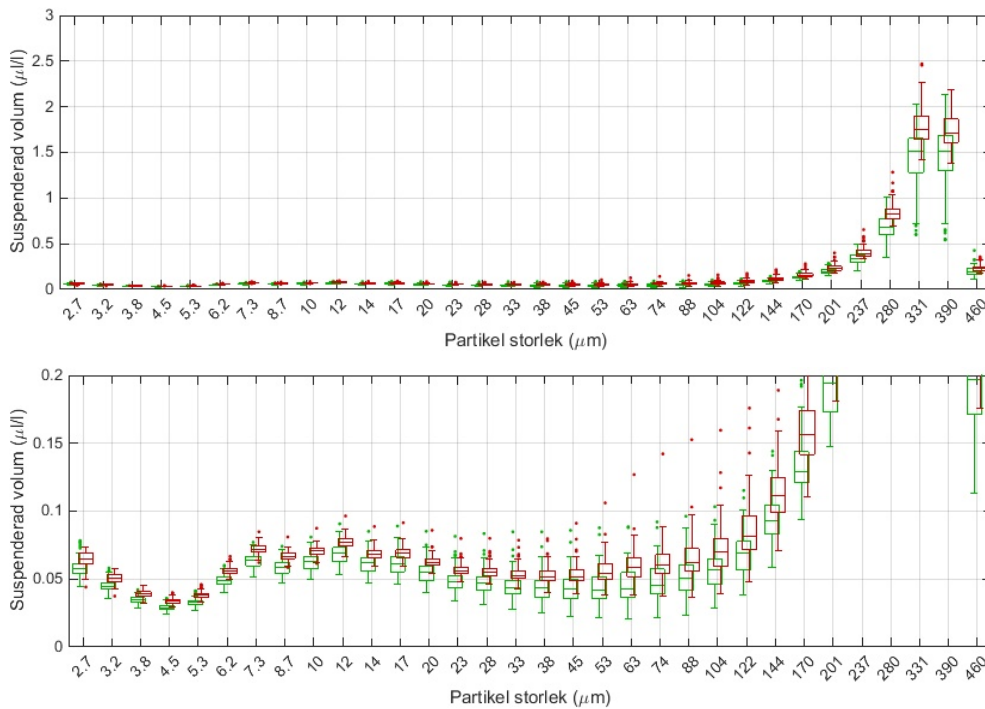
Figur 18a-b. LISST-spektra för mätning i Kosterhavet 4:e (grön, ingen trålning) och 5:e (röd, trålning) oktober 2015. Mätning representerar resultat inom djupintervall 60 – 150 m. I den övre grafen är skalan anpassad för att visa även de högsta värdena i de största storleksklasserna. Svart färg representerar LISST-spektra från djupintervall 130 – 146 m för ett enskilt kast i anslutning till trålning.

### 5.3.2. Gullmarsfjorden

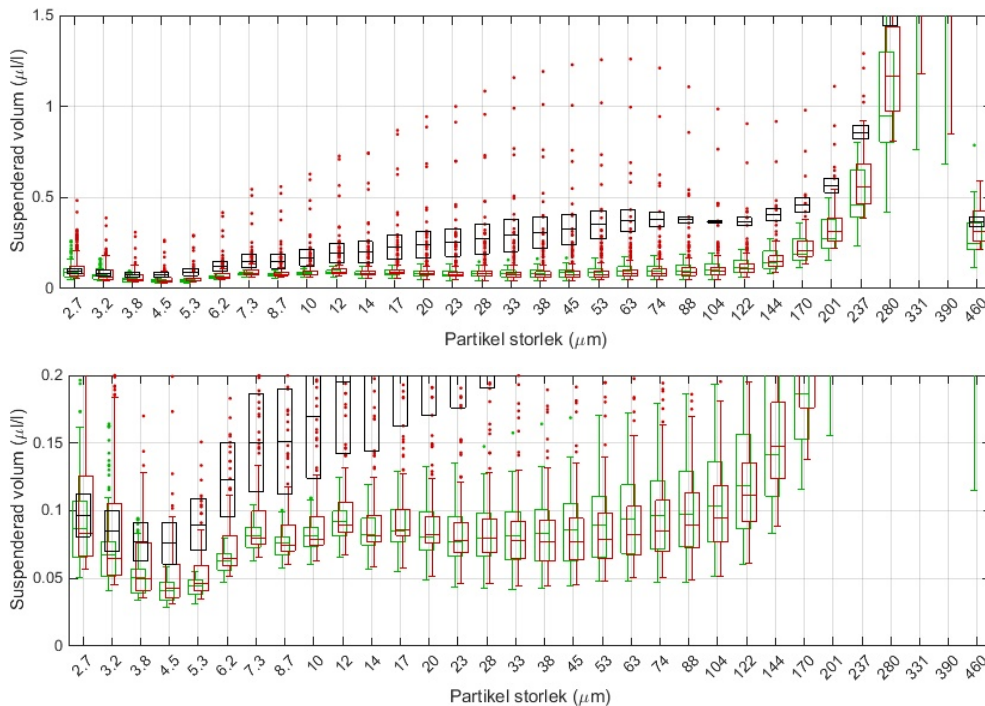
Vattenmassorna inom djupintervallet 34 – 50 m (se figur 19a-b) i Gullmarsfjorden antas vara relativt opåverkat av trålning, eftersom trålningens minsta djup är reglerat till 60 m och intervallet betraktas som en kontroll. Information från fiskaren som var aktiv var att trålningen bedrevs omkring 60 m kurvan, dvs. relativt grunt pga. rådande syrebrist i fjorden. Till skillnad från i Koster-Väderöfjorden valdes därför en grundare avgränsning i Gullmarsfjorden. Precis som för mätningarna i Kosterhavet, så är den övre gränsen av detta lager vald för att undvika de starka variationerna som karaktäriserar ytlagret. Den suspenderade volymen domineras kraftigt av de större partiklarna (förutom den allra största) med värden runt 1 µl/l. De små och medelstora partiklarna har värden runt 0,05 µl/l. För samtliga storlekar är värdena något högre vid de kast som är gjorda efter trålning, jämfört med kasten före trålning. Däremot är variationen inom respektive storlek aningen mindre. Vi bedömer att skillnaden mellan kasten före och efter trålning beror på att lokalerna är olika.

Djupintervallet under 50 m (Figur 20a-b) bedöms vara påverkat av trålning. Värdena är högre (ungefär 50 – 100 %) jämfört med djupintervallet ovanför. Även här är värdena högre och variationen större för kasten direkt efter trålning. Skillnaden mellan kasten före och efter trålning är emellertid mycket större än i djupintervallet ovanför. Särskilt för medelstora partiklarna är skillnaden dramatisk.

