

# Lynetteholm Turbidity Management Hindcast Rapport

Hindcast periode: 2022-03-07 – 2022-03-31

Til:	Lynetteholm Turbidity Management Group
Att.:	By & Havn og MST
Cc:	Noelle Kehli (By & Havn), Finn Jensen (By & Havn), Anders Vedel (MST)
Fra:	DHI (BBC, SIS)
DHI ref.:	11823523-017
BDC ref.:	83087
Projekt	Lynetteholm
Dato:	2022-05-10
Emne:	Turbidity Management Hindcast
Revision:	0

## 1 Resumé

Der er udført hindcast modellering med henblik på at dokumentere spredningen af de udførte klapninger. Denne hindcast rapport dækker perioden 7. marts 2022 til 31. marts 2022 og omfatter dermed klappning af materialer fra både Lynetteholm perimeter og uddybningen af sejlrenden ved Svælget syd for Middelgrunden. Modelberegningerne er udført som en forlængelse af det tidligere hindcast, således at aflejringen af det tidligere klappede materiale, dvs. i perioden 3. januar 2022 til 7. marts 2022 også er indeholdt.

Mængder og tørstofmasse i modelleringen er opgjort på baggrund af de modtagne klapplogge fra de enkelte splitpramme. Klappvolumenerne kan registreres med rimelig nøjagtighed, mens der er større usikkerhed på lasternes masse. Tørstoffmassen og vandindholdet beregnes ud fra en antagelse om at sedimentet har en specifik densitet på 2.650 kg/m<sup>3</sup> og vandet i lasten en densitet på 1.020 kg/m<sup>3</sup>. De Tabel 1 og Tabel 2 angivne tørstoffmasser er opgjort på baggrund af de modtagne klapplogge.

Tabel 1 Klappmængder i hindcast periode (7. marts – 31. marts 2022).

Ophavsområde	Klappvolumen [m <sup>3</sup> ]	Tørstoffmasse [tons]
Svælget	98.765	130.864
Lynetteholm perimeter	17.057	10.371
Samlet	115.822	141.234

Tabel 2 Samlede klappmængder frem til d. 31. marts 2022.

Ophavsområde	Klappvolumen [m <sup>3</sup> ]	Tørstoffmasse [tons]
Svælget	206.687	272.016
Lynetteholm perimeter	67.998	78.366
Samlet	274.685	350.381

Af Tabel 1 ses, at det overvejende er materiale fra Svælget, som er blevet klappet i den her rapporterede hindcast periode. Det opgravede materiale fra Svælget indeholder hovedsagelig sten, klakflager og sand. Finkornet sediment som potentielt kan spredes væk fra klapppladsen, udgør som det fremgår af Tabel 3 kun en meget beskedent del af klappmaterialet. Materialesammensætningen af det opgravede materiale ved Lynetteholm perimeteren varierer fra område til område. Ved at kombinere AIS-informationen fra gravefartøjet Mjølner, gravedybder for det ikke-forurenede materiale og kornkurveinformation fra de geotekniske borer, er der estimeret en materialesammensætning for de enkelte klappplaster. Denne information er afspejlet i Tabel 3, hvor materialesammensætningen af det opgravede materiale fra Lynetteholm er angivet som en række intervaller, fremfor de faste værdier, som der benyttes i forecast sammenhæng.

Tabel 3 Materialesammensætning af klapmateriale.

Ophavsområde	ler partikler	fin silt	medium silt	sand eller grovere partikler
Svælget	0,6%	1,5%	2,1%	95,8%
Lynetteholm	0,0 – 4,0 %	0,0 – 2,0 %	4,0 – 28 %	66 – 95 %

Det organiske materiale er indeholdt i de ovenfor angivne fraktioner. På baggrund af 76 prøver fra borekerner af klapmaterialet, er der fundet et glødetab på 4,53 % af tørstof og TOC på 1,65% af tørstof.

## 2 Oversigt af klapmængder

Gravearbejdet i hindcast perioden blev udført med:

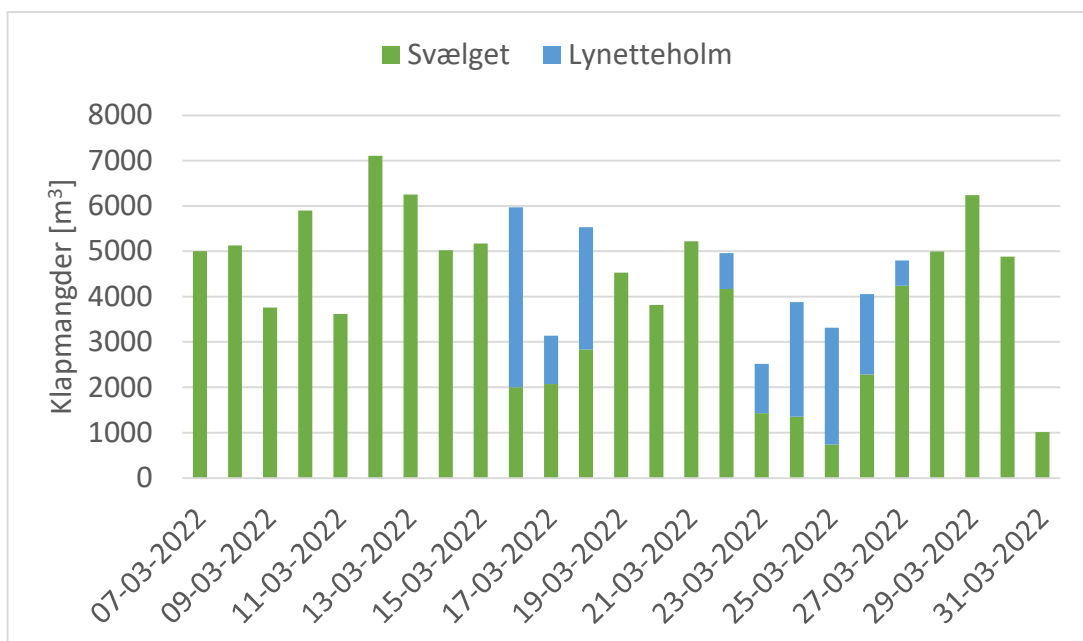
- Ajax R (Spandkædemaskine)/ Mjølner R (Backhoe) med 24 timer drift
- Nicolaj Saj (Hydraulisk gravemaskine) med 14 timers drift

Klapning:

- Bjarke R split pram med 1239 m<sup>3</sup> lastkapacitet
- Roar R split pram med 950 m<sup>3</sup> lastkapacitet
- Munin R med 778 m<sup>3</sup> lastkapacitet
- Helge R med 950 m<sup>3</sup> lastkapacitet
- Rimfaxe som trækker en pram

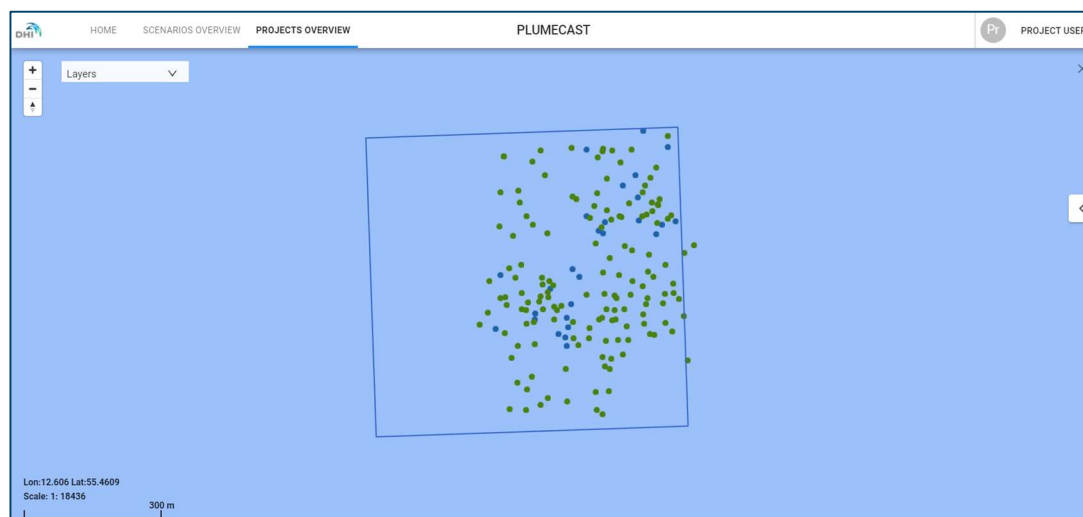
Generelt lastes prammene med en mindre last end den ovenfor opgivne kapacitet.

I Figur 1 er de samlede daglige klapmængder fra både Svælget og Lynetteholm perimeter vist. Det ses, at der i perioden overvejende er blevet klappet materiale fra Svælget.



Figur 1 Oversigt over daglige klappmængder i hindcast perioden. Grøn: Svælget, Blå: Lynetteholm.

