

Uppföljning av trålskyddsområde Spiran i Kosterhavets nationalpark: orsakar trålning ökad grumlighet i vattnet?*

14 mars 2014

Torsten Linders¹, Per Nilsson², Mattias Sköld³, Gustav Edlund⁴



GÖTEBORGS UNIVERSITET



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

*Rapporten är beställd av Länsstyrelsen i Värstra Götalands län, 2012-03-21 , Diarienummer: 512-7361-2012.

¹Göteborgs Universitet, Institutionen för Geovetenskaper

²Göteborgs Universitet, Institutionen för Biologi och Miljövetenskap

³Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för Akvatiska Resurser, Havsfiskelaboratoriet

⁴Göteborgs Universitet, Institutionen för Geovetenskaper

1 Sammanfattning

Inom Kosterhavets nationalpark finns ett antal områden där bland annat trålning inte är tillåtet. Sedan områdena inrättades har det dock inte gjorts någon systematisk utvärdering av deras effektivitet. Länsstyrelsen i Västra Götaland gav i mars 2012 Göteborgs universitet i uppdrag att under 2012 undersöka om trålningen i närheten av trålskyddsområdena ger upphov till uppslamning av sediment som sedan påverkar själva trålskyddsområdena. Länsstyrelsen i Västra Götaland gav i mars 2012 Göteborgs universitet i uppdrag att under 2012 undersöka om trålningen i närheten av trålskyddsområdena ger upphov till uppslamning av sediment som sedan påverkar själva trålskyddsområdena.

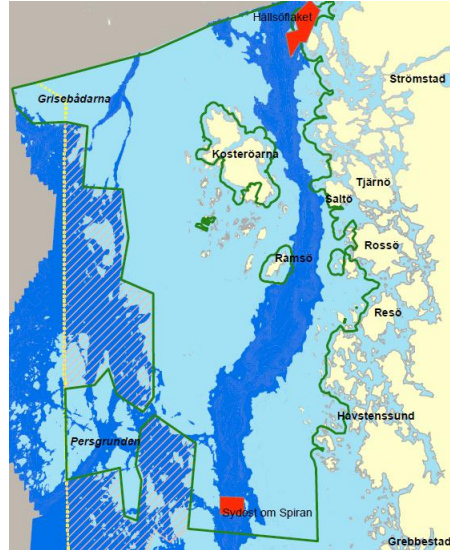
Under 2012 har vi inom projektet genomfört mätningar i närheten av och inom trålskyddsområdet Spiran under två perioder, dels den 26 – 27 augusti, dels den 4 – 19 oktober. Vi mätte från fartyg genom att sänka ner mätinstrument från ytan till nära botten. Detta gav totalt 59 vertikala profiler inne i och runt om trålskyddsområdet. Vi ställde även ut registrerande instrument i trålskyddsområdet under våra två mätperioder. Vi mätte framför allt turbiditet (grumlighet) och ström. Mätningarna var upplagda så att de omfattade både perioder då ingen trålning sker (dvs helger) och perioder då trålning sker.

Vi ser en del tecken på att turbiditeten påverkas av trålningen:

- De dagar då det trålas ser vi fler värden med förhöjd turbiditet i de vertikala profilerna.
- Djupintervallet med värden med förhöjd turbiditet sammanfaller med intervallet med högre bakgrundsturbiditet. Om de förhöjda turbiditetsvärdena är orsakad av trålning pekar detta på att trålningen även påverkar bakgrundsturbiditeten.
- Den kontinuerliga mätningen antyder ett samband med trålningsaktiviteten. När en period av trålning börjar tenderar medelturbiditeten att öka. På motsvarande sätt tenderar medelturbiditeten att minska när trålningen avslutas.

De vertikala profilerna visar att turbiditeten i området runt Spiran präglas av horisontell likformighet, det vill säga att förhållandena inne i trålförbudsområdet liknar förhållandena utanför.

Vi ser tecken på att naturliga processer är av stor betydelse. Det gäller framför allt ett mycket tydligt samband mellan turbiditet och tryck i den kontinuerliga mätningen, och att under perioder av vind i kulingstyrka den 9 och särskilt den 17 oktober ökar turbiditeten kraftigt. Hur detta ska tolkas är oklart. Våra mätningar visar dock att bottenströmmarna generellt är för svaga för att kunna erodera sedimenten i området och skapa någon turbiditet.



Figur 1: Kosterhavet med nationalparken (grön linje) och trålskyddsområdet Spiran (det södra av de röda områdena). Områden med större djup än 60 m är markerat med mörkare blått. Kosterrännan är djupområdet som går genom hela området i nord-sydlig riktning innanför Kosteröarna.

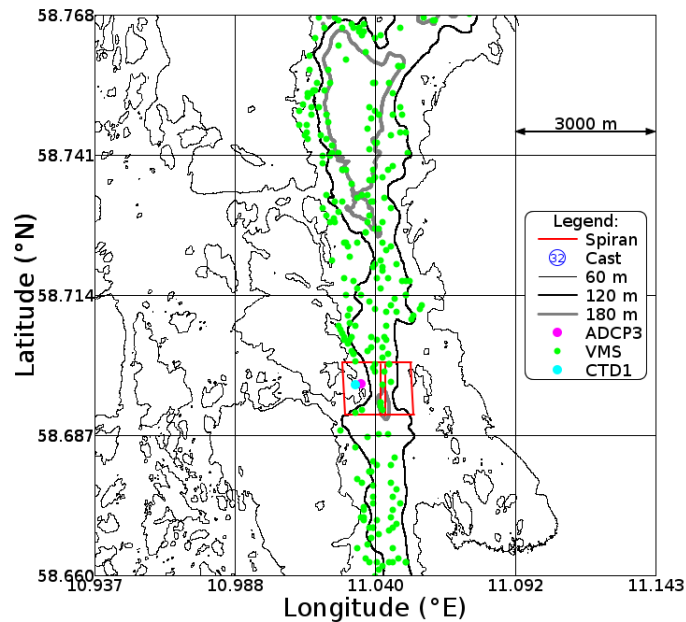
2 Trålningsaktiviteten

Kosterhavet med nationalparken, Kosterrännan och trålskyddsområdet Spiran visas i figur 1.

I Kosterhavet bedrivs fiske (trålning) efter nordhavsräka. Trålning är bara tillåtet på djup större än 60 m. Det finns en överenskommelse om att trålfiske får bedrivas måndag till torsdag.

Söndagen 26 augusti förekom ingen trålning i området. Måndagen 27 augusti var minst en trålare aktiv norr om trålskyddsområdet. Trålaren identifierade sig med AIS (Automatic Identification System).

För mätperiod 2 gjorde vi ett automatiserat system för att spara AIS-data. Systemet ropade upp en server hos Marine Traffic (www.marinetraffic.com) som svarade med data för fartyg i ett definierat område runt Spiran. Typiskt erhöll vi data för var tredje minut. Emellertid, under mätperiodens näst sista dag förstod vi hur vanligt det är att trålare inte identifierar sig med AIS. Besättningen på R/V Nereus gjorde oss uppmärksamma på att avsevärt fler trålare var aktiva än de AIS signaler som visades på instrumenten ombord på R/V Nereus.



Figur 2: Trålningsaktivitet den 1 - 19 oktober. Positionerna för strömmätaren ADCP3 och turbiditetsmätaren CTD1 visas även.

Tabell 1: Trålningsaktivitet i området runt Spirán den 1 - 19 oktober. Aktiviten anges som antalet VMS positioner i kartbilden i figur 2. Uppdelningen i trålperioder används för statistisk analys i avsnitt 4.

	mån	tis	ons	tors	fre	lör	sön
Datum	1	2	3	4	5	6	7
VMS	8	20	1	18	0	0	0
Trålperiod	A	A	A	A	B	B	B
Datum	8	9	10	11	12	13	14
VMS	5	0	21	9	0	0	0
Trålperiod	C	-	C2	C2	D	D	D
Datum	15	16	17	18	19		
VMS	87	42	0	26	0		
Trålperiod	E	E	-	E2	-		

Som en mer tillförlitlig metod har vi för mätperiod 2 begärt utdrag ur VMS-data. Vessel Monitoring System, VMS, är ett obligatoriskt system för fartyg längre än 12 m där position, fart och kurs lagras. Detta har gett data ungefär fyra gånger per timme för respektive fartyg. Vi filtrerade datan med avseende på hastighet, så att hastigheter mellan 1,25 och 2,25 knop betraktas som trålning. Samtlig trålningsaktivitet från VMS under 1 - 19 oktober visas i figur 2. Trålningsaktiviteten är helt koncentrerad till djuprännan och särskilt dess sluttningar. Vi ser en viss tendens att trålning sker högre upp längs den västra slutningen.