De svarta lådorna i figur 20a-b, visar värden från djupintervallet 72 - 76 m i nära anslutning till passage av en trålare. I detta spektrum är värdena för de klasserna 2,3 – 201 µm två till fyra gånger högre än vid kasten före trålning. Precis som mätningarna i anslutning till passage av trålare i Kosterhavet, så ligger en stor del av det ökade antalet outliers i kasten efter trålning (röda prickar) för de medelstora klasserna innanför de svarta lådorna. Med andra ord, många värden som statistiskt är outliers i den totala mängden värden, är inom normalfördelningen för en mätning i nära anslutning till passage av en trålare. Det är därför troligt att dessa outliers är orsakade av trålning.



Figur 19 a-b. LISST-spektra för mätning i Gullmarsfjorden 13.e april 2015. Grön färg representerar LISST-spektra före trålning och röd färg representerar LISST-spektra efter trålning inom djupintervall 34 – 50 m. I den övre grafen är skalan anpassad för att visa även de högsta värdena i de största storleksklasserna.



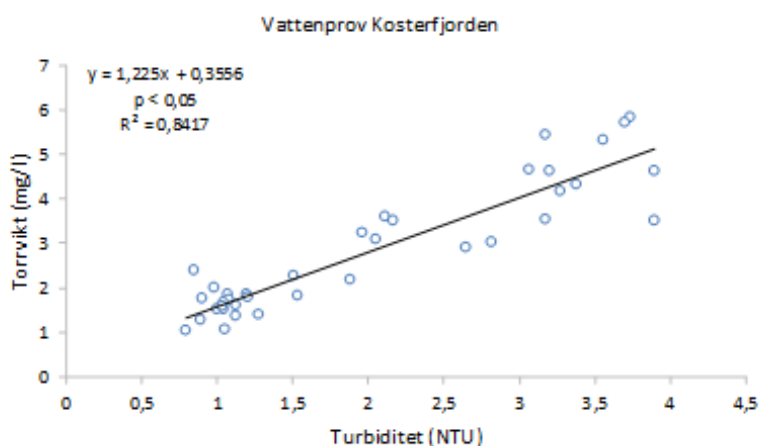
Figur 20 a-b. LISST-spektra för mätning i Gullmarsfjorden 13.e april 2015. Grön färg representerar LISST-spektra före trålning och röd färg representerar LISST-spektra efter trålning i vattenmassor djupare än 50 m. Svart färg representerar LISST-spektra från djupintervall 72 – 76 m för ett enskilt kast i anslutning till trålning. I den övre grafen är skalan anpassad för att visa även de högsta värdena i de största storleksklasserna.

## 5.4. Suspenderat material i vattenmassan

I syfte att kvantifiera mängden suspenderat material i vattenmassan insamlades vattenprover i samband med mätningarna av resuspension i både Kosterfjorden och Gullmarsfjorden.

### 5.4.1. Koster-Väderöfjorden

Mängden partikulärt material i vattenmassan korrelerade väl med turbiditeten i Koster-Väderöfjorden ( $r=0,9$ ) (Figur 21). Sambandet analyserades vidare med linjär regression.



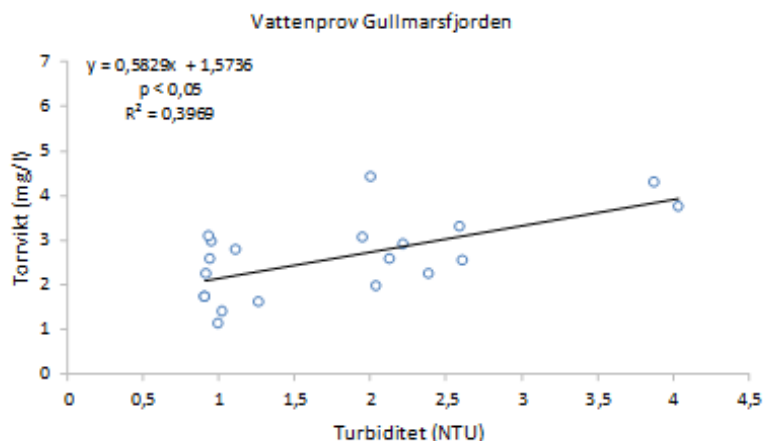
Figur 21. Samband mellan turbiditet (NTU) och suspenderat material torrsvikt (mg/l) för insamlade vattenprover i Koster-Väderöfjorden.

Baserat på uppmätta turbiditetsnivåer (Figur 10 & 11 a-j) i vattenmassan i Kosterfjorden beräknas mängden torrsvikt normalt variera mellan 0,52 – 1,6 mg/l med inslag av enstaka högre nivåer upp till maximalt 2,4 mg/l. Under dagar med trålning kan nivåerna istället stiga mellan ca 0,8 till 4 mg/l, vilket medför koncentrationer med högsta värden på cirka 5,9 mg/l i vattenmassan.

Nivåerna av suspenderat material under dagar med trålning riskerar således att överskrida de gränsvärden för påverkan på marina organismer i Kosterfjorden. Information om dokumenterade gränsvärden för suspenderat material har sammanställts och presenteras i tabell 5.

### 5.4.2. Gullmarsfjorden

Mängden partikulärt material i vattenmassan Gullmarsfjorden korrelerade med turbiditeten på samma sätt som för Koster-Väderöfjorden, men med sämre förklaringsgrad ( $r^2=0,40$ ;  $p<0,05$ ) (Figur 22).



Figur 22. Samband mellan turbiditet (NTU) och suspenderat material torrsvikt (mg/l) för insamlade vattenprov för Gullmarsfjorden.

I Gullmarsfjorden beräknas mängden torrsvikt normalt variera mellan ca 1,69 – 2,0 mg/l med inslag av enstaka högre nivåer upp till 2,3 mg/l. Under dagar med trålning kan nivåerna istället stiga mellan 1,9 till 3,9 mg/l, vilket medför koncentrationer upp till totalt ca 4,7 mg/l i vattenmassan.

Nivåerna av suspenderat material under dagar med trålning riskerar således att överskrida de nivåer som medför påverkan på marina organismer i Gullmarsfjorden ( $\geq 3$  mg/l), vilket kan utläsas ur tabell 6.

## 5.5. Biologiska effekter av resuspension och sedimentering

I tabell 5 anges ett flertal sammanfattade resultat från undersökningar där marina organismer exponerats för suspenderat sediment och sedimentation. För marina evertebrater (rygggradslösa djur) har effekter dokumenterats hos vuxna individer vid koncentrationer ned till 10 – 25 mg/l. Känslighet hos larvstadier indikerar emellertid på en lägre tolerans för suspenderat sediment jämfört med vuxna individer. För larver har en minskad överlevnad dokumenterats efter fem dagars exponering av suspenderat sediment vid koncentrationer ned till 5 mg/l. I samband med resuspension riskerar fastsittande arter att täckas av sedimentande material. Övertäckning av sediment med en varaktighet överstigande ett dygn medför en mycket hög dödlighet. Hos fisk tycks känsligheten för suspenderat material variera stort, dels mellan arter och dels inom arter mellan olika livsstadier. För vuxna individer av torsk och sill har undvikandebeteende dokumenterats vid nivåer av suspenderat sediment ned till och med 3 mg/l. För larver har en ökad dödlighet hos torsklarver registrerats vid nivåer under 10 mg/l och hos sillarver med minskat födoupptag vid 20 mg/l.