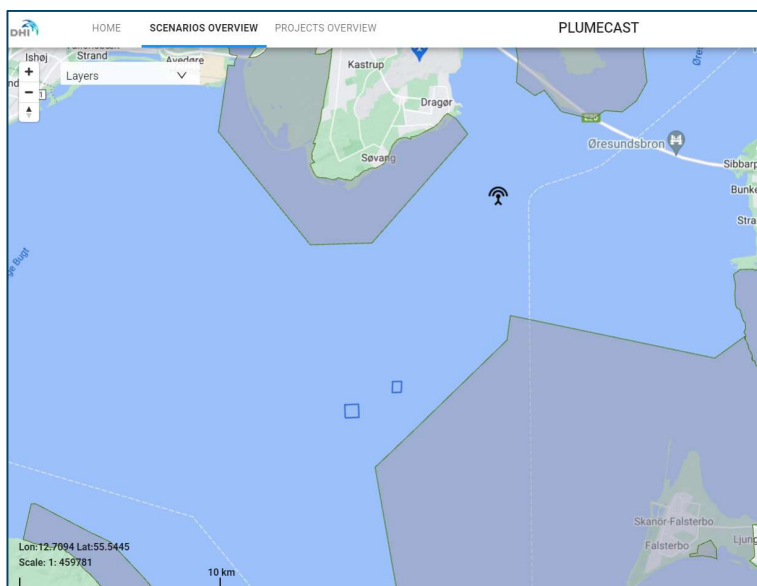
Figur 2 viser de aktuelle klappingspositioner i hindcast perioden. Grønne markører er for klapping af materiale fra Svælget og de blå markører er for klapping af materiale fra Lynetteholm.



Figur 2 Aktuelle klappingspositioner i hindcast periode. Grøn: Svælget, Blå: Lynetteholm.

## 2.1 HD-model evaluering

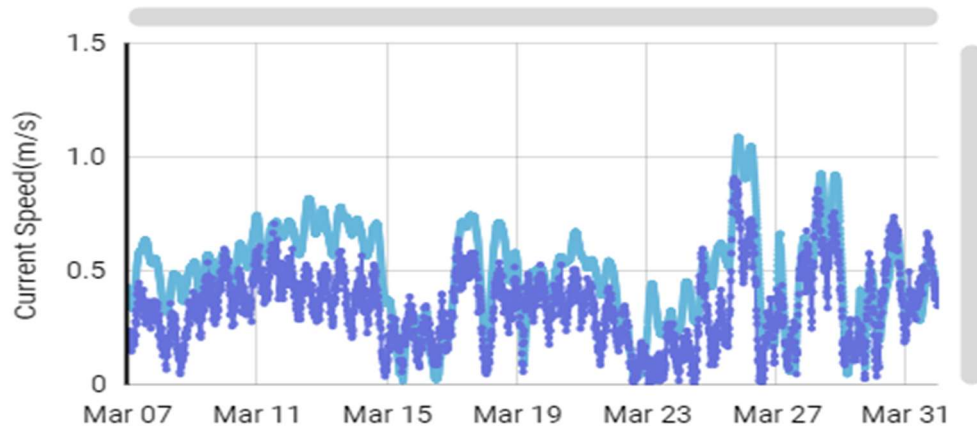
En forudsætning for at sedimentspredningen kan beskrives kvalitativt korrekt, er at strømforholdene ved klappområdet er godt beskrevet. Til evaluering af modellens strømbeskrivelse, er der anvendt data fra Forsvarets strømmåler ved Drogden Fyr. Måleinstrumentet er beliggende på 10,8 meter vanddybde og indikeret med en sort signalmarkør i Figur 3 nedenfor.



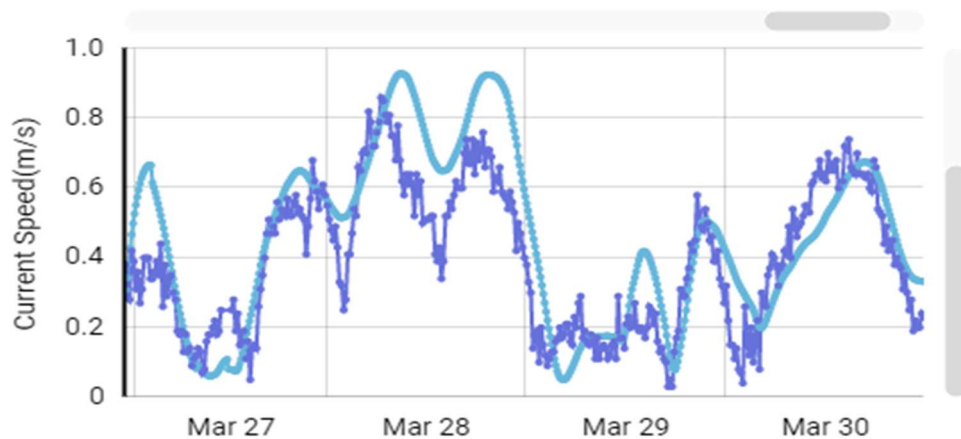
Figur 3 Positionen af strømmåleren ved Drogden Fyr (sort markør).

Det er valgt at anvende strøminformationerne fra Drogden Fyr til evaluering og validering af modellen, idet denne måler over hele profilet og er placeret, hvor der er store variationer i strømhastighederne og som afspejler den dynamiske udveksling af vand mellem Øresund og Østersøen. En dynamik som er bestemmende for strømforholdene på klappadsområdet, idet disse er placeret i gennemstrømningsområdet i det sydlige Øresund for udveksling af vand med Østersøen og dermed udenfor det idvande, som Køge Bugts geometri danner.

En sammenligning af målte og modellerede strømhastigheder tæt på vandoverfladen i hele hindcast perioden (7. marts – 31. marts) er vist i Figur 4. Den fuldt optrukne petroleumsblå kurve viser den modellerede strøm, mens den stiplede lilla kurve viser den målte strøm. Figur 5 viser et udsnit af Figur 4 i den uge, hvor de højeste strømhastigheder forekommer. Det ses, at der generelt er en meget fin overensstemmelse mellem den målte og modellerede dynamik, men at der er en tendens til at modellen i perioder overestimerer overfladestrømmen og dermed spredningen af klappmaterialet. Modellens sedimentspredning væk fra klappadsområdet vurderes derfor at være konservativt bestemt.

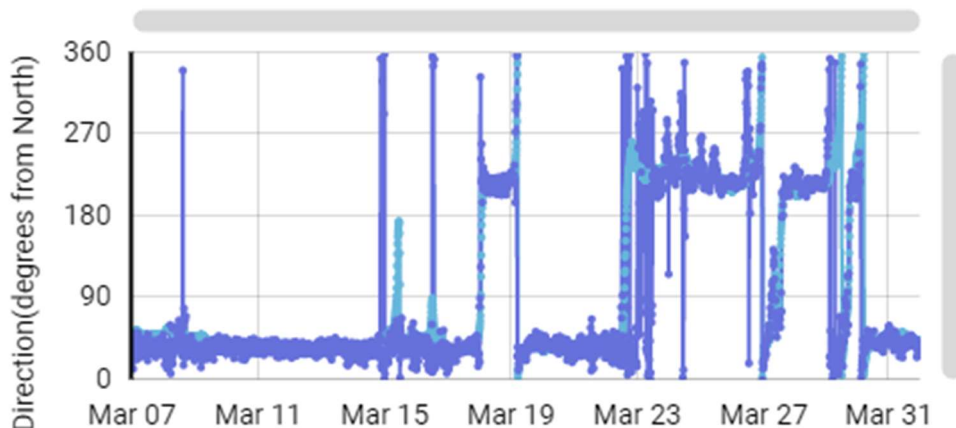


Figur 4 Strømhastighed tæt på havvandoverfladen ved Drogden Fyr. Petroleumsblå: Model, Lilla: Målinger.



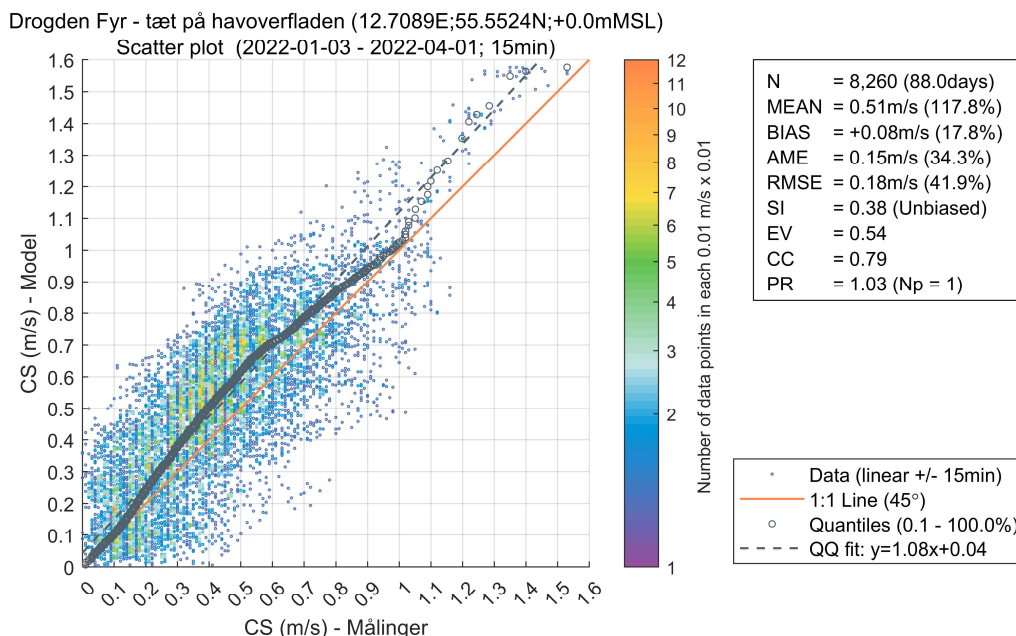
Figur 5 Strømhastighed tæt på havoverfladen ved Drogden Fyr. Petroleumsblå: Model, Lilla: Målinger – eksempel periode 27. marts – 30.marts.