Tabell 1 visar trålningsaktiviteten uppbruten på dagar i mätperiod 2. Under mätperioden förekom ingen trålning fredag – söndag. Trålnings samband med resultatet från våra vertikala profilerings diskuterar i avsnitt 3. Trålnings samband med resultatet från vår fasta mätning av turbiditet diskuterar i avsnitt 4.

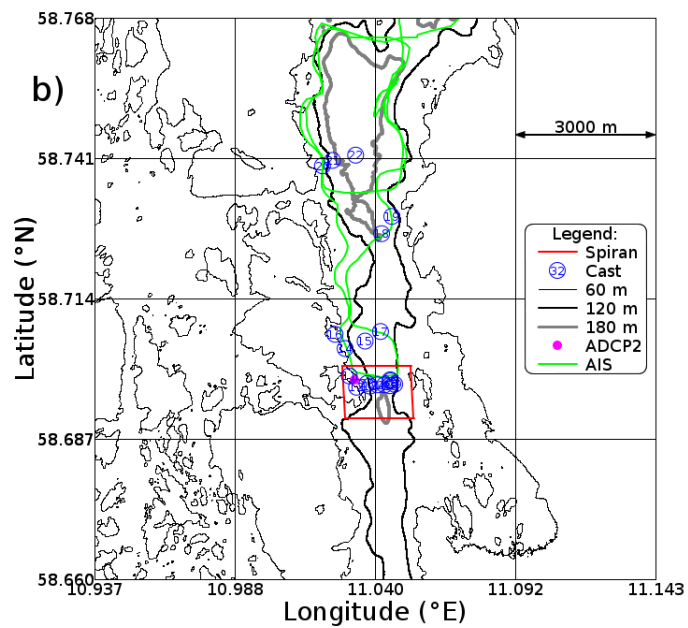
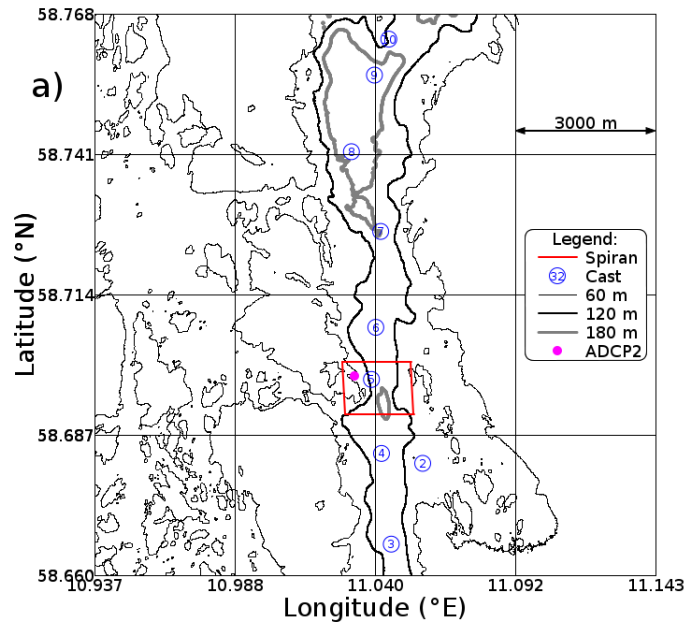
3 Mätning av turbiditet från fartyg

Under sammanlagt fyra dagar mätte vi från forskningsfartyget R/V Nereus. Dessa mätningar gjordes genom att sänka ett mätinstrument från ytan ner till nära botten, ett så kallat kast. Mätinstrumentet var en CTD, Conductivity Temperature Depth, med flera olika extra sensorer på. Dessa mätningar gav oss vertikala profiler av många olika parametrar men vi visar här turbiditet (grumlighet) och densitet. Turbiditeten mäts genom att sända ut vitt ljus och mäta hur mycket av ljuset som relekteras. Turbiditeten anges i enheten NTU, Nephelometric Turbidity Unit, och 1 NTU motsvarar ungefär 1 mg/l (torrvikt) av uppslammat (suspenderat) material [Bradshaw et al., 2012]. Densiteten beräknas från temperatur och salthalt.

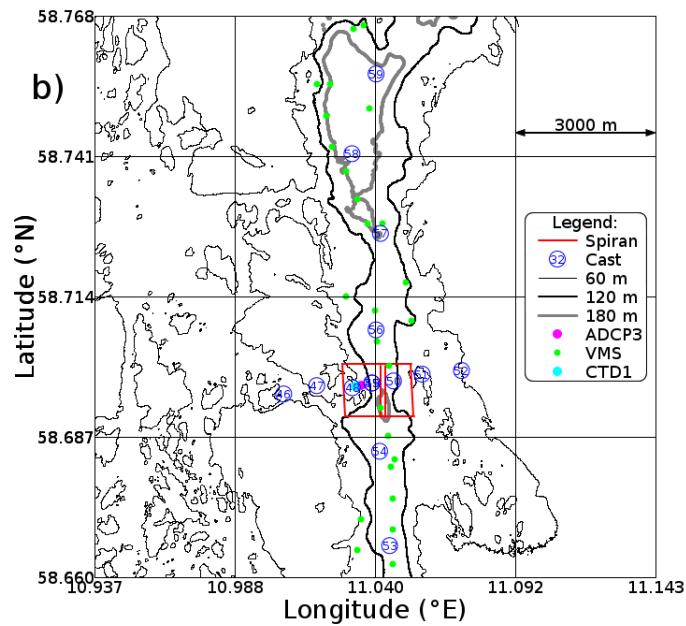
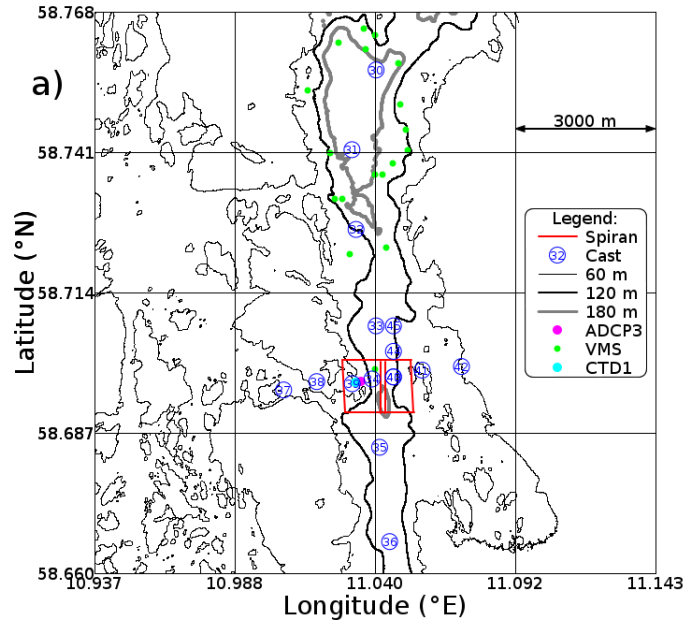
Positionerna för kast under mätperiod 1 visas i figur 3. Positionerna för kast under mätperiod 2 visas i figur 4. Resultaten visas i figurerna 5 och 6.

Bakgrundsturbiditet. Våra observationer av turbiditet de två dagarna under mätperiod 1 visar på en slående horisontell likformighet, se figur 5. Det första kastet, som gjordes cirka 20 km norr om trålskyddsområdet avviker något, se den röda kurvan i figur 5a. För övriga kast avviker turbiditeten bara obetydligt från medelvärdet vid respektive djup. Lägst är medelturbiditeten runt 20 - 30 m (0,02 NTU), och högst runt 80 - 120 m (0,18 NTU). Vi tolkar detta som en bakgrundsturbiditet, som alltså varierar med djupet men inte i horisontellt (om man inte förflyttar sig så långt bort som till kast 1). Under mätperiodens två dagar ändras inte bakgrundsturbiditeten.