Tabell 5. Kunskapssammanfattning av studier som behandlar effekter av suspenderat sediment och sedimentation på marina organismer.

| Art  | Livsstadie | Behandling   | Effekt   | Referens                     |
|--|------------|--|--|------------------------------|
| Fotbollssvamp<br>( <i>Geodia barretti</i> )                    | Adult      | Suspenderat borrhax: 0, 10, 50, 100 och 500 mg/l   | Permanent reducerad syreförbrukning efter 29 dagars exponering av borrhax vid 50 mg/l.   | Kutti et al., (2015)         |
| Fotbollssvamp<br>( <i>G. barretti</i> )                        | Adult      | Suspenderat sediment: 0, 10, 50, 100 och 500 mg/l  | Tröskelvärde för effekt på respiration mellan 10 - 50 mg/l. Vid 100 mg/l reducerades respirationen med 86% och djuret stängde fysiologiskt ned.    | Tjensvoll et al., (2013)     |
| Ögonkorall<br>( <i>Lophelia pertusa</i> )                      | Adult      | Övertäckning av sediment och borrhax under 24, 48 och 72 timmar  | Efter 24 timmars övertäckning återhämtade korallerna sig bra men överlevde ej vid längre övertäckning.   | Allers et al., (2013)        |
| Ögonkorall<br>( <i>L. pertusa</i> )                            | Adult      | Suspenderat bottensediment och borrhax (<0,63 µm), 5 mg/l och 25 mg/l, under 12 veckor.                            | Lägre skelettutväxt och mindre utsträckning av polyper vid exponering av 25 mg/l för båda substrattyper  | Larsson et al., (2013)       |
| Ögonkorall<br>( <i>L. pertusa</i> )                            | Larver     | Suspenderat borrhax (<0,63 µm), 5 mg/l och 25 mg/l, under 5 dagar  | Reducerad överlevnad i behandlingarna med 10 % respektive 67 %   | Larsson et al., (2013)       |
| Ögonkorall<br>( <i>L. pertusa</i> )                            | Adult      | Sedimentation av naturligt bottenssubstrat och borrhax (< 1 mm) : 66 mg DW/cm och 198 mg DW/ cm                    | Ingen skillnad i påverkan mellan de båda substrattyperna   | Larsson & Purser., (2011)    |
| Ögonkorall<br>( <i>L. pertusa</i> )                            | Adult      | Sedimentation, 33 mg DW cm <sup>-2</sup> varannan dag under 45 dagar, av både naturligt sediment och borrhax       | Ingen effekt   | Larsson & Purser., (2011)    |
| Ögonkorall<br>( <i>L. pertusa</i> )                            | Adult      | Övertäckning med borrhax (<63 µm) av 6,5 mm och 19 mm.   | Vävnad kvävdes och polyper på korallerna dog. Den högre behandlingen gav en större effekt  | Larsson & Purser., (2011)    |
| Ögonkorall<br>( <i>L. pertusa</i> )                            | Adult      | Suspenderat sediment, 54 mg/l och 362 mg/l, under 14 dagar   | Polypernas överlevnad minskade från > 80 % (54 mg/l) till < 10% (362 mg/l). Fullständig övertäckning medförde nära 100% dödlighet efter 3-4 dagar. | Brooke et al., (2009)        |
| Marina<br>evertebrater   | Adult      | Beräknade en känslighetsfördelning för begravning av sediment  | HL05* vid 0,63 mm djup och HL50* vid 5,4 mm djup   | Smit et al., (2008)          |
| Ayu ( <i>Plegoslossus altivelis</i> )                          | Adult      | Suspenderat sediment, innehållande kaolin, under 3 h   | Förhöjd halt kortisol i blodet vid koncentrationer ≥ 200 mg/l.   | Awate et al., (2011)         |
| Torsk<br>( <i>Gadus morhua</i> )                               | Larver     | Suspenderat sediment med innehåll av kalk  | Ökad dödlighet vid nivåer < 10 mg/l  | Westerberg et al., (1996)    |
| Torsk ( <i>G. morhua</i> );<br>Sill ( <i>Clupea harengus</i> ) | Adult      | Suspenderat sediment med innehåll av kalk  | Undvek vattenmassor med sedimenthalter ned till 3 mg/l   | Westerberg et al., (1996)    |
| Torsk ( <i>G. morhua</i> )                                     | Adult      | Suspenderat sediment med innehåll av kalk  | Irritationsbeteende hos torsk samt skadliga effekter på gälar vid nivåer ≤100 mg/l.  | Westerberg et al., (1996)    |
| Sill ( <i>C. harengus</i> )                                    | Larver     | Suspension vid olika sedimentkoncentrationer: 0, 4, 8 och 20 mg/l.   | Vid 20 mg/l reducerad födokonsumtion   | Johnstone & Wildish., (1982) |
| Sill ( <i>C. harengus</i> )                                    | Rom        | Långvarig suspension om 300 - 500 mg/l samt kortvarig suspension om 500 mg/l. Bottenssubstratet utgjordes av silt. | Inga negativa effekter   | Kiørboe et al., (1981)       |

MarLIN-analysen visar på att de biotoper och arter som förekommer på hårbotten är mer känsliga för sedimentation och övertäckning än arter och biotoper på mjukbotten (Tabell 6 & Tabell 7). Det är rimligt med hänsyn till att mjukbottenarter är anpassade till sedimentrika miljöer. Av mjukbottenarter är sådana som lever i sandiga sediment i allmänhet mer känsliga än arter som lever i sediment med mindre kornstorlekar t.ex. silt och lera. Sammantaget ger tabellerna 6 & 7 bilden av att förekomsten av vissa arter och miljöer kan försämrats som en effekt av övertäckning och ökad sedimentation. Däremot visar inte MarLINs analyser att det är troligt att strukturerande arter eller biotoper i sin helhet skall försvinna på grund av ökad sedimentation. Att direkt överföra resultatet från MarLIN till svenska förhållanden kring trålningsmiljöer skall göras med viss försiktighet. I MarLIN analyseras främst effekter av en enstaka kraftig störning. Mätresultaten av förhållande kring trålningsområdena indikerar snarare på en låg men konstant störning. Detta gäller åtminstone i Koster-Väderöfjorden och i vissa områden utanför trålningsgränsen i Kattegatt-Skagerrak där trålningsfrekvensen är såpass hög att det i allmänhet trålas varje vecka. I Gullmarsfjorden är antalet tråldagar begränsade till maximalt 80 dagar per år fördelat på fyra fartygslicenser, vilket relativt Koster-Väderöfjorden är en begränsad och inte konstant fördelad störning över året (men se också diskussionen om trålningsintensitet i avsnittet om säkerhetsavstånd).