Figur 6 viser en sammenligning mellem målte og modellerede strømretninger tæt på vandoverfladen. Som for strømhastigheder, ses der at være en fin overensstemmelse mellem målinger og model.



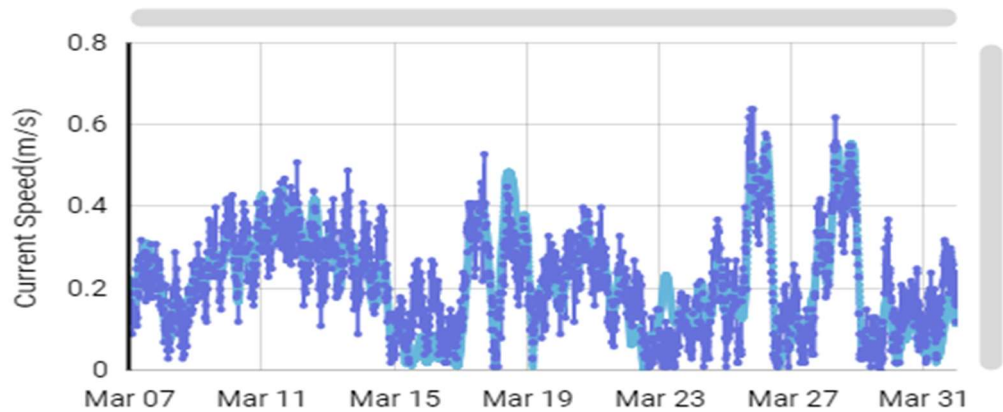
Figur 6 Strømreretninger tæt på havoverfladen ved Drodden Fyr. Petroleumsblå: Model, Lilla: Målinger.

Modellens statistiske performance optegnet som et densitets scatter plot og baseret på den målte og modellerede overfladestrøm ved Drodden fyr er vist i Figur 7 for hele klapsæsonen dækkende d. 3. januar til d. 1. april 2022. Figuren viser sammenhørende værdier af målt og modelleret overfladestrøm. Farveskalaen udtrykker hvor mange hændelser der forekommer af den pågældende kombination. De blå og lilla farver udtrykker enkeltstående kombinationer, mens de orange farver udtrykker, at den pågældende kombination af målt og modelleret strøm optræder mellem 7-12 gange.

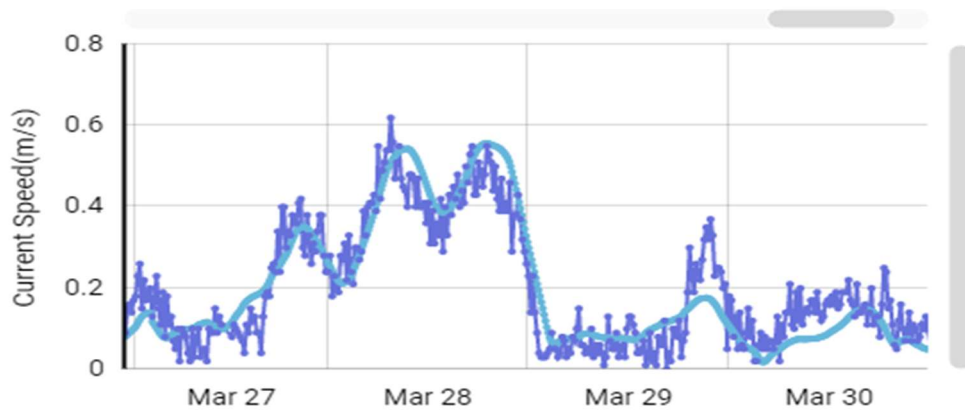


Figur 7 Scatter plot med statistiske mål for sammenligningen af målt og modelleret strøm – tæt på havoverfladen for hele klapsæsonen.

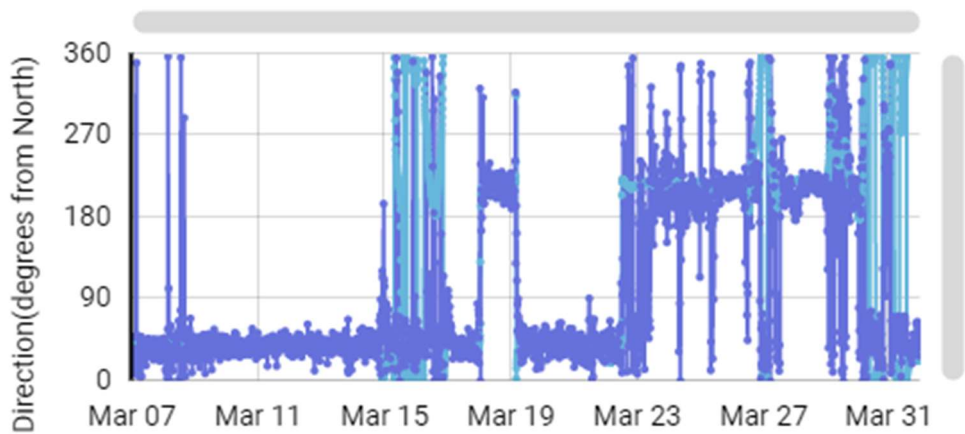
En tilsvarende sammenligning af målte og modellerede strømhastigheder tæt på havbunden er vist i Figur 8 for hele hindcast perioden. Den fuldt optrukne petroleumsblå kurve viser den modellerede strøm, mens den stiplede lilla kurve viser den målte strøm. Figur 9 viser et udsnit af Figur 8 i den uge i løbet af hindcast perioden, hvor de højeste strømhastigheder optræder. Det ses, at der er en meget fin overensstemmelse mellem målte og modellerede strømhastigheder på den givne lokalitet.



Figur 8 Strømhastighed tæt på havbunden ved Drogden Fyr. Petroleumtblå: Model, Lilla: Målinger.



Figur 9 Strømhastighed tæt på havbunden ved Drogden Fyr. Petroleumtblå: Model, Lilla: Målinger: Målinger – eksempel periode 27. marts – 30.marts.

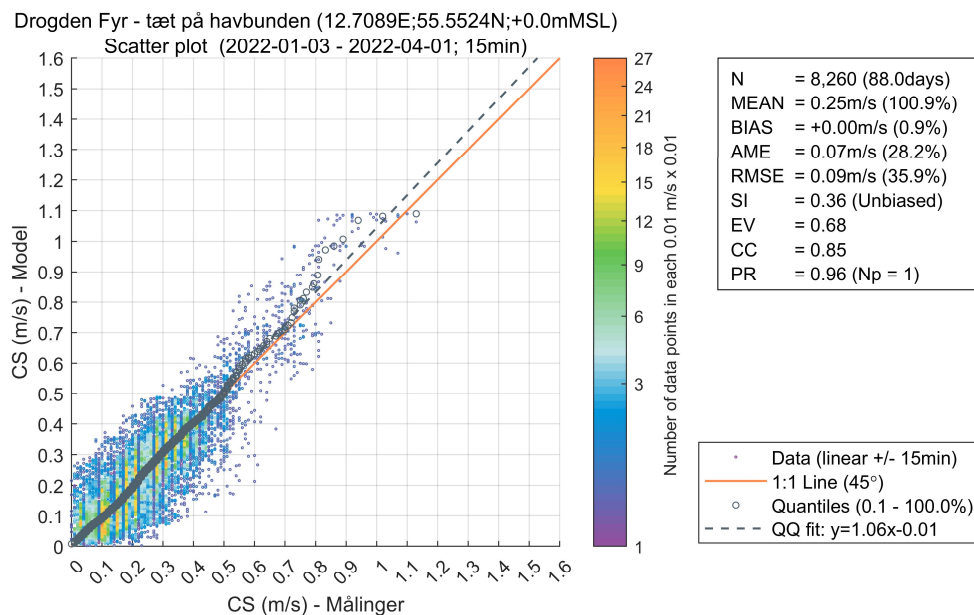


Figur 10 Strømrøtninger tæt på havbunden ved Drogden Fyr. Petroleumtblå: Model, Lilla: Målinger.



Figur 10 viser en sammenligning mellem målte og modellerede strømretninger tæt på havbunden igennem hele hindcast perioden. Som for strømhastigheder, ses der at være en fin overensstemmelse mellem målinger og model. Der er derfor god grund til at tro, at modellens beskrivelse af de lokale strømforhold ved klappadsområdet også er ganske god.

Modellens statistiske performance optegnet som et densitets scatter plot og baseret på den målte og modellerede bundstrøm ved Drogden fyr er vist i Figur 11 for hele klapsæsonen dækkende d. 3. januar til d. 1. april 2022.