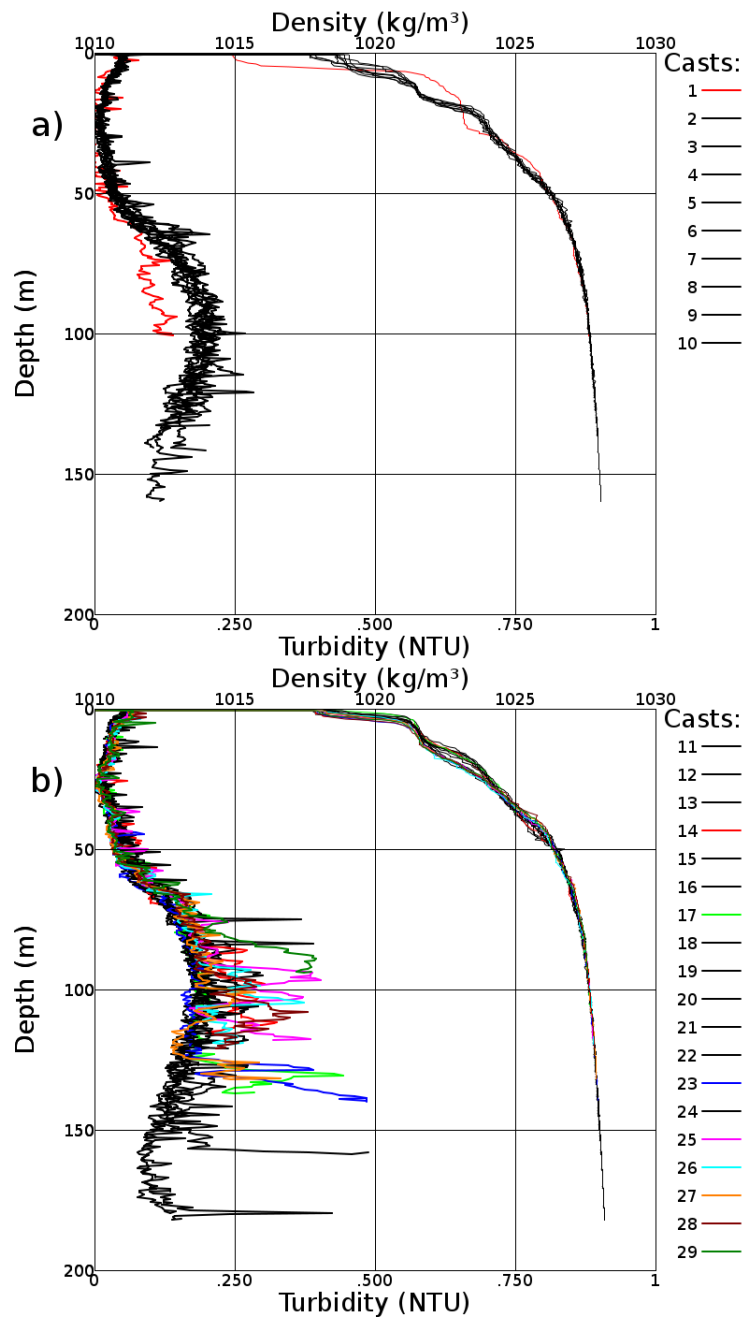
Mätperiod 2 visar generellt högre turbiditet än under mätperiod 1, från 40 m och djupare, se figur 6. Från 50 m och djupare är den horisontella likformigheten inte lika påtaglig som under mätperiod 1. Vi menar att det trots detta går att se en bakgrundsturbiditet, som varierar i nord-sydlig riktning. Kasten innanför och



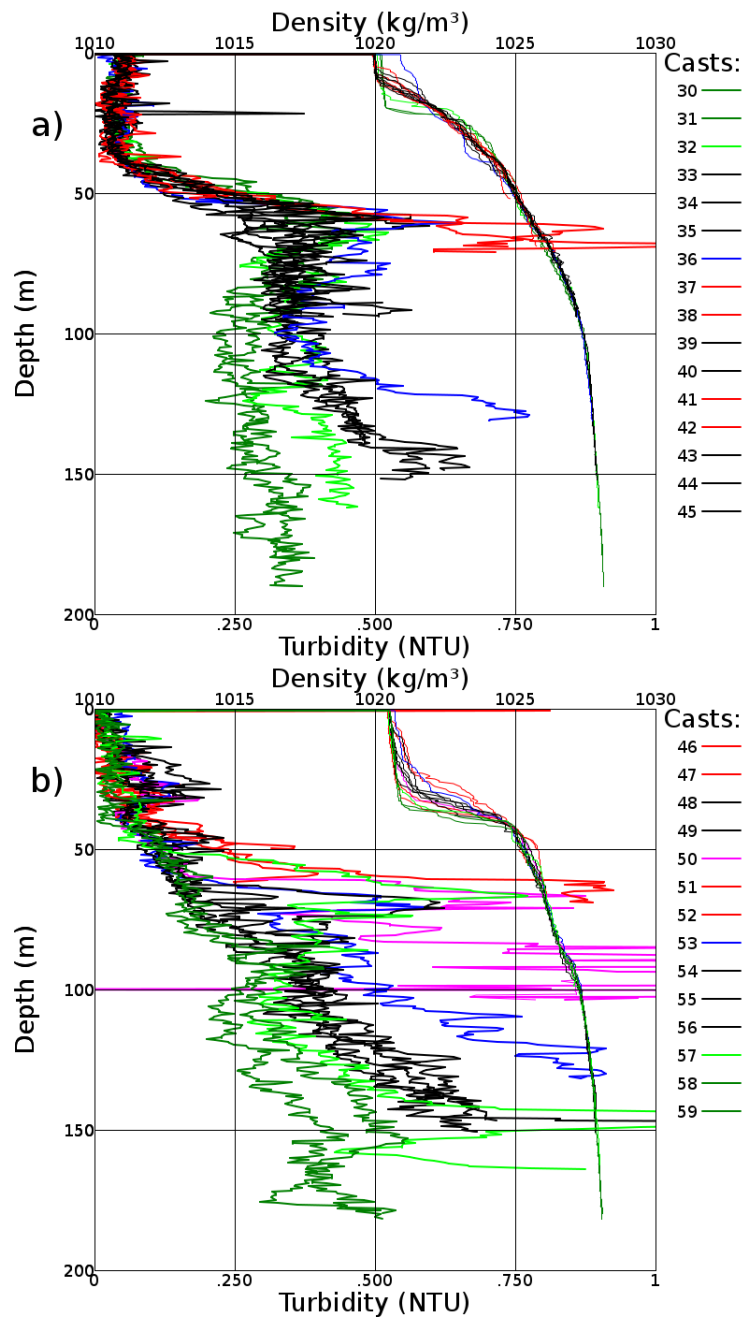
Figur 3: Positioner under mätperiod 1. Ungefärliga positioner för kasten den a) 26 och b) den 27 augusti, tillsammans med AIS-positioner för en trälare. Positionen för strömmätaren ADCP2 visas även.



Figur 4: Positioner under mätperiod 2. Ungefärliga positioner för kast och trålningsaktivitet a) den 4 oktober och b) den 18 oktober. Notera att VMS-positionerna i a) alltså är dagen före profileringarna i figur 6a. Positionerna för strömmätaren ADCP3 och turbiditetsmätaren CTD1 visas även.



Figur 5: Turbiditet (tjockare linjer) och densitet (tunnare linjer) a) den 26 och b) den 27 augusti. Notera att den 26 augusti bedrevs ingen trålning i området, vilket det däremot gjordes den 27 augusti, se figur 3.



Figur 6: Turbiditet (tjockare linjer) och densitet (tunnare linjer) a) den 5 och b) den 18 oktober. Notera att den 5 oktober bedrevs ingen trålning i området, vilket det däremot gjordes den 18 oktober, se figur 4.

alldeles norr och alldeles söder om trålskyddsområdet är markerade med svarta linjer i figur 6. Dessa kast uppvisar mycket stor horisontell likformighet. Från denna likformighet avviker kasten längre norr om trålskyddsområdet (gröna linjer) med mindre turbiditet ju längre norrut kasten gjordes. Kasterna längre söder om trålskyddsområdet (blå linjer) avviker på motsvarande sätt med större turbiditet.