Tabell 6. MarLIN- klassning för biotoper som har sin motsvarighet längs svenska västkusten. Begreppen konfidens och intolerans förklaras i tabell 1 och 2, samt sid 22.

| Bottentyp  | Biotop beskriven av MarLIN  | Störningsfaktor    | Intolerans | Konfidens  |
|------------|---|--------------------|------------|------------|
| Hårdbotten | <i>Antedon</i> spp., solitary ascidians and fine hydroids on sheltered circalittoral rock                                 | Övertäckning       | Hög        | låg        |
| Hårdbotten | <i>Antedon</i> spp., solitary ascidians and fine hydroids on sheltered circalittoral rock                                 | Ökad sedimentation | Låg        | låg        |
| Hårdbotten | <i>Flustra foliacea</i> and other hydroid/bryozoan turf species on slightly scoured circalittoral rock or mixed substrata | Övertäckning       | Medel      | Låg        |
| Hårdbotten | <i>Flustra foliacea</i> and other hydroid/bryozoan turf species on slightly scoured circalittoral rock or mixed substrata | Ökad sedimentation | Låg        | låg        |
| Hårdbotten | <i>Lophelia</i> reefs   | Övertäckning       | Låg        | mycket låg |
| Hårdbotten | <i>Lophelia</i> reefs   | Ökad sedimentation | Låg        | låg        |
| Mjukbotten | <i>Amphiura filiformis</i> , <i>Mysella bidentata</i> and <i>Abra nitida</i> in circalittoral sandy mud                   | Övertäckning       | Låg        | hög        |
| Mjukbotten | <i>Amphiura filiformis</i> , <i>Mysella bidentata</i> and <i>Abra nitida</i> in circalittoral sandy mud                   | Ökad sedimentation | Låg        | hög        |
| Mjukbotten | <i>Brissopsis lyrifera</i> and <i>Amphiura chiajei</i> in circalittoral mud   | Övertäckning       | Låg        | Måttlig    |
| Mjukbotten | <i>Brissopsis lyrifera</i> and <i>Amphiura chiajei</i> in circalittoral mud   | Ökad sedimentation | Tolerant   | Måttlig    |
| Mjukbotten | Foraminiferans and <i>Thyasira</i> sp. in deep circalittoral fine mud   | Övertäckning       | Hög        | mycket låg |
| Mjukbotten | Foraminiferans and <i>Thyasira</i> sp. in deep circalittoral fine mud   | Ökad sedimentation | Låg        | hög        |
| Mjukbotten | Seapens and burrowing megafauna in circalittoral fine mud   | Övertäckning       | Låg        | hög        |
| Mjukbotten | Seapens and burrowing megafauna in circalittoral fine mud   | Ökad sedimentation | Låg        | Måttlig    |



Tabell 7. MarLIN- klassning för några arter som förekommer längs svenska västkusten.

| Bottentyp  | Biotop beskriven av MarLIN                                | Störningsfaktor    | Intolerans | Konfidens |
|------------|---|--------------------|------------|-----------|
| Hårdbotten | Död mans hand ( <i>Alcyonium digitatum</i> )              | Övertäckning       | Medel      | Låg       |
| Hårdbotten | Död mans hand <i>A. digitatum</i> )                       | Ökad sedimentation | Låg        | Måttlig   |
| Mjukbotten | Ornstjärna ( <i>Amphiura chiajei</i> )                    | Övertäckning       | Låg        | Låg       |
| Mjukbotten | Ornstjärna ( <i>A. chiajei</i> )                          | Ökad sedimentation | Tolerant   | Hög       |
| Hårdbotten | Hårstjärna ( <i>Antedon petasus</i> )                     | Övertäckning       | Hög        | Low       |
| Hårdbotten | Hårstjärna ( <i>A. petasus</i> )                          | Ökad sedimentation | Låg        | Måttlig   |
| Mjukbotten | Bollmussla, Islandsmussla ( <i>Artica islandica</i> )     | Övertäckning       | Medel      | Måttlig   |
| Mjukbotten | Bollmussla, Islandsmussla ( <i>A. islandica</i> )         | Ökad sedimentation | Tolerant   | Måttlig   |
| Hårdbotten | Sjöpung ( <i>Asciodiella scabra</i> )                     | Övertäckning       | Låg        | Måttlig   |
| Hårdbotten | Sjöpung ( <i>A. scabra</i> )                              | Ökad sedimentation | Låg        | Måttlig   |
| Mjukbotten | Grävande sjöborre ( <i>Brissopsis lyrifera</i> )          | Övertäckning       | Låg        | Måttlig   |
| Mjukbotten | Grävande sjöborre ( <i>B. lyrifera</i> )                  | Ökad sedimentation | Tolerant   | Måttlig   |
| Mjukbotten | Mjukbottenslevande räka ( <i>Callinassa subterranea</i> ) | Övertäckning       | Tolerant   | Måttlig   |
| Mjukbotten | Mjukbottenslevande räka ( <i>C. subterranea</i> )         | Ökad sedimentation | Tolerant   | Måttlig   |
| Mjukbotten | Korgmussla ( <i>Corbula gibba</i> )                       | Övertäckning       | Låg        | låg       |
| Mjukbotten | Korgmussla ( <i>C. gibba</i> )                            | Ökad sedimentation | Tolerant   | Måttlig   |
| Mjukbotten | Grävande sjöborre ( <i>Echinocardium cordatum</i> )       | Övertäckning       | Tolerant   | Hög       |
| Mjukbotten | Grävande sjöborre ( <i>E. cordatum</i> )                  | Ökad sedimentation | Låg        | Hög       |

## 6. Diskussion

---

Ett viktigt syfte med att mäta storlek och kvantitet av suspenderade partiklar med instrumentet LISST är att det ger information om hur snabbt partiklarna sjunker. För att kunna beräkna sjunkhastigheten behövs även partiklarnas densitet, vilken har antagits motsvara densiteten för kvarts som motsvarar medeldensitet för mineraliska sediment t.ex. sand. Eftersom silt- och lerbottensedimenten också innehåller en viss mängd organiskt material kan vi utgå från att resuspenderade partiklar i verkligheten har en genomsnittlig densitet som är lägre än för kvarts och därmed en lägre sjunkhastighet än motsvarande kvartspartiklar. Det betyder att de resultat som vi redovisar för horisontella sträckor som resuspenderade partiklar transporteras innan de når botten är underskattningar och de kan alltså sannolikt transporteras ännu längre.

Idealiserade beräkningar av hur plymer från trålning sprider sig horisontellt över Kosterrännan visar att trålningen potentiellt kan förklara en stor del av bakgrundsvärdena under dagar utan trålning. Dessa idealiserade beräkningar visar att varje tråldrag kan höja turbiditeten med 0,05 NTU över hela rännans bredd i ett 10 m djupt lager. Detta ska jämföras med att våra mätningar indikerar att skillnaden i turbiditet på trålade djupintervall (60 – 150 m) mellan en söndag utan trålning och följande måndag med trålning är ungefär 0,05 NTU. För att dessa idealiserade beräkningar ska kunna förklara resultatet från mätningarna så krävs nio tråldrag, ett drag per 10 m inom det trålade intervallet. Det motsvarar fiskeaktiviteten av fem fartyg som gör i genomsnitt två drag var, vilket är en ganska typisk intensitet under en dag med trålning i Koster-Väderöfjorden.