Figur 11 Scatter plot med statistiske mål for sammenligningen af målt og modelleret strøm – tæt på havbunden

### 3 Hindcast resultater

I dette afsnit er den modellerede påvirkning af de faktisk udførte klapninger vurderet. Ligeledes er bundstrømforholdene ved klappadsen analyseret, da denne har betydning for spredningen i forbindelse med klappning og endnu vigtigere, betydning for en eventuel re-suspension af klappmaterialet. Evalueringen af påvirkningen forholder sig til skyggevirksomhedseffekter med udgangspunkt i kumuleret varighed af dybdemidlede sedimentkoncentrationer større end henholdsvis 2 mg/l og 5 mg/l. Koncentrationer på 2-5 mg/l udgør niveauet for, hvornår en sedimentfane bliver synlig. Ligeledes estimeres tabet af klappmateriale til vandområderne Østersøen, Øresund nord for Drogden tærsklen og Køge Bugt. Tabet opgøres i tons og som procent af den samlede klappmængde. Endelig vises der aflejningskort.

#### 3.1 Bundstrømmen ved klappads

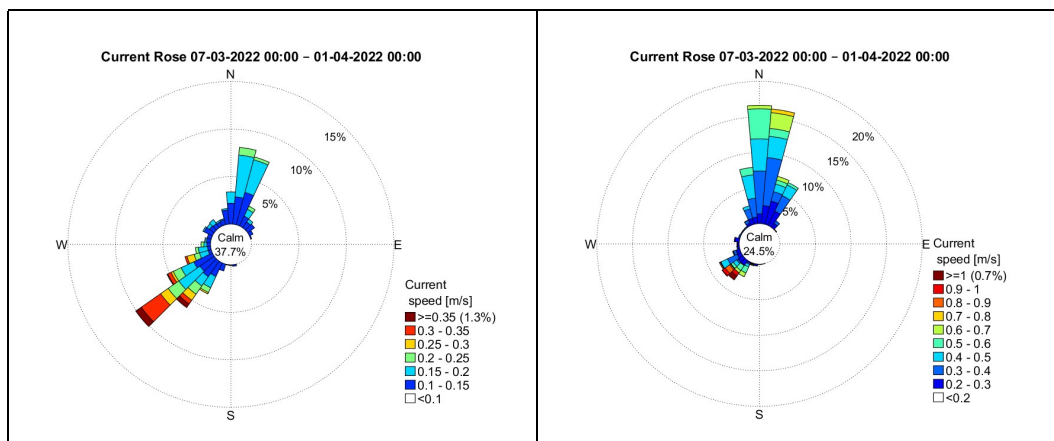
Strømforholdene nær ved havbunden har betydning for, hvordan materialet i de enkelte klappninger spredes, men i endnu højere grad betydning for, hvornår tidligere klappet materiale vil blive re-suspenderet og potentielt blive spredt væk fra klappadsområdet. Hvis klappmaterialet er af samme beskaffenhed som den eksisterende havbund, vil klappmaterialet ikke føre til ændringer i den naturligt forekommende baggrunds-

koncentration. Er klappmaterialet mere løst aflejret og lettere at re-suspendere, vil det give sig udslag i at sedimentkoncentrationen øges i forhold til den naturlige baggrunds-koncentration i situationer, hvor bundstrømmen er stærk. Mængden som re-suspenderes vil afhænge af, hvor stor en pulje løst aflejret finkornet sediment, der tidligere er blevet klappet, samt over hvor stort et område det er blevet spredt i forbindelse med de foretagne klappinger og hvordan det er eksponeret.

Klappmaterialet fra uddybningen af sejlrenden ved Svælget er af nogenlunde samme beskaffenhed, som den eksisterende havbund. Klappmaterialet fra Svælget forventes derfor ikke at påvirke de eksisterende forhold nævneværdigt. Klappmaterialet fra Lynetteholm perimeteren varierer i sammensætning, men har samlet set et væsentligt større indhold af finkornet materiale end materialet fra Svælget. Det må derfor forventes at blive mere løst aflejret og lettere at re-suspendere. Over tid må man forvente at re-suspensions hændelser vil udvaske de fineste sedimentpartikler i overfladelaget, hvorved der efterhånden dannes et mere sandholdigt overfladelag, som virker indkapslende på det underliggende klappmateriale og som forhindrer en yderligere udvaskning af finkornet materiale. I forbindelse med mere ekstreme strømhændelser vil overfladelaget kunne brydes op, hvorved der igen igennem en periode udvaskes finkornet sediment, indtil der igen er dannet et mere sandholdigt overfladelag. Det sandholdige sediment er ikke særlig mobilt og opbrydningen af overfladelaget vil derfor gradvist føre til, at der dannes et tykkere beskyttende overfladesandlag. Disse processer er ikke indeholdt i den i MKR-sammenhæng udførte modellering for spredning af klappmaterialet, hvorfor sedimentspredningen i som ligger til grund for MKR må formodes at være overvurderet.

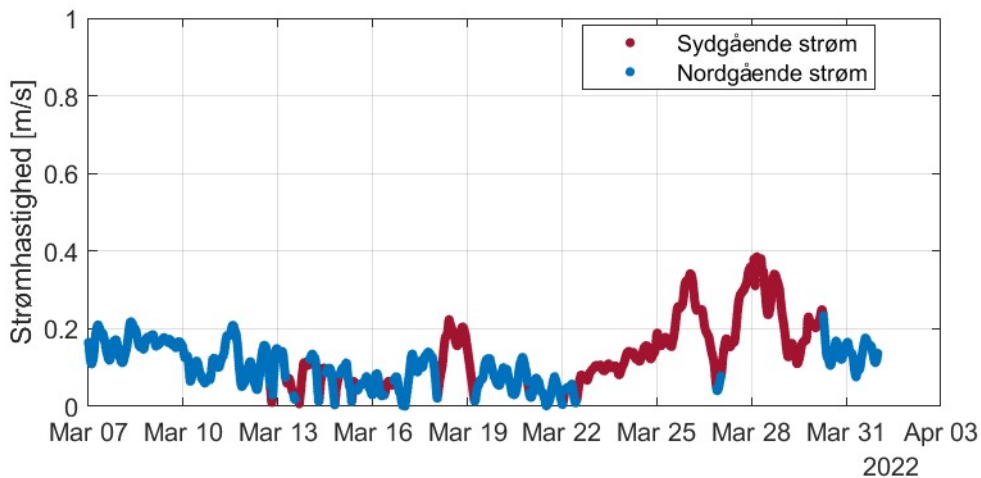
#### **Strømforhold ved klapppladsen:**

Strømforholdene ved klapppladsen varierer over tid. Nær ved havbunden er der to hovedstrømretninger; sydvest og nordnordøst. De kraftigste bundstrømme er sydvestgående og ligeledes er det også sydvestgående bundstrøm der optræder mest hyppigt i vinterhalvåret. I denne hindcast periode viser strømrosen, at hyppigheden af sydvestgående bundstrøm forekommer oftere end den nordnordøstgående bundstrøm. Endvidere er den sydvestgående bundstrøm en del kraftigere. Ved havoverfladen er overfladestrømmen domineret af nordnordøstgående strømme, som en konsekvens af nettoafstrømningen af brakvand fra Østersøen. Vindens påvirkning indebærer, at overfladestrømmens retninger varierer mere end bundstrømmens, der primært er styret af landens topografi. I Figur 12 er der vist strømroser ved klapppladsen 2 meter over havbundsniveau og ved havoverfladen. Det ses, at høje bundstrømhastigheder primært optræder i forbindelse med sydgående strøm. Re-suspensionshændelser vil derfor primært føre til en spredning af klappet materiale i retning mod Østersøen. Ved overfladen optræder der i en kortere periode høje strømhastigheder som i denne hindcast periode er rettet mod sydvest. I størstedelen af perioden er overfladestrømmen rettet mod nord. Bemærk, at der er anvendt forskellig skala i de to strømroseplot. For bundstrømmen repræsenterer "calm" forhold, hvor strømhastigheden er lavere end 0,1 m/s, mens den for overfladestrømmen repræsenterer forhold lavere end 0,2 m/s.

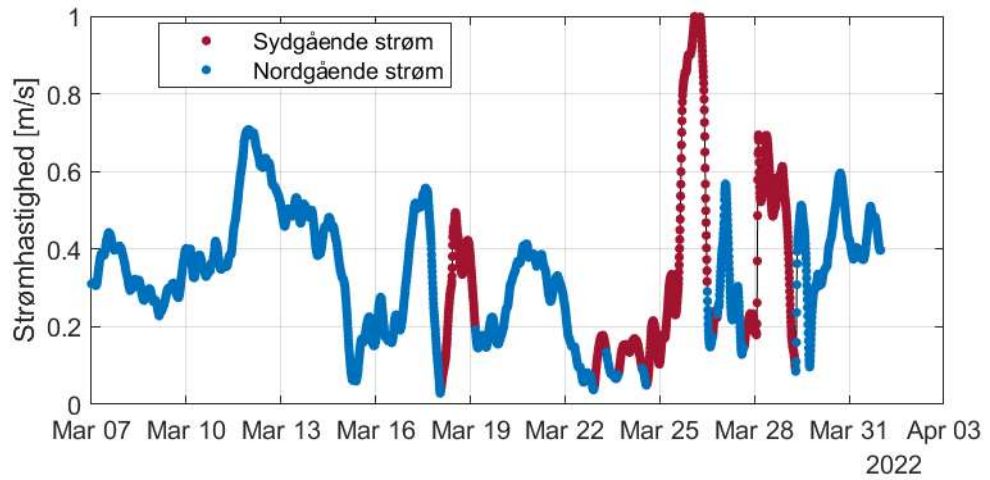


Figur 12 Venstre: Rose plot for bundstrøm 2 meter over havbund ved klappads. Højre: Rose plot for overfladestrøm ved klappads.