Olika regimer. Låt oss studera hur bakgrundsturbiditeten varierar mellan olika kast under mätperiod 2. Kasterna väster och öster om trålskyddsområdet är markerade med röda linjer i figur 6. De är alltså gjorda i de grundare områdena vid sidan om Kosterrännan. På djup ner till cirka 50 m ansluter dessa kast till bakgrundsturbiditeten i rännan för respektive dag. Av de åtta kasterna vid sidan om Kosterrännan visar några (kast 37, 41 och 51) förhöjda värden i ett cirka 15 m djupt intervall nära botten. Dessa tre är de kast vid sidan om rännan som når djupast, under 65 m. Kast 41 och 51 är gjorda vid samma (ungefärliga) position men med 13 dagars mellanrum. Kast 37 ligger tre km västerut på den andra sidan av rännan. Trots detta så visar de tre kasterna en anmärkningsvärd likformighet.

Ökningen av turbiditeten i kast 37 och 41 från 40 m och neråt följer värdena för bakgrundsturbiditeten för den 5 oktober ner till 60 m. Från 60 m är bakgrundsturbiditeten relativt konstant ner till 120 m, medan kast 37 och 41 visar fortsatt ökande värden ner mot botten, runt 70 m. Kast 51 är som sagt mycket likt, men avviker därför också markant från bakgrundsturbiditeten den 18 oktober redan från 45 m.

Det vi tycker oss se är att i de övre 45 m råder en gemensam regim med låg turbiditet (under 0,1 NTU) för hela mätområdet. Variationerna mellan den 5 och 18 oktober, och även mellan mätperioderna, är här små. Vid sidan om Kosterrännan, råder en regim med stadigt ökande turbiditet från 0,1 NTU vid 45 m till värden runt 0,8 NTU i intervallet under 60 m. Till denna regim ansluter sig bakgrundsturbiditeten i Kosterrännan, men från olika djup för mätperiodens två mät dagar. Den 5 oktober stämmer turbiditeten i rännan väl med områdena vid sidan från ytan ner till 60 m. Den 18 oktober avviker turbiditeten i rännan från områdena vid sidan redan från 45 m. Man kan ana att de olika strömförhållanden den 5 respektive 18 oktober (se avsnitt 5) har betydelse, men hur är oklart.

Högre turbiditet. Den 26 augusti (en dag utan trålning) är det *inga* kast som visar turbiditet avsevärt högre än bakgrundsturbiditeten för mätperioden, se figur 5a.

Den 27 augusti (en dag med trålning) är det några kast som visar turbiditet avsevärt högre än bakgrundsturbiditeten för mätperioden. Det är dels ett antal enstaka mätpunkter men också några kast där turbiditeten över flera djupmeter är förhöjd. De senare är markerade med färgade linjer i figur 5b. Den förhöjda turbiditeten är typiskt runt 0,2 NTU över bakgrundsvärdena och sträcker sig över ett djupintervall av 5 - 20 m. De förhöjda värdena finns dels i ett intervall runt 130 m (tre kast) och dels i ett större intervall runt 80 - 120 m (fem kast). Det se-

nare intervallet sammanfaller med intervallet för maximal bakgrundsturbiditet.

Denna 27 augusti var en räktrålare aktiv norr om trålskyddsområdet, se figur 3b. Som framgår gjorde vi vissa försök att följa trålaren och göra observationer där den passerat. Huvuddelen av kasten är inne i trålskyddsområdet, inklusive sex av kasten med förhöjd turbiditet. Trålaren passerade innanför (!) skyddsområdets norra gräns. Det är inte självklart huruvida den förhöjda turbiditeten är orsakad av den aktiva trålaren eller av någon naturlig process. Den förhöjda turbiditeten runt 130 m stämmer relativt bra med det djupet vid trålningen (AIS). Att flera förhöjda värden observerades i intervallet för maximal bakgrundsturbiditet (80 – 120 m, se figur 5) är intressant. En tolkning är den höga bakgrundsnivån skapas genom spridning av den turbiditet som är över bakgrundsnivån, tex. orsakad av resuspension från trålning.

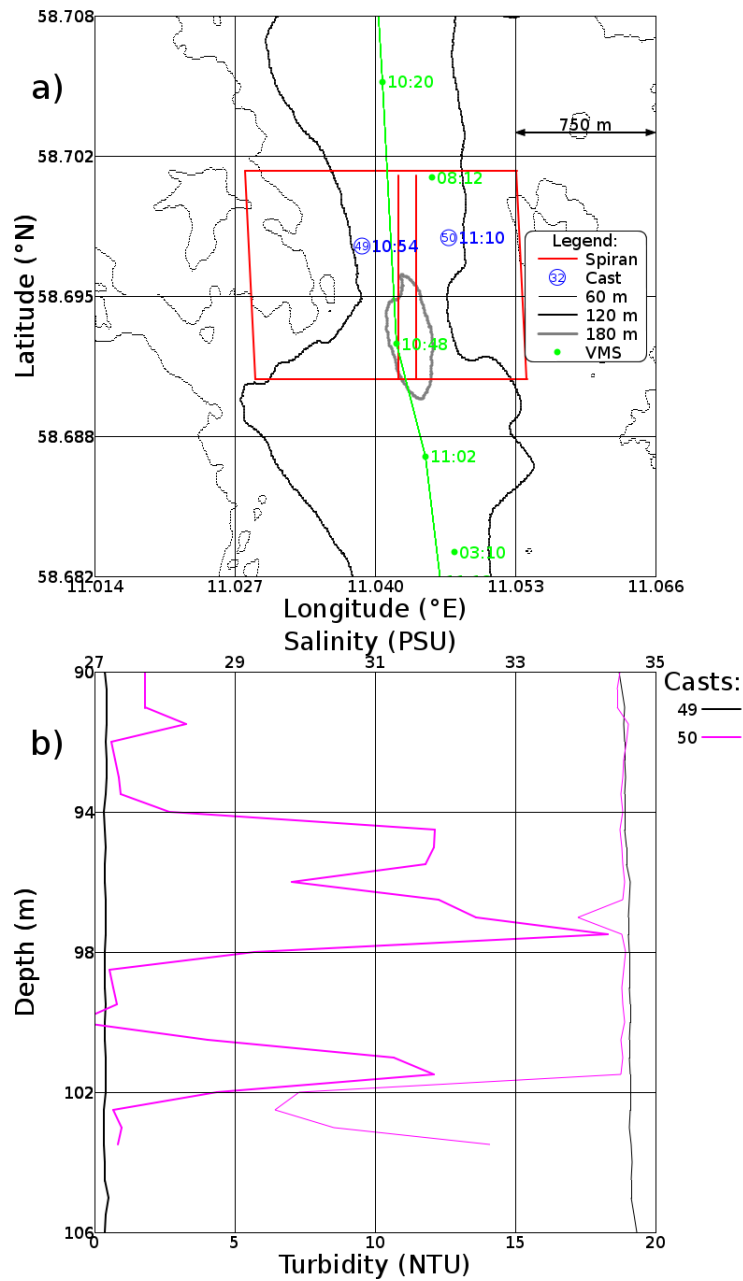
Den 5 oktober (en dag utan trålning) är det egentligen inga kast som visar på någon förhöjd turbiditet, dvs. är avsevärt högre än bakgrundsturbiditeten den dagen, se figur 6a. All variation skulle kunna beskrivas som variation av bakgrundsnivån, med högre nivåer nära botten vid sidan om rännan (röda linjer). Bakgrundsturbiditeten är lägre norr om Spiran (gröna linjer) och högre söder om Spiran (blå linje).

Den 18 oktober (en dag med trålning) är det emellertid fyra kast som visar avvikelse från bakgrundsturbiditeten. Av dessa är det bara kast 50 som är inne i skyddsområdet. Kast 50 visar helt unikt höga turbiditetsvärden runt 100 m, vilket behandlas särskilt, se nedan. Kast 50, 53, 56 och 57 visar höga värden runt 60 - 75 m. Notera att dessa kast är åtskilda cirka 7 km, se figur 4b. Dessa högre turbiditetsvärden faller mellan de höga värdena vid sidan om rännan (kast 51 samma dag, och kast 37 och 41 den 5 oktober) på samma djup och bakgrundsturbiditeten på samma djup den 5 oktober. Kast 57 visar dessutom mycket höga värden (2,0 NTU) runt 145 m.