Vid fiske med en bottenrål utrustad med underställ av modell ”rockhopper” det vill säga skivformade rullar, resuspenderas mellan 12,4 till 69,3 kg/m<sup>2</sup> sediment uppmätt direkt bakom understället (O’Neill & Summerbell., 2011). Mängden som resuspenderas påverkas dels av karaktären på sedimentet och dels av storleken på det hydrodynamiska motståndet som uppstår i samband med att de olika komponenterna av redskapet dras fram genom vattenmassan över havsbotten. På havsbottnar bestående av sand resuspenderas mindre mängder material jämfört med bottenområden av finare karaktär såsom silt. Det hydrodynamiska motståndet ökar också med farten och med ökad storlek på trålen. Trålborden har störst inverkan på kraften i det hydrodynamiska motståndet (O’Neill & Summerbell., 2011). I beräkningarna av O’Neill & Summerbell., (2011) antogs bland annat att trålbordens area motsvarade 5m<sup>2</sup> och att trålen släpades fram i en hastighet av 2,9 knop. Representerativa förutsättningar jämfört med bottenrålffiske utmed svenska västkusten, undantaget Koster-Väderöfjorden och Gullmarsfjorden där respektive trålbord får ha en yta om maximalt 2,7 m<sup>2</sup> respektive 1,3 m<sup>2</sup>. Vid fiske efter räka dras trålen fram i en hastighet mellan 1,25 – 2,25 knop. Sammantaget bedöms det hydrodynamiska motståndet som genereras av trålar i Koster-Väderöfjorden och Gullmarsfjorden vara mindre jämfört med beräkningarna av O’Neill & Summerbell., (2011). Effekten av resuspension på olika substrat med varierande kornstorlek bedöms däremot vara likvärdig.

De maximala nivåerna i plymerna för resuspenderat material av trålning i Koster-Väderöfjorden och Gullmarsfjorden som dokumenterades uppgick till 5,8 mg/l respektive 4,7 mg/l. Nivåerna understiger de koncentrationer som visats påverka

vuxna individer av marina evertebrater (Tabell 5). Det har däremot konstaterats en minskad överlevnad för larver av arten ögonkorall efter fem dagars exponering av resuspenderat sediment vid 5 mg/l (Larsson et. al., 2013). Med hänsyn till hur trålning efter råka bedrivs inom Koster-Väderöfjorden finns en risk att trålning i viss utsträckning upprätthåller högre toppar av turbiditet under den fisketillåtna perioden av veckan. Den ackumulerade effekten skulle potentiellt kunna missgynna rekrytering av arter som exempelvis ögonkorall med larvstadier känsliga för förhöjda halter av suspenderat material. Det generella kunskapsläget avseende gränsvärden för negativ påverkan på larvstadier hos marina evertebrater av resuspenderat sediment är emellertid lågt. Det är därför svårt att göra en generell bedömning av denna typ av påverkan för området i Koster-Väderöfjorden i dagsläget.

För torsk och sill har undvikandebeteende dokumenterats vid nivåer av suspenderat sediment ned till och med 3 mg/l (Westerberg et. al., 1996). För torsklarver har en ökad mortalitet i korttidsförsök dokumenterats vid nivåer kring 10 mg/l (Westerberg et al., 1996). Ägg och fisklarver kan inte fly ur vattenskikt med förhöjd turbiditet eftersom de passivt driver med strömmarna. De enstaka momentant högre nivåerna av turbiditet i plymerna efter trålning i undersökningarna kan innebära ett problem för känsliga levnadsstadier eller processer hos fisk. I Gullmarsfjorden förekommer lek av ett lokalt men hotat bestånd av torsk. Torsken i Gullmarsfjorden leker under vintern (jan-mars). Efter leken kläcks äggen efter ungefär en månad och därefter följer en larvfas på vanligtvis 1 – 2 månader. Längden på perioden är beroende av temperatur, som larver innan de utvecklas till fiskyngel (Hinrichsen et. al., 2009). En förvaltningsåtgärd för lokalt lekande torsk skulle följaktligen kunna vara att begränsa bottentrålningen under dessa känsliga perioder för lek- och larvstadier.

Som nämnts ovan är maxnivåerna på uppmätt turbiditet inom de gränsvärden som effekter på marina organismer dokumenterats. Utifrån de mätresultatet och beräkningar av sjunkhastigheter är det sannolikt att högst turbiditet uppstår i vattenskiktet närmast havsbotten, det vill säga i det område där samtliga bottenfiskar och bottenfaunaarter lever. Mätningar i detta bottennära skikt är komplicerat och kräver emellertid en annan teknik jämfört med vad som använts i denna studie. Sammantaget kan det inte uteslutas att nivåerna för turbiditet genererade av trålning kan uppnå högre koncentrationer jämfört med vad som visats i undersökningen hitintills.

Sammantaget kan det konstateras att turbiditeten i samband med trålning uppnår nivåer som har dokumenterats medföra negativa effekter på marina organismer såsom fisk och evertebrater. Periodvis, under lek- och larvstadier kan trålplymerna orsaka störningar av känsliga levnadsstadier och processer hos marina organismer. Varaktigheten i exponeringen från de höga nivåerna av turbiditet genererad av trålning är emellertid begränsad, i storleksordningen timmar, och är att betraktas som en momentan men återkommande störning. De uppmätta nivåerna av förhöjd turbiditet i samband med bottentrålfiske efter nordhavsråka i Koster-Väderöfjorden och Gullmarsfjorden kan därför inte uteslutas medföra negativa ekologiska konsekvenser för befintliga fisk- och bottenfaunasamhällen.

Majoriteten av effektstudier på organismer är genomförda under kortare experimentella förhållande och på ett fåtal arter. Det finns alltså endast mycket begränsad mängd information för att kunna dra slutsatser om huruvida varaktig suspension,

eller hur konstant ökade halter av suspenderat material i bottenvattnet påverkar olika typer av organismer eller livsstadier.