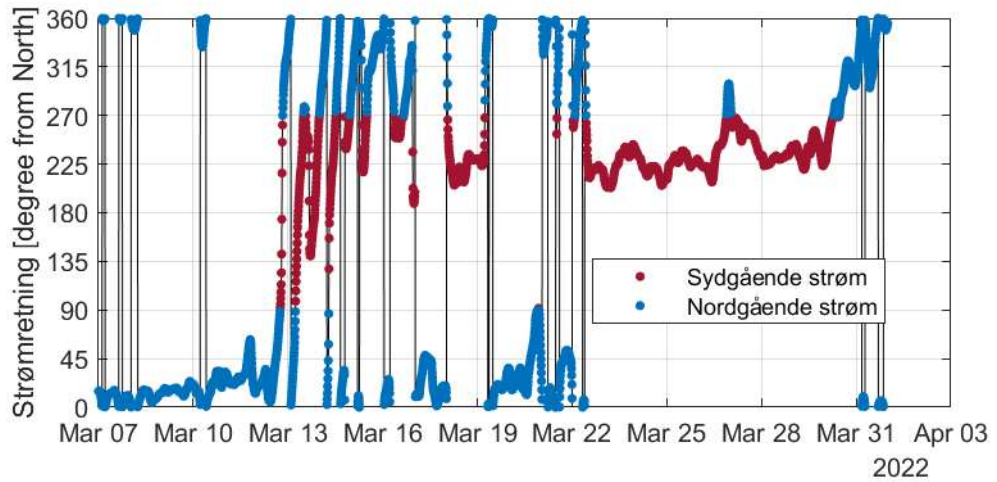
I Figur 13 og Figur 14 er der vist tidsserier af strømhastigheder 2 meter over havbunds niveau og ved vandoverfladen. Det ses, at der i perioder med lagdelt strømning er modsat rettet strømning ved havbund og vandoverflade. Den røde del af kurven indikerer forhold med sydgående strøm, mens den blå kurve indikerer forhold med nordgående strøm. Tilhørende tidsserier for strømretninger i de to niveauer er vist i Figur 15 og Figur 16. En strømretning på 0° er udtryk for at strømmen er rettet mod nord, mens en strømretning på 90° er rettet mod øst og 180° er rettet mod syd, etc.



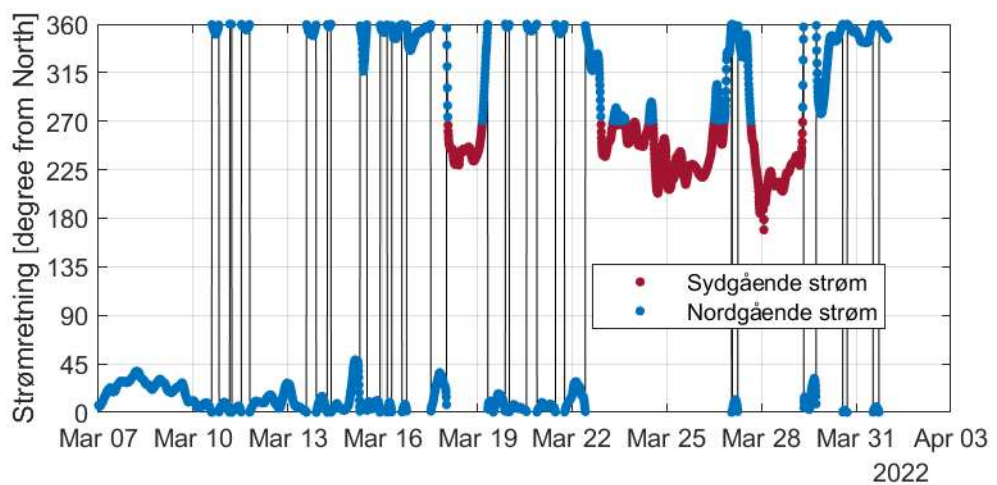
Figur 13 Bundstrømhastigheder 2 meter over havbund ved klappads.



Figur 14 Overfladestrømhastigheder ved klappads.



Figur 15 Bundstrømretninger 2 meter over havbund ved klappads.



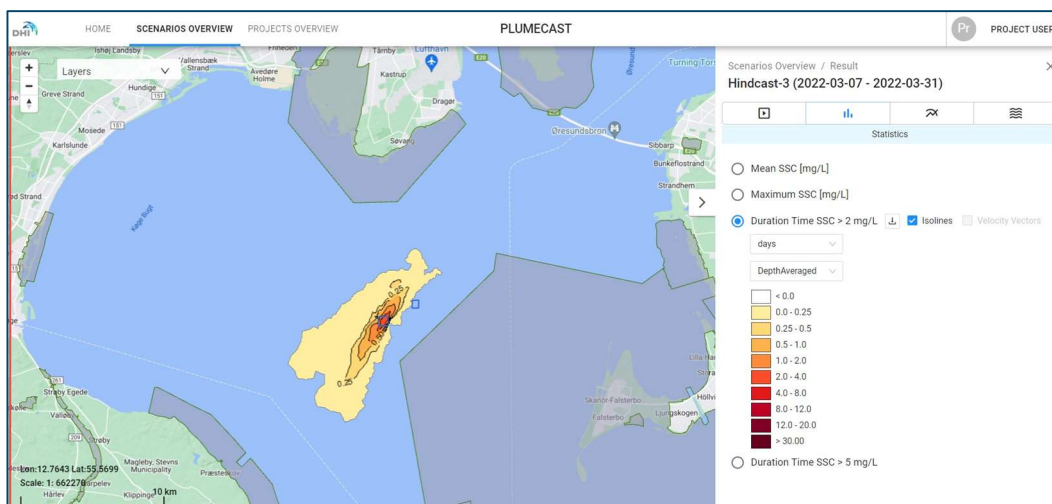
Figur 16 Overfladestrømretninger ved klappads.

## 3.2 Skyggevirkning fremkaldt af klapskyer og re-suspenderet klapmateriale

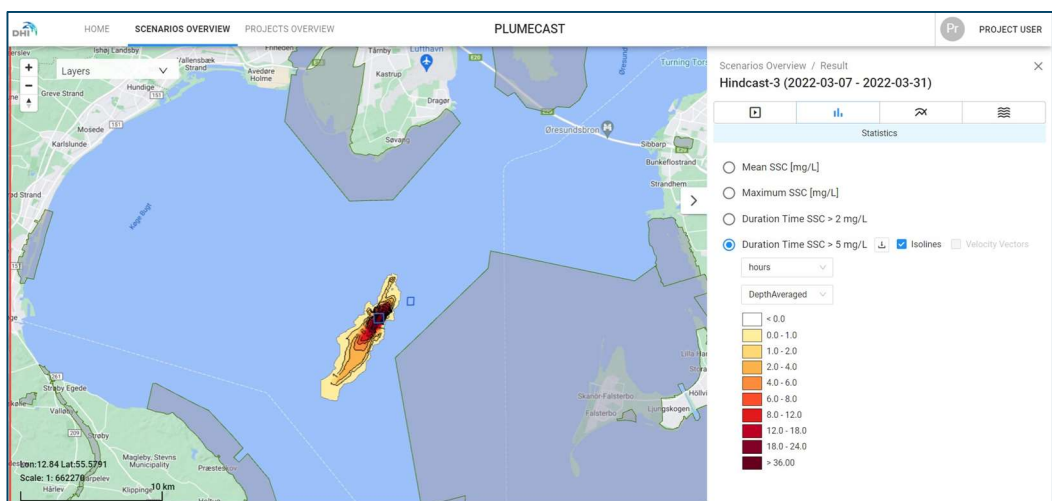
Klapskyerne kan potentielt påvirke de omkringliggende Natura 2000 områder, som følge af aflejring eller skyggevirkningseffekter. Til vurdering af skyggevirkningseffekter, ses der typisk på i hvor lang tid en række dybdemlede sedimentkoncentrationsniveauer er overskredet. Grænsen for en synlig sedimentfane går typisk et sted mellem 2-5 mg/l.

På baggrund af klapninger udført i perioden fra den 7. marts 2022 til den 31. marts 2022, er den kumulerede overskridelsesvarighed af en dybdemidlet koncentration på 2 mg/l beregnet. De beregnede koncentrationer indeholder ikke et bidrag fra den naturlige baggrundskoncentration og er dermed udelukkende relateret til effekten fra klapningerne.

Figur 17 viser det område, hvor dybdemidlet SSC samlet set overstiger 2 mg/l i mere end 6 timer og derover. Det ses af figuren, at ingen af de øvrige omkringliggende Natura 2000 områder er influeret af klappanerne.