Precis som för mätperiod 1 är det inte självklart att den förhöjda turbiditeten är orsakad av trålningsaktiviteten eller av någon naturlig process. Man skulle kunna tänka sig att trålningen norr om Spiran den 4 oktober skulle visa en kvardröjande signal. Vi kan dock inte se någon signal i något av kasten 30 - 32, gröna linjer i figur 6a. Den 18 oktober är det flera kast med högre turbiditet än bakgrundsnivån och i en del fall är det rimligt att se en koppling till den registrerade trålningsaktiviteten. Så ligger t.ex. kast 57 nära en trålningsposition tidigare samma dag, se figurerna 6b och 4b. Djupet för den höga turbiditeten stämmer väl med trålningsdjupet.

Sammantaget tolkar vi profilerna som en indikation på effekt från trålningen. Vi ser väsentligt fler värden med hög turbiditet dagarna med trålning (27 augusti och 18 oktober) jämfört med dagarna utan trålning (26 augusti och 5 oktober). Vi observerar den förhöjda turbiditeten både inne i skyddsområdet och utanför.

Kast 50. En detaljerad bild för kast 49 och 50 visas i figur 7. Figuren visar positionerna för dessa kast tillsammans med de registrerade trålningen (VMS)



Figur 7: Kast 49 och 50: a) Trålningsaktivitet och kastens ungefärliga positioner, b) turbiditet (tjockare linjer) och salinitet (tunnare linjer) runt djupet 100 m.

samma dag. Positionerna är ungefärliga och kast 50 (med 106 m maxdjup) ska rimligen korrigeras till öster om 120 m linjen. Det framgår att en trålare passerade genom trålförbudsområdet strax väster om (!) den tillåtna korridoren. Under våra profileringar (kast 48) såg vi trålaren och kunde konstatera att den hade redskap ute. Det finns en VMS-position strax innanför förbudsområdets norra gräns, men vid den registreringen håller fartyget en hastighet av 3,0 knop, vilket alltså är högre än vår definition av trålningshastighet. Passagen skedde cirka 150 m öster om, och cirka 15 minuter före, kast 49. Passagen skedde cirka 350 m väster om, och cirka 30 minuter före, kast 50. Dessutom finns en VMS-position (i trålningsfart) tre timmar tidigare, cirka 350 m norr om kast 50, strax innanför skyddsområdets norra gräns.

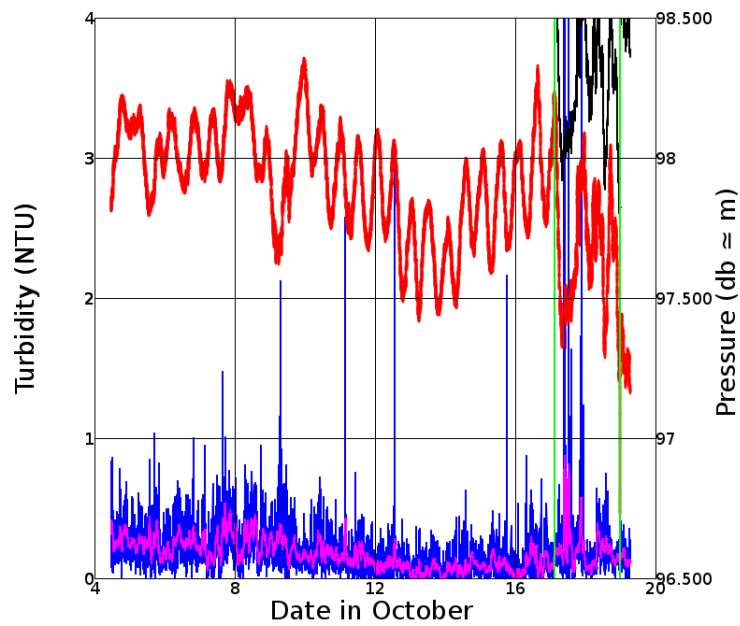
Turbiditetsvärdena för kast 50 når runt 100 m mycket högre nivåer (18 NTU) än vad vi uppmätte vid något annat kast, se den tjocka rosa linjen i 7b. I samma intervall visar mätningarna mycket kraftiga variationer av salthalten, se den tunna rosa linjen i 7b. Salthalterna vid 97 m och 102 - 103 m avviker fullständigt från våra övriga kast och från vad som kan betraktas som realistiska värden på detta djup. En möjlig tolkning är att den höga turbiditeten hänger samman med partiklar av en typ och storlek som stör salthaltsmätaren. Kast 49 visar ingen som helst signal, vare sig i turbiditet eller i salthalt.

Man kan tänka sig att den passerande trålaren orsakar den mycket höga turbiditeten i kast 50. Turbiditetsvärdena motsvarar vad som har mätts upp bakom en trål i Eidangerfjorden [Bradshaw et al., 2012]. Skillnaden i vertikalled mellan bottendjupet och den höga turbiditeten talar emot att det skulle vara fråga om lokalt uppvirvlade sediment. Trålen tycks gå mitt i rännan där djupet är runt 140 m eller mer, medan de höga turbiditetsvärdena börjar redan från 95 m. Det skulle innebära ett en sedimentplymen från trålen skulle ha en höjd på minst 45 m, medan undersökningen i Eidangerfjorden visade plymer med en höjd på 15 - 18 m. Man kan emellertid tänka sig att trålen har höjts över botten under passagen genom trålförbudsområdet. Den relativt höga farten talar för det.

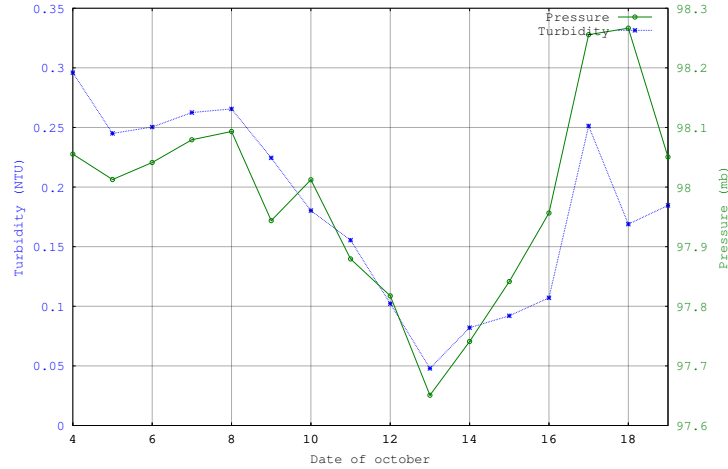
Det horisontella avståndet mellan trålen och kast 50 talar dock emot att det är den passerande trålaren som orsakar turbiditeten. Vid undersökningen i Eidangerfjorden hade plymerna efter trålning en horisontell utbredning på 60 - 80 m från centrumlinjen. Det vore med andra ord nödvändigt med avsevärd östgående ström under de 30 minuterna från att trålaren passerar till att kast 50 genomförs. Ett räkneexempel: medelström på 10 cm/s under en halvtimme (1800 s) ger en sträcka på 180 m. Den östgående strömmen vid ADCP3 visar inte några sådana episoder i de djupare nivåerna.

4 Fast mätning av turbiditet

Den 4 oktober placerade vi ut två turbiditetsmätare på botten inne i trålskyddsområdet, inom ett par hundra meter från varandra. Instrumenten var av samma



Figur 8: Turbiditet (blått och rosa) och tryck (rött och svart) från CTD1 under mätperiod 2. Den blå linjen visar alla värden och den rosa linjen visar medel över en timme. De gröna linjerna indikerar episoder med hastiga tryckökningar. Den röda linjen visar tryck som justerats för dessa ökningar. Den svarta linjen visar ojusterat tryck. Positionen framgår i figur 4.