### **6.1. Åtgärder för att minska sedimentspridning till marina skyddsområden vid trålning**

I uppdraget efterfrågas en uppskattning av lämpliga säkerhetsavstånd/buffertzoner mellan trålning och skyddsvärda områden. Större partiklar ( $>0,1$  mm) kommer att nå botten inom ett avstånd av samma storleksordning som den typiska bredden på en trålplym det vill säga inom 100 m, eller flera hundra meter om det rör sig om partiklar i fraktionsintervallet 0,05-0,1 mm (Tabell 4). Den större andelen av partiklar som resuspenderas i Koster-Väderöfjorden och Gullmarsfjorden är dock av mindre storlek ( $<0,01$  mm) vilket är typiskt för botten med hög inblandning av silt och lera (O'Neil & Summerbell 2011) och som dominerar fjordbassängerna i form av postglaciala leror (Klingberg 2015a; Klingberg 2015b). Dessa partiklar har långsam sjunkhastighet och kommer att transporteras en relativt lång sträcka ( $>1$  km) innan de når botten (se 4.4.1 och Tabell 3). Partiklarna kommer också att tendera att förbli länge i bottenlagret, eftersom det är tillräckligt med endast svaga strömhastigheter för att bibehålla partiklarna i suspension. Mot denna bakgrund behöver en trålskyddszon mot resuspension av små till medelstora partiklar för att skydda mindre områden, som till exempel Spirans trålskyddsområde, ha en radie på flera kilometer.

Andra förvaltningsverktyg som kan övervägas för att begränsa sedimentspridning orsakad av bottentrålning är begränsningar i fiskeansträngning i tid, t.ex. för att undvika påverkan av resuspension på känsliga livsstadier.

En jämförelse mellan räkrålningen i Gullmarsfjorden och Koster-Väderöfjorden är intressant för att belysa de skillnader som finns i förvaltningen och hur detta kvantitativt påverkar bottenpåverkan och resuspensionen. Trålningen sker på ungefär samma sätt men med olika storlek på trålarna, och olika fiskeansträngning. I Gullmarsfjorden är fiskeansträngningen begränsad till 80 dagar per år fördelat på fyra fartyg. Denna fiskeansträngning är i medeltal 123 tråldrag fördelat på 575 timmar per år. Det mesta fisket bedrivs från mars till november med 3-15 dagars aktivitet per månad. Trålningen i Koster-Väderöfjorden bedrivs veckovis måndag-torsdag med i medeltal 1096 tråldrag fördelat på 6870 timmar per år (Tabell 8).

Regelverket medför att fiskeaktiviteterna och därmed resuspension från trålningen i de olika fjordområdena fördelar sig olika i tid, vilket innebär att Gullmarsfjorden periodvis är otrålad veckovis eller under vinterperioden när det inte trålas, månadsvis. Koster-Väderöfjorden är i praktiken kontinuerligt utsatt för resuspension från trålningen på grund av att partiklarna aldrig hinner sedimentera ner helt innan nästa fiskeperiod.

Jämförs fiskeansträngningen mellan de två områdena per påverkad vattenvolym så är ansträngningen cirka 6 gånger högre i Gullmarsfjorden jämfört med Koster-Väderöfjorden; då fisket är koncentrerat till en avgränsad del av fjorden och i ett begränsat djupintervall. Uppskattningen har baserats på information från yrkesfiskarna i Gullmarsfjorden. För yrkesfisket har det antagits att trålningen sker mellan 60-80 m djup på grund av den periodvisa syrebristen i de djupare delarna. Med påverkad vattenvolym avses här volymen beräknad som produkten av arean i respektive område som är djupare än 50 m och det djupintervall som trålas givet att

trålplymen sträcker sig 10 m upp från minsta tillåtna tråldjupet 60 m. En mer relevant indikator för påverkan av resuspension är istället förhållandet mellan den av trålarna svepta bottenytan och den påverkade vattenvolymen. I en sådan jämförelse är istället Gullmarsfjorden nära 3 gånger mer påverkad än Koster-Väderöfjorden vilket beror på att trålarna i Gullmarsfjorden är ca hälften så breda som de som används i Koster-Väderöfjorden (Tabell 8).

För en jämförelse av bottenpåverkan med avseende på störning per yta används vanligen fiskeansträngningen som svept yta av trålarna dividerat med den påverkade arealen (svept area kvot). I en sådan jämförelse är skillnaden inte så stor mellan områdena jämfört med övriga delar av Kattegatt, Skagerrak och Nordsjön där det bottentrålas så uppvisar dock båda områdena relativt höga aktiviteter beräknat som svept area kvot uppskattningar (surface abrasion swept area ratio, ICES 2015).

Sammanfattningsvis medför de olika regelverken att resuspension av trålningen i de olika fjordområdena fördelar sig olika i tid och rum i respektive området. Den mest relevanta indikatorn för resuspension i jämförelsen mellan områdena är svept area volym kvot för de påverkade vattenlagren. En jämförelse mellan områdena visar att Gullmarsfjordens regelverk medför en relativt sett högre påverkan av resuspension i de vattenlager som trålas, men att denna påverkan är koncentrerad till en avgränsad del av Gullmarsfjorden och att storleksregleringen av trålarna bidrar till att begränsa påverkan.

Tabell 8. Beräkning av påverkansindikatorer för fysisk störning (svept area kvot) och resuspension (svept area volym kvot). Statistik om fiskeansträngning och motorstyrka är hämtad ur yrkesfiskets loggböcker presenterade som medelvärden för åren 2007-2009.

| Fiskeanstr.<br>(tim/år)     | Djupintervall påverkat<br>(km) | Areal påverkad<br>djup > 60m (km <sup>2</sup> ) | Volym påverkad<br>(km <sup>3</sup> ) | Fiskeanstr./volym<br>(tim/km <sup>3</sup> ) | Svept area<br>kvot | Svept area volym<br>kvot (km <sup>-1</sup> ) |
|-----------------------------|--------------------------------|---|--------------------------------------|---|--------------------|--|
| <b>Koster-Väderöfjorden</b> |                                |   |                                      |   |                    |  |
|                             | 50-150m                        |   |                                      |   |                    |  |
| 6870                        | 0.10                           | 160   | 16.00                                | 429   | 5.95               | 59   |
| <b>Gullmarsfjorden</b>      |                                |   |                                      |   |                    |  |
|                             | 50-80m                         |   |                                      |   |                    |  |
| 575                         | 0.03                           | 8   | 0.23                                 | 2556  | 5.11               | 170  |

(a) Svept area i Gullmarsfjorden är beräknad för det avgränsade området där trålning är tillåtet med en yta av 7,5 km<sup>2</sup>. (b) Bredd mellan trålborden för trålarna i Gullmarsfjorden är baserad på regelverket om 20 m mellan armarnas yttre ändar. För Koster-Väderöfjorden är bredden rapporterad av yrkesfiskarna till ca 42 m. Trålfart är beräknad från satellitpositioneringar av räktrålare till en medelfart på 1,8 knop.