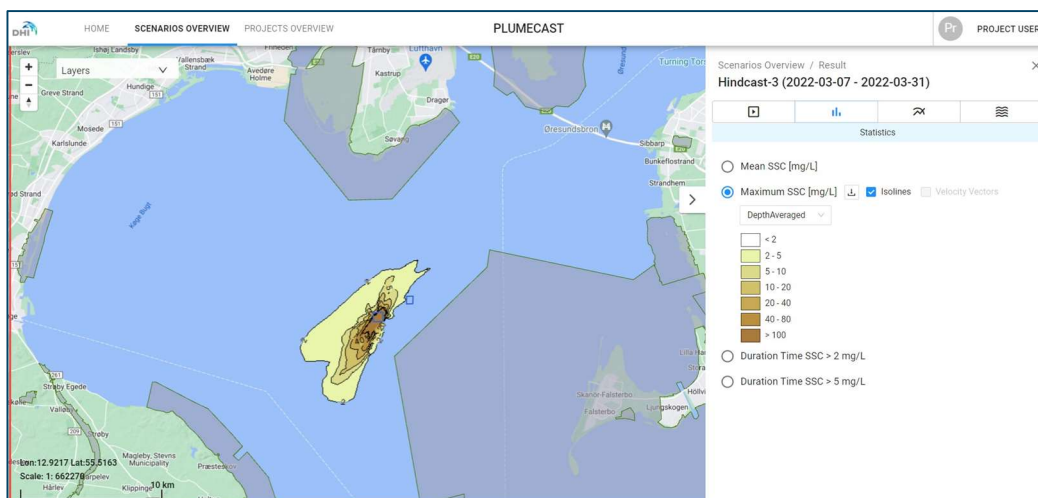
Figur 17 Akkumuleret overskridelsesvarighed af dybdemidlet SSC på 2 mg/l. Bemærk skala er angivet som dage.



Figur 18 Akkumuleret overskridelsesvarighed af dybdemidlet SSC på 5 mg/l. Bemærk skala er angivet som timer.

En tilsvarende analyse er udført for overskridelse af 5 mg/l. Figur 18 viser de områder, hvor dybdemidlet SSC overstiger 5 mg/l i mere end 1 time og derover. Som det fremgår af figuren, kan der ikke identificeres nogen påvirkning af de omkringliggende Natura2000-områder.

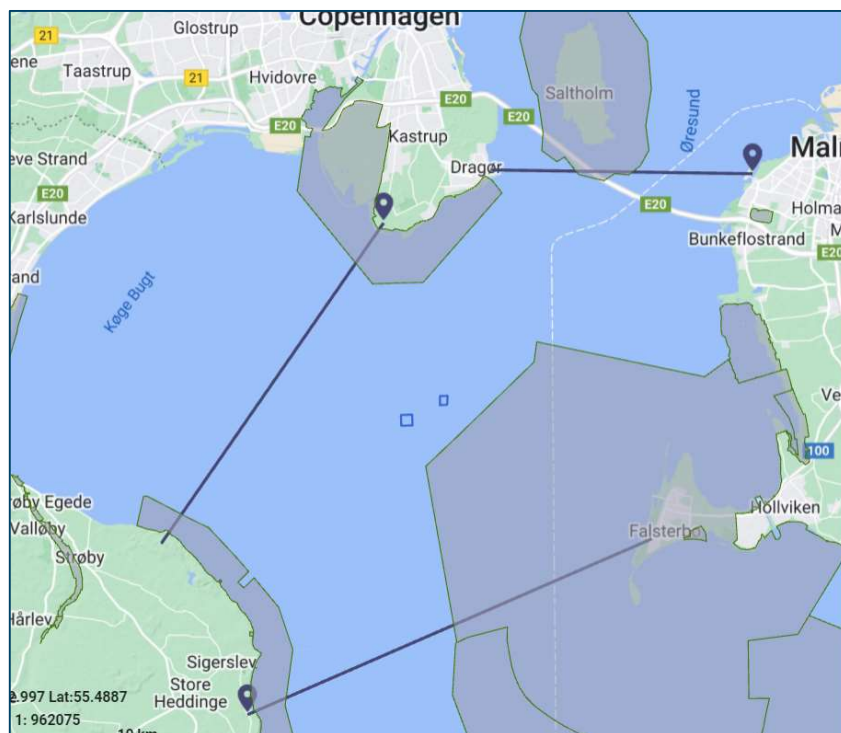
Til illustration af det maksimale påvirkningsområde relateret til klappning af materiale og en efterfølgende re-suspension, er der i Figur 19 vist dybdemidlet maksimum sedimentkoncentration i hindcast perioden løbende fra den 7. marts 2022 til og med den 31. marts 2022. Det fremgår af plottet, at der ikke er nogen påvirkning af de omkringliggende Natura 2000 områder.



Figur 19 Maksimum dybdemidlet sedimentkoncentration i hindcast perioden.

### 3.3 Spredning af klappmateriale til omkringliggende vandområder

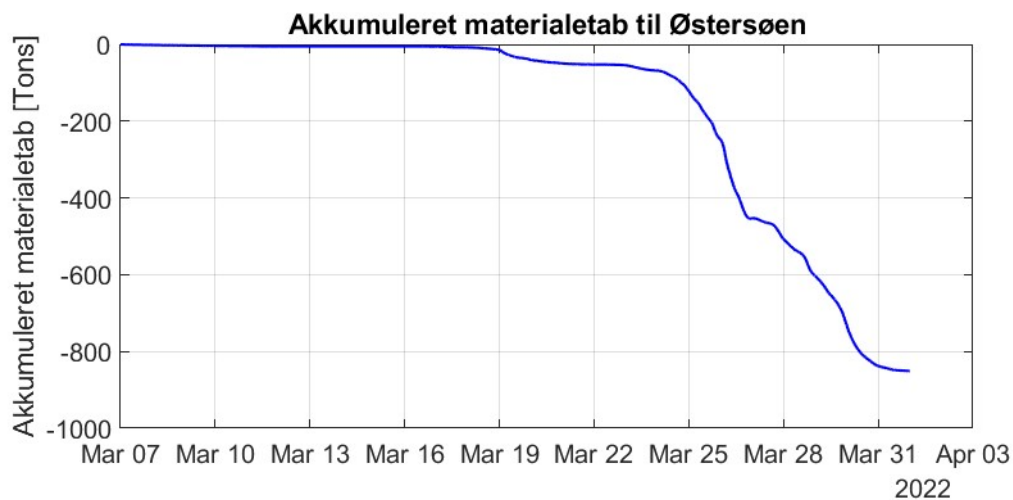
Afhængig af klappmaterialets karakter vil der være risiko for spredning af finkornet materiale til de omkringliggende vandområder, dels som følge af selve klappningen, men potentielt i endnu større grad som følge af re-suspension af tidligere klappet materiale. Re-suspensionshændelser vil primært føre materiale i retning mod Østersøen. Tabet af klappmateriale beregnes som den sedimentflux, der passerer de tre sorte linjer indikeret i Figur 20 nedenfor.



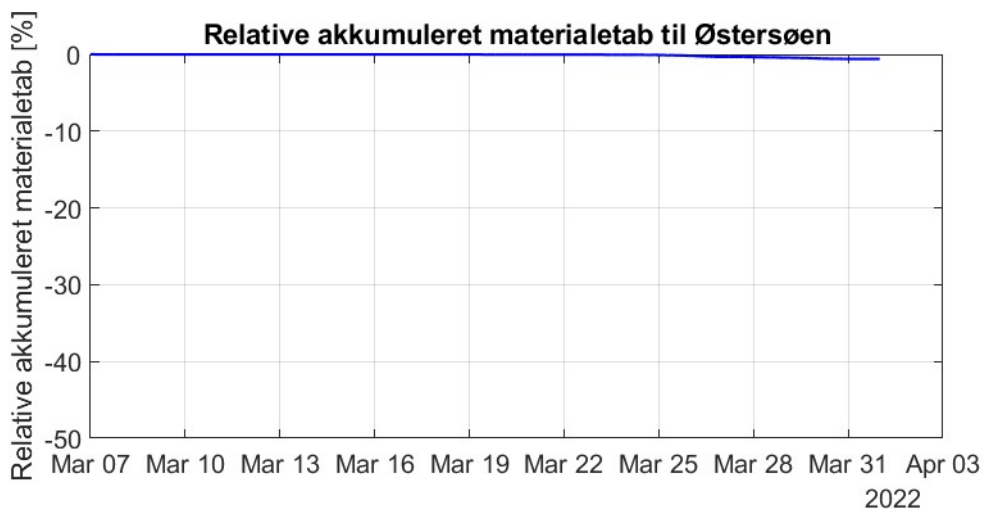
Figur 20 Placering af de tre tværsnit (Østersøen, Nordlige Øresund og Køge Bugt), hvorover sedimentfluxen beregnes.

Kraftige bundstrømme ved klapplassen er hovedsagelig rettet mod sydvest. Der vil derfor som nævnt ovenfor være en overvejende tendens til, at re-suspenderet klappmateriale kan spredes mod sydvest og videre ned i det dybereliggende bassin i Østersøen.

Det akkumulerede sedimenttab til Østersøen igennem hindcast perioden er vist i Figur 21 i form af en tidsserie. I hindcast perioden er den sydvestgående bundstrøm langt mindre udtalt end i den foregående hindcast periode. Det ses derfor, at sedimenttabet er ganske beskedent. Den samlede masse af sedimenter som forlader modelområdet i retning mod syd, er beregnet til 851 tons og svarer dermed til cirka 0,6% af klappmængden over hindcast perioden. I Figur 22 er klaptabet angivet som det relative tab i procent af den samlede klappmængde i hindcast perioden.