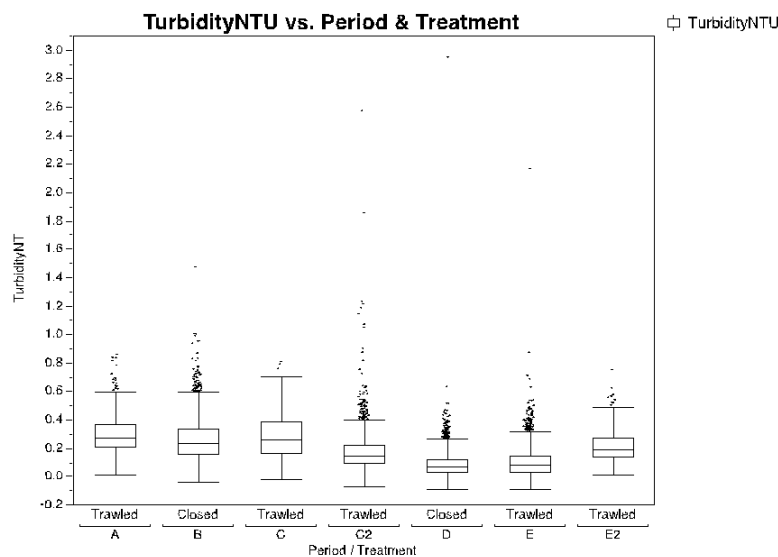
Figur 9: Dygnsmedel för turbiditet och tryck från CTD1 under mätperiod 2. Trycket har korrigerats för episoden den 19 oktober men inte för episoden den 17 oktober, se beskrivning i texten. Positionen framgår i figur 4.

typ (CTD med turbiditetssensor) som vid de vertikala profileringarna och mätte även tryck, samt flera andra parametrar. Båda instrumenten skulle tagits upp den 19 oktober. Emellertid fann vi då bara ytmarkeringen till den ena (CTD1). Ungefärliga position för denna visas i figur 4. Djupet vid turbiditetsmätaren var cirka 98 m. Under mätperiod 2 förlorade vi dessutom en strömmätare, se avsnitt 5.

Observationerna av turbiditet och tryck visas i figur 8. Observationerna är ungefär 1 m över botten. Turbiditeten är generellt låg ($< 0,5$ NTU), vilket är en smula anmärkningsvärt eftersom våra vertikala profileringar ganska ofta visar högre värden flera meter från botten. Mätningarna visar ett fåtal episoder med högre turbiditetsvärden (> 2 NTU). Det är den 9 oktober (50 minuter, max 2,1 NTU), den 11 oktober (12 minuter, max 2,6 NTU) och den 17 oktober (tre episoder, sammanlagt 146 minuter, max 7,4 NTU). Dessutom uppmättes två enstaka höga värden den 12 respektive 15 oktober.

Den generellt låga turbiditeten varierar på flera tidsskalor. I figur 8 visar den rosa linjen effekten av att medelvärdesbilda turbiditeten över 1 timme. Det ger stabilare värden, mestadels under 0,25 NTU, men fortfarande med betydande variationer på flera tidsskalor. En långsam variation visar sig som generellt mycket låga värden under 11 - 16 oktober.

Trycket speglar framför allt vattenståndet. Det halvdagliga tidvattnet syns tydligt i figur 8. Observera att vindgenererade vågor är alldeles för korta för att påverka trycket på detta djup. Under slutet av den 8 oktober börjar ett markerat tryckfall, som kulminerar den 9 oktober. Tryckfallet är av storleksordningen 0,5



Figur 10: Box-plot (lådagram) på turbiditet under perioder med trålning (Trawled) och uppehåll i trålningen (Closed) 4-18 oktober 2012. Boxarna visar medianvärde (streck mitt i box), kvartil (övre och undre avgränsning av respektive box), maxvärden och extremvärden som punkter (s.k. outliers). Datum för perioderna framgår i tabell 1.

mb, vilket motsvarar en djupökning på ungefär 0,5 m. Detta sammanfaller med en kort episod av högre turbiditet och med en episod av ovanligt kraftig östlig ström under 70 m, se avsnitt 5.

Vid två tillfällen, nätterna till den 17 och den 19 oktober, inträffar hastiga tryckökningar, som vi inte har någon säker förklaring till. Vid båda tillfällena ökar trycket med knappt 0,5 mb. Vid episoden natten till den 17 oktober sker ökningen mellan två mättillfällen, alltså under mindre än en minut. Vid episoden natten till den 19 oktober sker ökningen under 10 minuter. Figur 8 visar trycket med och utan korrektion för dessa episoder. En tolkning skulle kunna vara att vid den första episoden har instrumentets förflyttats mot större djup, medan instrumentet vid den andra episoden har vält. Ingen av dessa hastiga tryckförändringar sammanfaller dock med någon omedelbart förhöjd turbiditet.

Figur 9 visar dygnsmedel av tryck och turbiditet. Dessa parametrar har uppenbarligen ett samband, åtminstone under perioden 4 - 15 oktober. Under den perioden är korrelation mycket hög ($R = 0,95$) med mycket hög signifikans ($p < 3 \cdot 10^{-6}$). Vi har ingen förklaring till detta samband, men det pekar i

riktning mot att medelturbiditeten kan styras av naturliga processer.

För att utvärdera hur trålningen skulle kunna påverka turbiditeten inne i skyddsområdet Spiran delades mätserien upp i delperioder där det antingen bedrevs trålning inom Kosterfjordsområdet baserat på VMS positioner och loggböckernas sättpositioner, eller perioder där trålning inte bedrevs. Datum för perioderna framgår i tabell 1. Perioder 12 timmar efter att trålning avslutas togs bort för att undvika att eventuella kvarhängande effekter på turbiditet till följd trålningen skulle påverka kommande efterföljande period utan trålning.

Mönstret av fiskeaktivitet speglar den överenskommelse som styr fisket i Kosterfjorden om att trålfiske får bedrivas måndag till torsdag (se tabell 1). Tisdag 9 och onsdag 17 bedrevs dock ingen trålning i Kosterfjorden troligen p.g.a. kuling. Dessa dagar togs också bort i jämförelsen och infaller mellan period C-C2 och E-E2. Noteras kan att mätvärden i samband med kulingar tycks innehålla höga värden på turbiditeten (se figur 8), särskilt den 17 oktober med sydlig kuling och månadens högsta noterade signifikanta våghöjd vid Väderöarna (3,7 m).

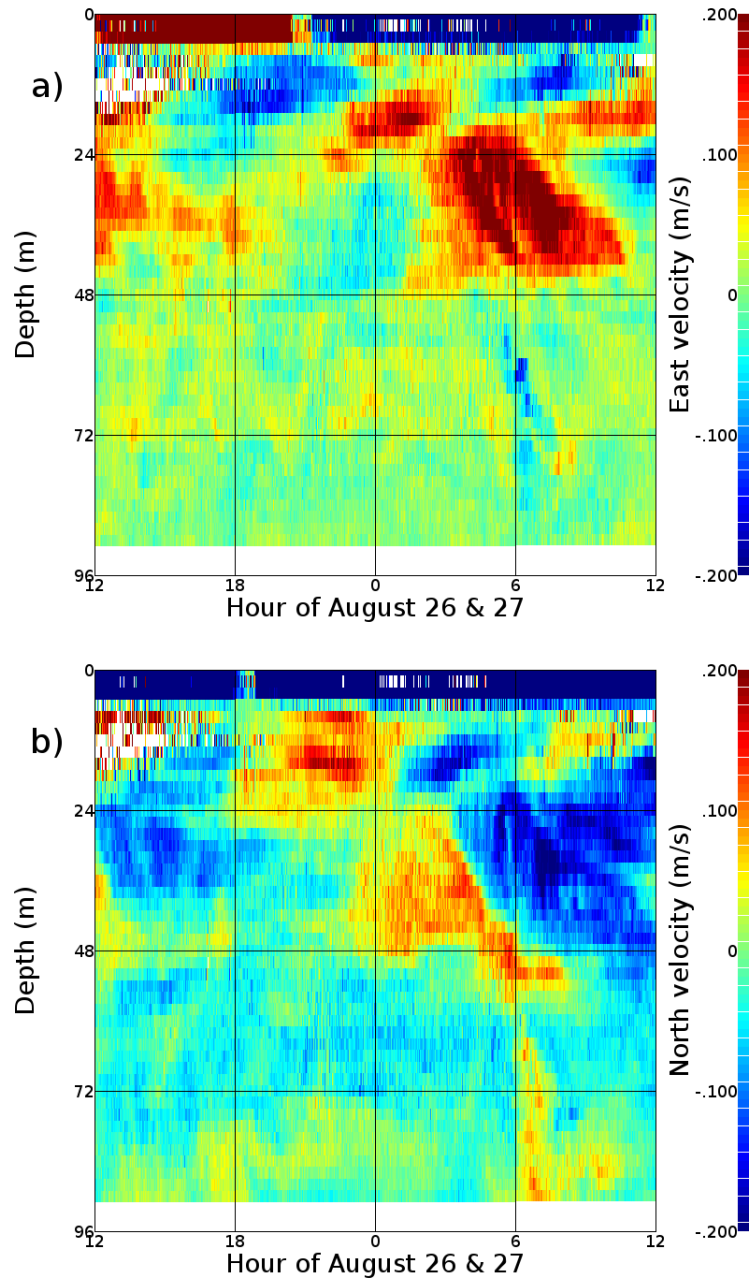
Figur 10 visar en s.k. boxplot med median, kvartiler, min och maxvärden och så kallade outliers (dvs. extremvärden) för trålperioder (trawled) och perioder då det inte fiskas (closed). Mätningarna antyder att när trålning påbörjas stiger turbiditeten jämfört med perioden innan och på motsvarande sätt minskar den när trålningen avslutas. Variationen är dock stor och effekter av andra förändringar i miljön är stora och kopplar till tryck (se resonemang ovan) samt vädersituationerna med stark vind.