En åtgärd som kan begränsa resuspensionen är utformningen av redskapen. Det hydrodynamiska motståndet för de olika delarna av trålredskapet som är i närheten av bottensedimentet är avgörande för mängden sediment som resuspenderas. Störst påverkan har trålborden som sprider trålens öppning. Vikten på trålborden är av mindre betydelse än arean av trålborden och utformning på dessa. Regelverken gällande trålbordens storlek i Gullmarsfjorden (1,3 m<sup>2</sup>) jämfört med Koster-Väderöfjorden (2,7 m<sup>2</sup>) skiljer sig här vilket innebär att påverkan på resuspension från trålbordens motstånd i vattnet per fiskeansträngning är mindre i Gullmarsfjorden. Utanför trålgränsen är storlek på trålborden inte reglerat. Storlek och form på

trålbord i utsjöfisket varierar och beror på målart, vilka djup som fiskas, tråls storlek, fartygets motorkapacitet m.m. Möjligheterna till att designmässigt minska motståndet från trålbord och underställ genom vattnet är många. Drivkrafter för effektivisering här är stora då minskat motstånd också står i direkt proportion till bränsleförbrukningen och därmed minskade kostnader för fisket. Störst effekt för att minska påverkan på botten och resuspension skulle dock uppnås med en omställning till burar som alternativ till trål i skaldjursfisket (Ziegler & Valentinsson 2008).

## 6.2. Resultat och slutsatser

### **Bakgrundsvärden av suspenderat material varierar**

Bakgrundsvärdena av turbiditet i Koster-Väderöfjorden och Gullmarsfjorden varierar över tid. Undersökningarna visar att en ökad turbiditet är kopplad till perioder med stark vind. Mätningarna, kombinerade med beräkningar av sedimentationshastigheter visar att partiklar i suspension från omkringliggande områden också kan tillföras Kosterrännans och Gullmarsfjordens djupare delar. Långsamt sjunkande partiklar kan vara suspenderade på alla djup och kan tillföras genom vattenutbyten ovan tröskeldjupen. Partiklar med högre sjunkhastighet kan förbli i suspension i ett gränslager nära botten. Dessa partiklar kan transporteras med strömmar i botten nära vattensikt och sjunka nedåt utefter sluttningarna när de når Kosterrännan och Gullmarsfjordens djupare delar.

### **Halterna av suspenderat material höjs under dagar med trålning**

Turbiditeten höjs i Koster-Väderöfjordens och Gullmarsfjordens djupare vattensikt där trålning sker (60 - 150m) under de dagar då trålningen pågår. Motsvarande höjningar noteras inte i vattenmassorna ovanför trålningsdjupen. Mönstret återkommer i mätningarna av volym suspenderade partiklar, där ses en förhöjning efter trålning. Tydligast är skillnaden för medelstora partiklar (0,01 – 0,1 mm). Förhöjningen av turbiditet i Koster-Väderöfjorden är i medelvärde 0,047 NTU enheter, motsvarande en halt av suspenderat material på 0,057 mg torr/vikt/l. Resultatet representerar effekten av en dags trålfiske. Effekten orsakas av partiklar med tillräckligt låg sjunkhastighet för att vara kvar i suspension under tiden (timmar) från trålning till mätning. Fisket bedrivs under måndag till torsdag och för att beskriva effekten under en hel veckas fiske bör resultatet multipliceras med 4 (4 dagars fiske); den totala mängden suspenderat (långsamt sjunkande) sediment som tillförs vattenmassan under en vecka är ca 0,23 mg/l.

Nivåerna av de medelhalter av suspenderat material som beräknats är relativt låga jämfört med värden från experimentella undersökningar där effekter på fysiologi ( $\geq 5$  mg/l) och beteende konstaterats ( $\geq 3$  mg/l). Skillnaden i medelhalter av suspenderat material mellan dagar utan trålning och dagar med trålning och trålade dagar är mindre än variationen av bakgrundsvärdena.

### **Höjningen av suspenderat material kan i de trålade vattenlagren vara så hög att den når nivåer som visat sig vara negativa för organismer**

Trålningen orsakar partikelplymer i vattenmassan med hög turbiditet vilket medför att variationen i vattenpelaren ökar med i snitt 75 % under dagar då det trålas. Motsvarande mönster finns för suspenderad volym av partiklar; framförallt varierar volymen av de medelstora partiklarna (grov silt) kraftigt efter trålning. På vissa

lokaler och djup har det uppmätts partikelhalter över 5 mg/l under dagar med trålning. Resultatet innebär att under kortare perioder (timmar) i avgränsade vattenpaket, uppnås så höga värden att vissa organismers fysiologi och beteende kan påverkas. En genomgång av vetenskaplig litteratur visar att generellt är arter som lever på mjukbotten mindre känsliga för övertäckning eller förhöjda sedimentationsmängder än arter som lever på hårbotten eller i fria vattenmassan. De organismer som visat störst känslighet för förhöjd turbiditet är fisk ( $\geq 3$  mg/l) och larver ( $\geq 5$  mg/l), medan vuxna individer av fastsittande organismer som ögonkorall och svampdjuret *Geodia baretii* är mer toleranta ( $>10$  mg/l).

#### **Resuspension av material från trålning kan leda till förhöjda bakgrundsnivåer av suspenderat material**

Efter att trålningen avslutas under torsdagar avtar turbiditeten i Kosterrännan. De partiklar som dominerar det suspenderade materialet är dock så små att de har långsam sjunkhastighet. Beräkningarna i studien visar att de därför kommer att stanna i suspension i vattenmassan och påverka nivåerna under längre tid än de stopperioder (fredag-söndag) som tillämpas av trålfisket. Det tillskott av suspenderat material som trålningens resuspension tillför, inom de djup där trålning är tillåtet, kommer därför att blandas med partiklar som finns suspenderade av naturliga orsaker. Sammantaget leder detta till långsiktigt förhöjda bakgrundsvärden. Resultatet bekräftas av våra mätningar som visar att bakgrundsnivåerna kan vara påverkade av trålning eftersom turbiditetsprofiler i djupled, under söndagar då trålning inte förekommer, uppvisar förhöjda värden inom de vattenmassor ( $> 60$  m) där trålningen bedrivs.

#### **Små skyddsområden kan minska spridningen av resuspension för stora partiklar men inte för små till medelstora partiklar**

Små (cirka 300 m) skyddszoner och områdesskydd kan ge ett visst skydd mot resuspension och spridning av stora partiklar (större än 0,05 mm). Skydd av mindre områden är dock inte en effektiv åtgärd för skydd mot ökad sedimentspridning från botten trålning om de botten som trålas består av fina (mindre än 0,05 mm) sediment, dvs. silt och lera. Minskning i resuspension åtgärdas mest effektivt med en omställning till passiva redskap t.ex. fiske med burar i känsliga områden. Möjligheter finns också att minska det hydrodynamiska motståndet i olika delar av trålen, särskilt underställ och trålbord. Fiskeansträngningen kan också regleras med olika strategier beroende på vad för organismer som är utsatta. Exempelvis skulle regleringar i tid för att till exempel undvika påverkan på känsliga livsstadier som ägg och larver, kunna vara effektivt.