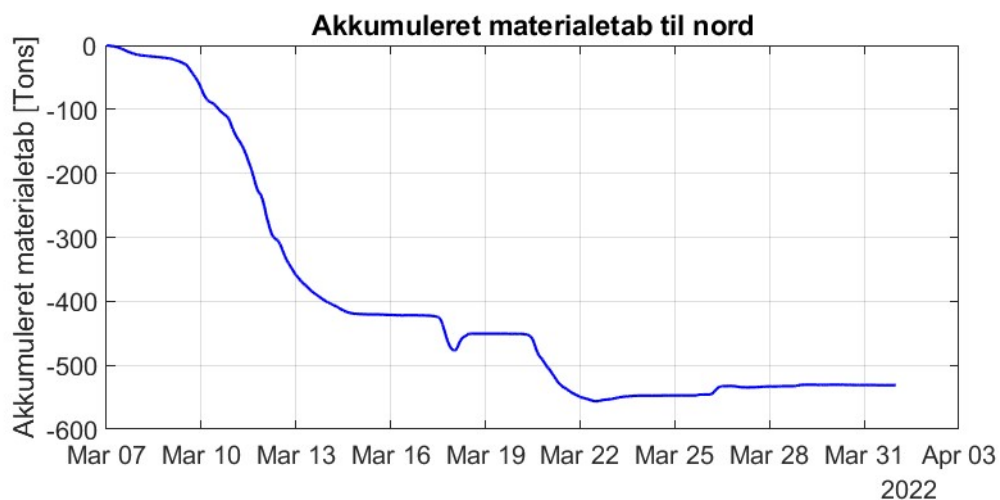
Figur 21 Akkumuleret materialetab til Østersøen.



Figur 22 Relativt akkumuleret materialetab til Østersøen.

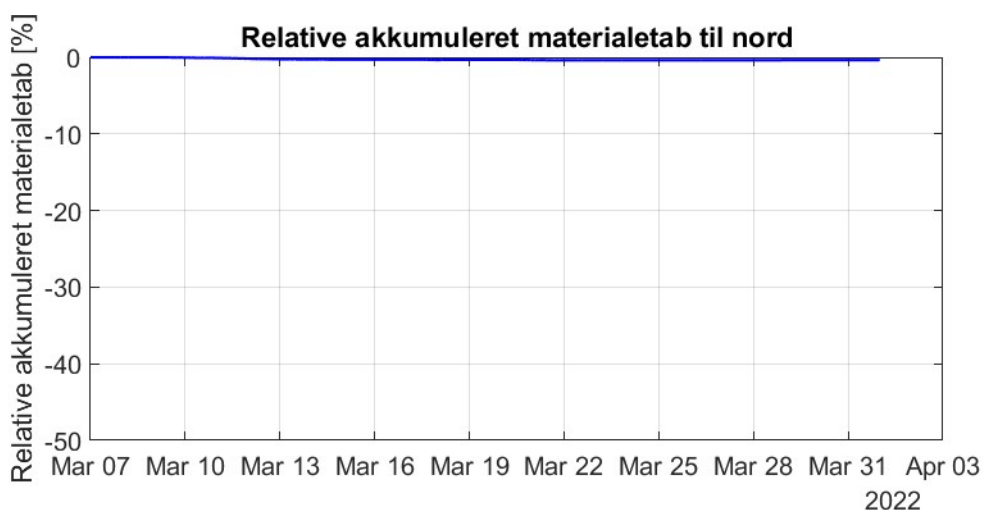
Igennem det meste af hindcast perioden er der hovedsagelig klappet materiale fra Svælget med et meget lavt indhold af finkornet sediment, hvorfor spredningen relativt set er beskeden.

Det akkumulerede sedimenttab til nord (Øresund) igennem hindcast perioden er vist i Figur 23 i form af en tidsserie. Den samlede masse af sedimenter som forlader området i retning mod nord, er 531 tons, hvilket er som det fremgår af Figur 24 ca. 0,37% af klappmængden i hindcast perioden.



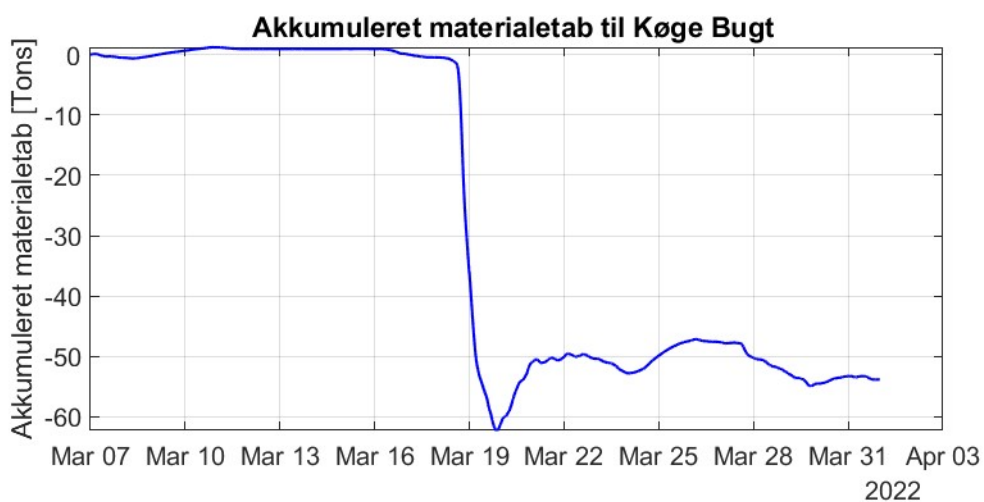
Figur 23 Akkumuleret materialetab til vandområdet nord for Drogdøntærsklen.



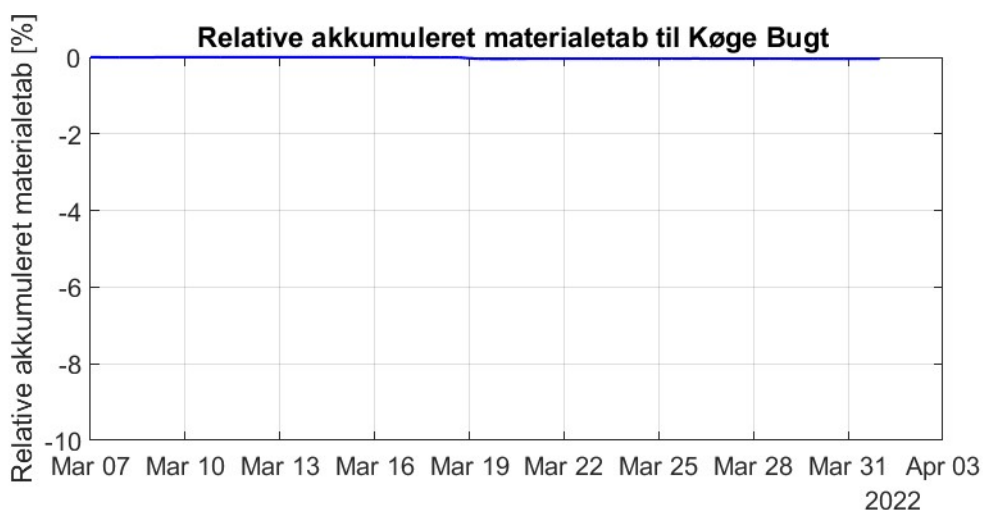


Figur 24 Relativt akkumuleret materialetab til vandområdet nord for Drogdæntærsklen.

Det akkumulerede sedimenttab til Køge Bugt igennem hindcast perioden er vist i Figur 25 i form af en tidsserie. Det ses, at der i hindcast perioden er meget beskeden spredning af klappmateriale til Køge bugt. Dette kan forklares med at Køge Bugt udgør et idvande og har dermed ingen direkte interaktion med spredningen fra klapppladsen, da denne ligger i et gennemstrømningsområde udenfor idvandet. Den samlede masse af sedimenter som forlader modelområde i retning mod Køge Bugt, er estimeret til 54 tons, hvilket er ca. 0,04% af klappmængden i hindcast perioden, jf. Figur 26.



Figur 25 Akkumuleret materialetab til Køge Bugt

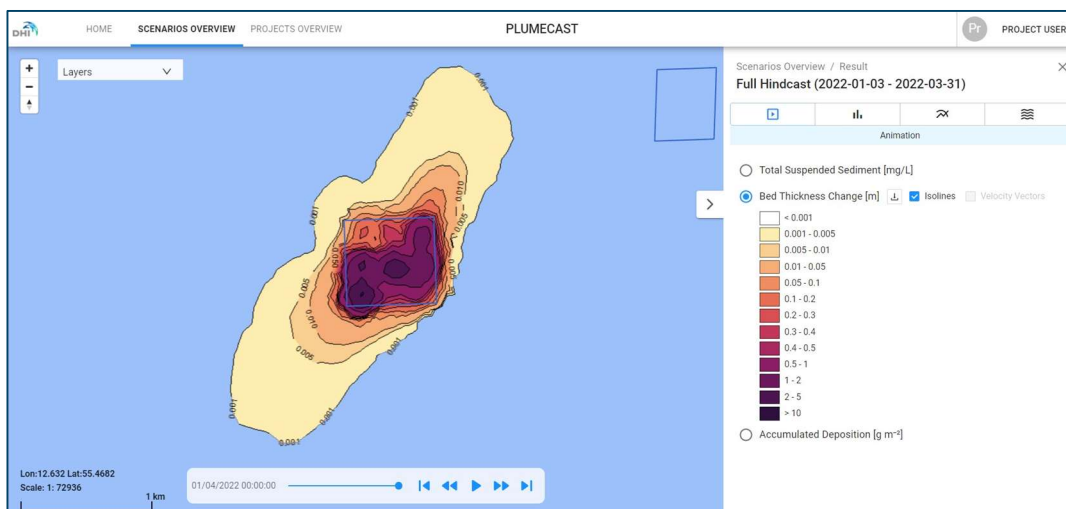


Figur 26 Relativt akkumuleret materialetab til Køge Bugt.