5 Fasta mätningar av ström

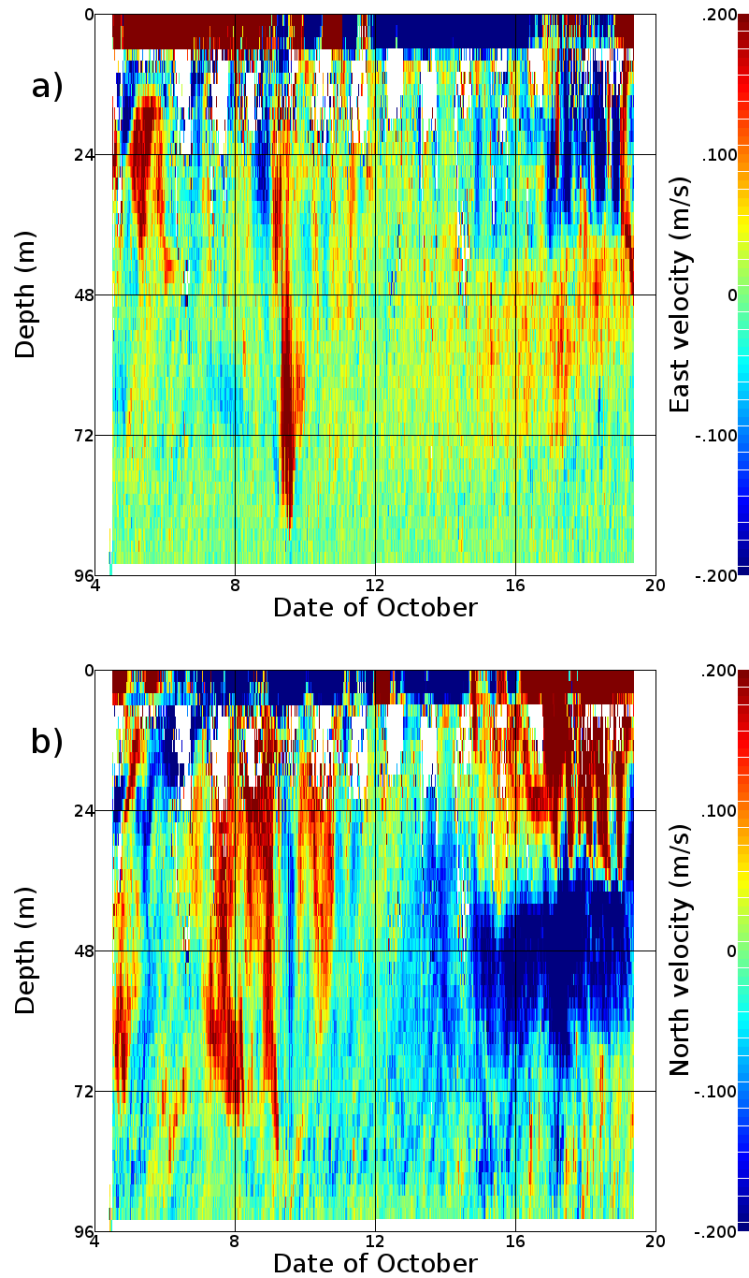
Under båda mätperioderna placerade vi ut strömmätare av typen ADCP, Acoustic Doppler Current Profiler. Mätarna fungerar genom att sända ut ljudvågor. Strömhastigheten beräknas från hur frekvensen av de reflekterade ljudet har ändrats. Avståndet beräknas från tiden det tar för ljudet att komma tillbaka. Om mätaren riktas vertikalt så ger den alltså strömhastigheter på många olika djup – en profil.

Strömmen är intressant, dels för att den kan transportera suspenderat material och dels för att den skulle kunna bidra till riva upp sediment. Vi visar hastigheter i öst-västlig och nord-sydlig riktning, vilket ungefär motsvarar Kosterrännans tvärs- respektive längsriktning.

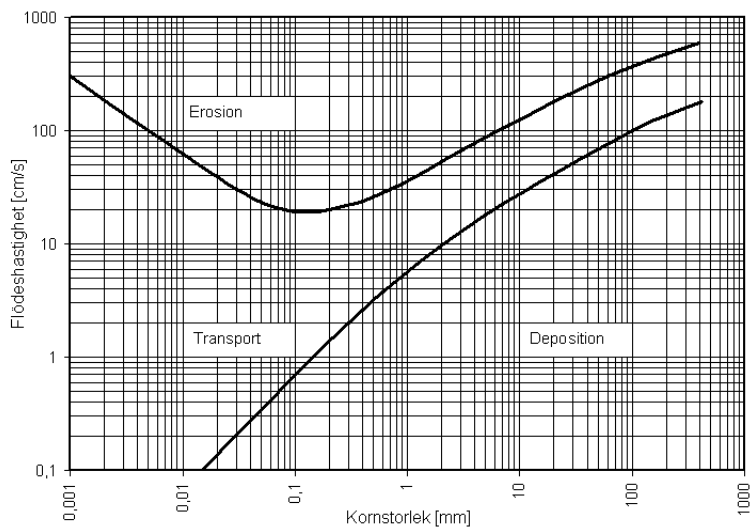
Den 26 augusti placerade vi ut två strömmätare, båda inne i trålskyddsområdet. En mätare placerades cirka 45 m från ytan. Detta instrument placerades med flytelement cirka 45 m från botten och riktad neråt. Syftet var att få bra observationer nära botten. Datan var dock mycket brusig, speciellt nära botten. En mätare (ADCP2) placerades på botten, riktad uppåt. Djupet var cirka 93 m och ungefärlig position visas i figur 3. Datan från detta instrument höll förväntad kvalitet. Båda instrumenten togs upp den 27 augusti.



Figur 11: Ström vid olika djup ovanför ADCP2 under mätperiod 1. a) Östgående ström, ungefär tvärs Kosterrännan. Rött betyder alltså att strömmen går åt öster och blått att strömmen går åt väster. b) Nordgående ström, ungefär längs Kosterrännan. Rött betyder alltså att strömmen går åt norr och blått betyder att strömmen går åt söder. Mätarens position framgår i figur 3.



Figur 12: Ström vid olika djup ovanför ADCP3 under mätperiod 2. a) Östgående ström, ungefär tvärs Kosterrännan. Rött betyder alltså att strömmen går åt öster och blått att strömmen går åt väster. b) Nordgående ström, ungefär längs Kosterrännan. Rött betyder alltså att strömmen går åt norr och blått betyder att strömmen går åt söder. Mätarens position framgår i figur 4.



Figur 13: Hjulströms kurva. Den övre kurvan visar strömhastighet som krävs för att erodera partiklar. Den undre kurvan visar strömhastighet som krävs för att hålla partiklar i suspension.