## 7. Referenser

---

- Allers, E., Abed, R.M.M., Wehrmann, L.M., Wang, T., Larsson, A.I., Purser, A., De Beer, D. 2013. Resistance of *Lophelia pertusa* to coverage by sediment and petroleum drill cuttings. *Marine Pollution Bulletin* 74, 132-140.
- Agrawal, Y. & Pottsmith, H. 2000. 'Instruments for particle size and settling velocity observations in sediment transport', *Marine Geology* 168(1 – 4), 89 – 114.
- Awata, S., Tsuruta, T., Yada, T., Iguchi, K. 2011. Effects of sediment on cortisol levels in wild and cultured strains of ayu *Plecoglossus altivelis*. *Aquaculture* 314, 115-121
- Bradsham, C., Thensvoll, I., Sköld, M., Allan, I., Molvaer, J., Magnusson, J., Naes, K., Nilsson, H. 2012. Bottom trawling resuspends sediment and releases bioavailable contaminants in a polluted fjord. *Environ. Poll.* 170, 232-241.
- Brook, S.D., Holmes, M.W., Young, C.M. 2009. Sediment tolerance of two different morphotypes of the deep-sea coral *Lophelia pertusa* from the Gulf of Mexico. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 390, 137-144.
- Danielsson, A., Jönsson, A., Rahm, L. 2007. Resuspension patterns in the Baltic proper. *Jour. of Sea Res.* 57(4), 257-269.
- Diesing, M., Stephens, D., Aldridge, J. 2013. A proposed method for assessing the extent of the seabed significantly affected by demersal fishing in the Greater North Sea. *ICES – Jour. of mar. Sci: Jour. du Cons.* 70(6), 1085-2210.
- Dounas, C., Davies, I., Triantafyllou, G., Koulouri, P., Petihakis, G., Arvanitidis, C., Surlatzis, G., Eleftheriou, A. 2007. Large-scale impacts of bottom trawling on shelf primary productivity. *Cont. Shelf. Res.* 27(17), 2198-2210
- Floderus, S. & Pihl, L. 1990. Resuspension in the Kattegat: Impact of variation in wind climate and fishery. *Estuarine, Coastal and Shelf Science.* 31 (4), 487-498.
- Gilmour, J. 1999. Experimental investigation into the effects of suspended sediment on fertilization, larval survival and settlement in a scleractinian coral. *Mar. Biol.* 135(3), 451-462.
- Habitatdirektivet, RÅDETS DIREKTIV 92/43/EEG om bevarande av livsmiljöer samt vilda djur och växter. Europeiska gemenskapens officiella tidning. 11, bilaga 1.
- Hinrichsen, H-H., Kraus, G., Böttcher, U., Köster, F. Identifying eastern Baltic cod nursery grounds using hydrodynamic modelling: knowledge for the design of Marine Protected Areas. *ICES - Jour. Mar. Sci.* 66, 101-108.
- Hongve, D. & Åkesson, G. 1998, 'Comparison of nephelometric turbidity measurements using wavelengths 400 - 600 and 860 nm'. *Water Research* 32(10), 3143 - 3145.
- Humborstad, O., Jörgensen, T., Grotmol, S. 2006. Exposure of cod *Gadus morhua* to resuspended sediment: an experimental study of the impact of bottom trawling. *Mar. Ecol. Pros. Ser.* 309, 247-254.



- Johnston, D.D., Wildish, J.D., 1982. Effects of suspended Sediment on feeding by larval herring (*Clupea harengus harengus* L.) Bull. Environm. Contam. Toxicol. 29, 261-267.
- Klingberg, F. 2015. Beskrivning av maringeologisk karta Väderöarna – Strömstad. SGU – Sveriges geologiska undersökning. 64 sid.
- Kundu, P. K. & Cohen, I. M. 2002. *Fluid Mechanics*, second edn. Academic Press, California, USA.
- Kjørboe T., Frantsen E., Jensen C., Sørensen G. 1981. Effects of Suspended on Development and Hatching of Herring (*Clupea harengus*) Eggs. Estuarine, Coastal and Shelf Science 13, 107-111
- Kutti, T., Bannister, R.J., Helge Fosså, J., Krogness, C.M., Tjensvoll, I., Guldborg, S. 2015. Metabolic responses of the deep-water sponge *Geodia barretti* to suspended bottom sediment, simulated mine tailings and drill cuttings. Jour. Exp. Mar. Biol. and Ecol. 473, 64-72.
- Larsson, A.I., Oevelen, D.v., Purser, A., Thomsen, L. 2013. Tolerance to long-term exposure of suspended benthic sediments and drill cuttings in the cold water coral *Lophelia pertusa*. Mar. Poll. Bull. 70, 176-188.
- Larsson, A.I., Purser, A. 2011. Sedimentation on the cold-water coral *Lophelia pertusa*: cleaning efficiency from natural sediments and drill cuttings. Mar. Pollut. Bull. 62, 1159–1168.
- Linders, T., Nilsson, P., Sköld, M., Edlund, G. 2014. Trålskyddsuppföljning i Koster-Väderöfjorden – sedimentationsundersökningar i Spiran. Länsstyrelsen i Västra Götalands län, rapport no. 2014:16.
- Naturvårdsverket. 2009. Skötselplan för Kosterhavets Nationalpark. Naturvårdsverket, Stockholm.
- O'Neill, F.G. & Summerbell, K. 2011. The mobilization of sediment by otter trawls. Mar. Poll. Bull. 62, 1088-1097.
- OSPAR. 2008. OSPAR Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic. OSPAR List of Threatened and/or Declining Species and Habitats. Reference Number: 2008-6
- Puig, P., Canals, M., Company, J., Martín, J., Amblas, D., Lastras, G., Palanques, A., Calafat, A. 2012. Ploughing the deep seafloor. Nature 489, 286-289.
- Sherwood, C., Butman, B., Cacchione, D., drake, D., Gross, T., Sternberg, R., Wi-berg, P., Williams III, A. 1994. Sediment-transport events on the northern California continental shelf during the 1990 – 1991 Stress experiment. Cont. Shelf. Res. 14 (10-11), 1063 – 1099.
- Smit, M.G.D., Holthaus, K.I.E., Trannum, H.C., Neff, J.M., Kjeilen-Eilertsen, G., Jak, R.G., Singaas, I., Huijbregts, M.A.J., Hendriks, A.J. 2008. Species sensitivity distributions for suspended clays, sediment burial, and grain size change in the marine environment. Environ. Toxicol. Chem. 27, 1006–1012.
- Tjensvoll, I., Kutti, T., Foss\_a, J. H. and Bannister, R. J. 2013. Rapid respiratory responses of the deep-water sponge *Geodia barretti* exposed to suspended sediments, Aquatic Biology 19, 65 -73.

Tjensvoll, I. 2013. Sediment resuspension: Impacts and extent of human disturbances, doktorsavhandling. Stockholmsuniversitet.

Westerberg, H., Rönnbäck, P. and Frimansson, H. 1996. Effects of suspended sediments on cod eggs and larvae and on the behaviour of adult herring and cod, C.M. documents E: 26, ICES. 15

Ziegler, F. & Valentinsson, D. 2008. Norway lobster (*Nephrops norvegicus*) caught along the Swedish coast by creels and conventional trawls. The international Journal of Life Cycle Assessment 13(6): 487 – 497.