Observationerna av ström under mätperiod 1 visas i figur 11. I de översta metrarna är ström stark, flera dm/s. Därunder och ner till 50 m varierar strömmen både i styrka (5 - 20 cm/s) och riktning. Variationerna domineras här av en tidskala på flera timmar. Från 50 m ner till 75 m är strömmen svagare (<5 cm/s) med en dominerande riktning åt sydöst. Riktningen stämmer relativt väl med hur djuplinjerna löper i området runt instrumentet, se figur 3. Här är variationer på tidsskalor under timmen betydande. Under 75 m är strömmen generellt ännu svagare utan någon tydlig tendens i riktning. En kort händelse runt klockan 07 den 27 ger hastigheter uppemot 10 cm/s från 60 m och ner till botten. Riktningen är då nordvästlig i nivån ovan 75 m (alltså motsatt den dominerande riktningen) och nordlig under 75 m. Att händelsen under 75 m är i nordlig riktning stämmer även det relativt väl med att de djupare delarna av rännan är mer orienterade i nord-sydlig riktning.

Den 4 oktober placerade vi ut två strömmätare på botten inne i trålskyddsområdet, inom ett par hundra meter från varandra och från de två turbiditetsmätarna, se avsnitt 4. Båda strömmätarna skulle tagits upp den 19 oktober. Emellertid fann vi då bara ytmarkeringen till den ena (ADCP3). Ungefärliga position för denna visas i figur 4. Djupet vid strömmätaren var cirka 96 m. Under mätperiod 2 förlorade vi alltså både en turbiditetsmätare (se avsnitt 4) och en strömmätare.

Observationerna av ström under mätperiod 2 visas i figur 12. Förhållandena skiljer sig delvis från (den väsentligt kortare) mätperiod 1, framför allt genom flera, ibland långvariga, episoder med relativt stark ström (> 1 dm/s) i lagret 50 - 75 m. Det gäller i början av mätperioden då strömmen i lagret alternerar mellan sydöstlig och nordvästlig, och även i slutet av perioden då lagret domineras av en ihållande sydvästlig ström. Dessa riktningar följer mönstret från mätperiod 1. En episod den 9 oktober med stark ström i rakt östlig riktning bryter mönstret.

Våra mätningar av ström ger en indikation på hur suspenderat material kan förflyttas. Vi kan dock inte se någon tydlig koppling mellan turbiditet och ström, vare sig till riktning eller styrka. Möjligen kan man se ett mönster i att episoderna med högre turbiditet den 9 och den 17 oktober, se figur 8, sammanfaller med relativt stark östlig ström under nivån 70 m, se figur 12. Som diskuteras i avsnitt 4 är detta tillfällen med vind i kulingstyrka. Den 9 oktober sammanfaller högre turbiditet, östlig ström och kuling dessutom med ett markerat tryckfall, se figur 8.

Det är inte överraskande att vi inte ser någon koppling mellan de svaga strömmarna och turbiditeten. Figur 13 visar den så kallade Hjulströms kurva, vilken visar förhållandet mellan partikeldiameter och den strömhastighet som krävs för att erodera sediment, respektive behålla sediment i suspension. Inga sediment kan eroderas vid strömhastigheter under 20 cm/s. På djup större än 50 m uppmätte vi så hög hastighet bara vid mycket få tillfällen. Partiklar större än 0,1 mm kräver större hastighet än 20 cm/s för att eroderas, men det samma gäller alltså även för partiklar mindre än 0,1 mm.

En liten partikels sjunkhastighet, w , kan beräknas med Stokes lag,

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

där d och ρ_s är partikelns diameter respektive densitet, ρ_0 och μ är vattnets densitet respektive dynamiska viskositet och g är accelerationen från gravitationen. (Vi antar att $\rho_s = 2600 \text{ kg m}^{-3}$, $\rho_0 = 1027 \text{ kg m}^{-3}$, $\mu = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ och $g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$.) De partiklar som eroderas vid 20 cm/s är enligt Hjulströmskurva av storleken 0,1 mm och har enligt ekvation (1) en sjunkhastighet på 6 mm/s eller 22 m per timme. Dessa partiklar sjunker alltså relativt snabbt och kommer att sedimentera, *om strömhastigheten sjunker under suspensionshastigheten* 1 cm/s, se den undre kurvan i figur 13. Notera att förhållandet mellan partikelstorlek och sjunkhastighet är kvadratisk, så att en 10 gånger mindre partikel sjunker 100 gånger långsammare.

Bradshaw et al. [2012] rapporterar att det suspenderade materialet efter trålningen i Eidangerfjorden dominerades av partiklar mindre än 0,02 mm. Dessa partiklar kräver strömhastigheter över 40 cm/s för att eroderas, men sjunker långsamt (mindre än 1 m per dygn) och en strömhastighet på 2 mm/s är tillräcklig för att hålla dem i suspension.

Vad vi ser är alltså att det är sällsynt med strömhastigheter som förmår erodera sedimenterat material. Låt oss ändå anta en kraftig ström eller någon annan mekanism (t.ex. trålning) orsakar erosion. Då kommer de större partiklarna att relativt snabbt åter sedimentera, medan de mindre partiklarna sjunker mycket långsamt och det krävs mycket små strömhastigheter för att de ska förbli i suspension.

6 Förlorade instrument och ytterligare undersökningar

Under mätperiod 2 förlorade vi en CTD, se avsnitt 4, och en ADCP, se avsnitt 5. De förlorade instrumenten har ett sammanlagt värde av cirka 350 kkr. Vad som hänt med de två saknade instrumenten är oklart. Vid våra mätningar den 18 oktober såg vi ytmarkeringarna till tre av instrumenten. Det visar att ett instrument förlorades redan innan dess och att ett instrument förlorades natten till 19 oktober. Den CTD som vi lyckades bärga hem visade tecken på att ha blivit påverkad. Linan upp till ytmarkeringen var kraftigt skavd, vid ett djup runt 30 m från botten. Stålställningen runt instrumentet hade blivit något skev.

Dessa yttre tecken, tillsammans de hastiga tryckökningar som diskuteras i avsnitt 4, skulle kunna tyda på att detta instrument blivit påverkat av ett fartyg eller redskap från ett fartyg. Liknande incidenter skulle kunna ha lett till att två instrument gick förlorade. Det finns dock inga VMS registreringar i närheten av instrumenten vid tillfällena för de hastiga tryckökningarna. Det samma gäller för period då vi är övertygade om att ett instrument försvann, alltså från det

att vi lämnar området på eftermiddagen den 18 oktober tills vi återkommer på morgonen den 19 oktober.

Även om vi kommit en bit på vägen att reda ut sambandet mellan trålning och grumlighet i området runt trålförbudsområdet Spiran, så kvarstår många oklarheter. Det vore därför önskvärt att gå vidare med fler undersökningar och analyser.

- Hur ser plymen av uppvirvlat sediment ut efter en trål i Kosterhavet? Hur utvecklar den sig över tiden? Detta påverkas förmodligen starkt av förhållandena i Kosterhavet, med stark skiktning, påtaglig ström och trålning längs sluttningar.
- Vad är sammansättningen på det material som orsakar turbiditet i Kosterhavet? Detta gäller både plymen efter en trål och bakgrundsturbiditeten. Frågan gäller både storleken på partiklar och typ av material (organiskt/oorganiskt).
- Kan mer data och en utförligare statistisk analys ge tydligare besked om sambandet mellan trålningsaktivitet och turbiditet? Är det ett samand till bakgrundsnivåer, medelturbiditet eller till extremvärden?
- Vi har i denna rapport funnit att lokala strömmar knappast kan generera en betydande del av den observerade turbiditeten. Samtidigt har vi funnit att det är svårt att förklara all variation i turbiditeten med variation i trålningsaktiviteten. Vilka naturliga processer som kan vara av betydelse? Är turbiditeten importerad från andra områden? Skapas turbiditet genom ras eller så kallade turbiditetsströmmar längs Kosterrännans sluttningar?

Referenser

C. Bradshaw, I. Tjensvoll, M. Sköld, I.J. Allan, J. Molvaer, J. Magnusson, K. Naes, and H.C. Nilsson. Bottom trawling resuspends sediment and releases bioavailable contaminants in a polluted fjord. *Environmental Pollution*, 170 (0):232–241, 2012. ISSN 0269-7491. doi: 10.1016/j.envpol.2012.06.019. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749112003284>.