Samlet set er der fundet en meget beskeden spredning af klappmateriale til de omkringliggende vandområder (ca. 1,01%), hvilket hænger sammen med, at der i hindcast perioden hovedsagelig er klappet materiale fra både uddybningen af sejlrenden ved Svælget syd for Middelgrunden og kun i mindre grad fra Lynetteholm perimeteren. Spredningen vil øges i takt med, at der kun klappes materiale fra Lynetteholm perimeteren, da dette materiale har et væsentligt større indhold af finkornet sediment.

### 3.4 Deposition af klappmateriale fra 3. januar til 31. marts

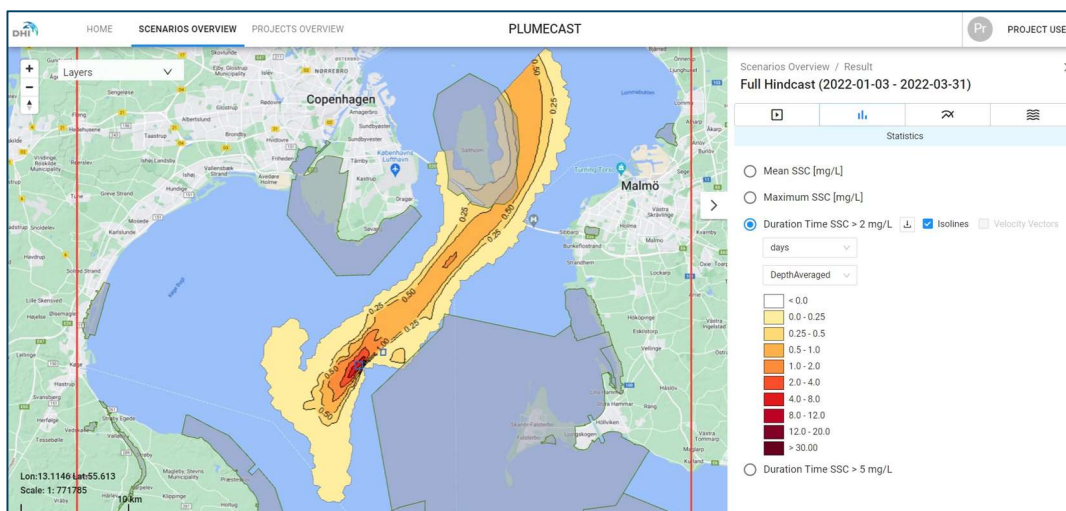
I hele hindcast perioden fra 3. januar frem til den 31. marts er der i henhold til klapploggene klappet 350.381 ton, hvoraf de 293.745 ton ifølge modelberegningerne er aflejret indenfor det med blå ramme markerede klapppladsområde. Langt størstedelen af klappmaterialet (~84%) er aflejret i selve klapppladsområdet. Figur 27 viser et aflejringkort for det klappede materiale. Mindste viste aflejringstykkelse på kortet er 0,1 mm. Aflejringstykkelser er beregnet med antagelse om en tørdensitet på 600 kg/m<sup>3</sup>. Det ses, at der er en svag spredning væk fra klapppladsen i retning mod sydvest, der er forårsaget af bundstrømmens fremherskende hovedretning. Ligeledes er der en svag spredning i retning mod nordnordvest, som følge af de dominerende strømforhold i forbindelse med klappning. Bemærk i øvrigt at skalaen for aflejring ikke er lineær og at de tre mest lyse farver derfor udtrykker aflejring i lag tyndere end 1 cm. En stor del af de resterende 16% som ikke er aflejret indenfor klapppladsområdet er, som det fremgår af Figur 27 aflejret i umiddelbar nærhed af klapppladsen. Spredningen af materiale til øvrige vandområder; Østersøen, Øresund nord for Drogdøntærsklen og idvandszonen Køge Bugt er samlet set (i perioden 3. januar – 31. marts) 2,2% og dermed relativt beskeden, jf. afsnit 3.3.



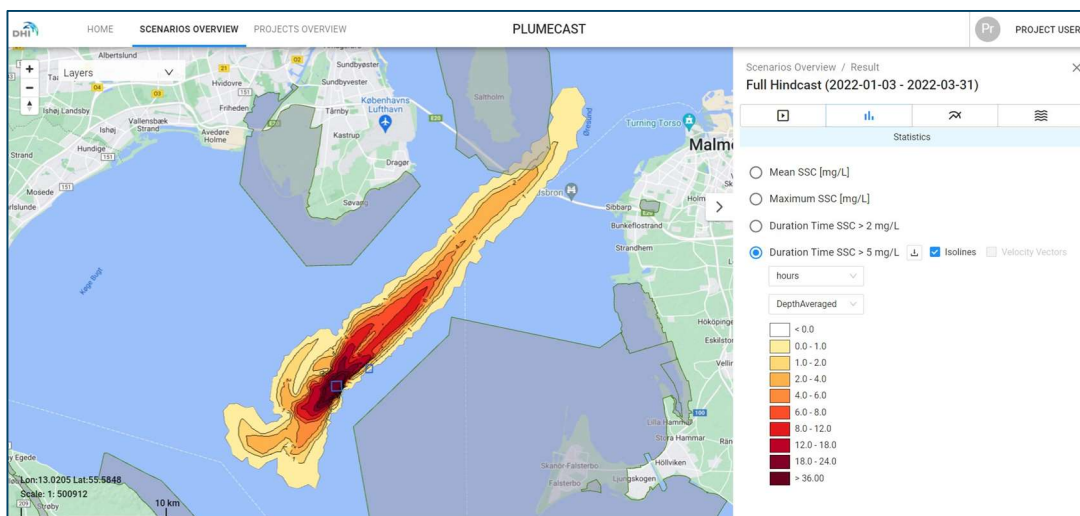
Figur 27 Aflejringskort for materialet klappet ved slutning af hindcast perioden.

### 3.5 Hindcast for perioden 3. januar 2022 – 31. marts 2022

Klapskyernes samlede skyggevirkning i hele klapsæsonen, dvs. i perioden 3. januar 2022 til 31. marts 2022 er vist i Figur 28 og Figur 29 i form af den akkumulerede overskridelsesvarighed af en dybdemidlet koncentration på 2 mg/l og 5 mg/l. Det ses af figurerne, at der kun er en mindre påvirkning af Natura 2000 området ved Saltholm. Ingen af de øvrige omkringliggende Natura 2000 områder er influeret af klapfanerne. I forhold til skyggevirkingen er det vigtigt at have med, at den finder sted udenfor vækstsæsonen.

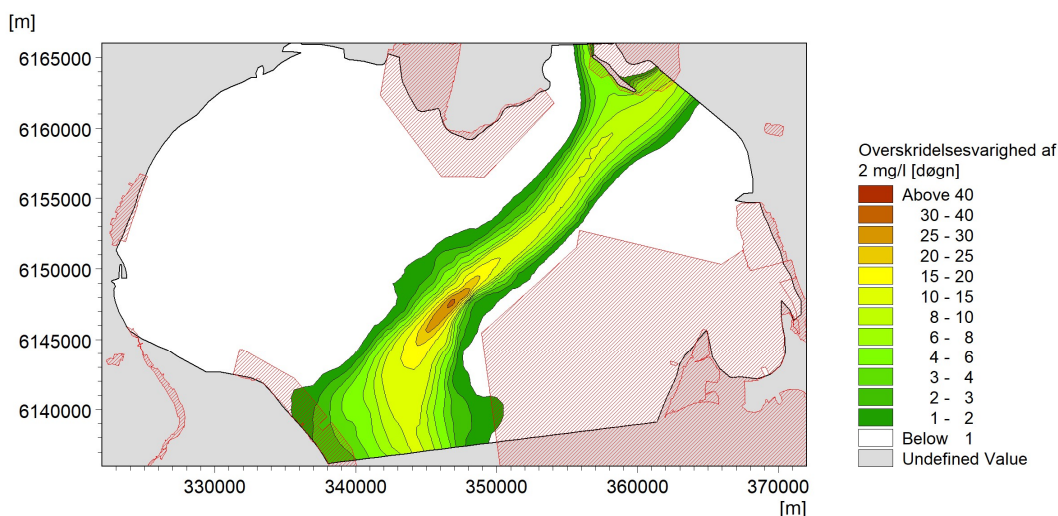


Figur 28 Akkumuleret overskridelsesvarighed af dybdemidlet SSC på 2 mg/l. Bemærk skala er angivet som dage og at perioden dækker 88 døgn.



Figur 29 Akkumuleret overskridelsesvarighed af dybdemidlet SSC på 5 mg/l. Bemærk skala er angivet som timer og at perioden dækker 88 døgn.

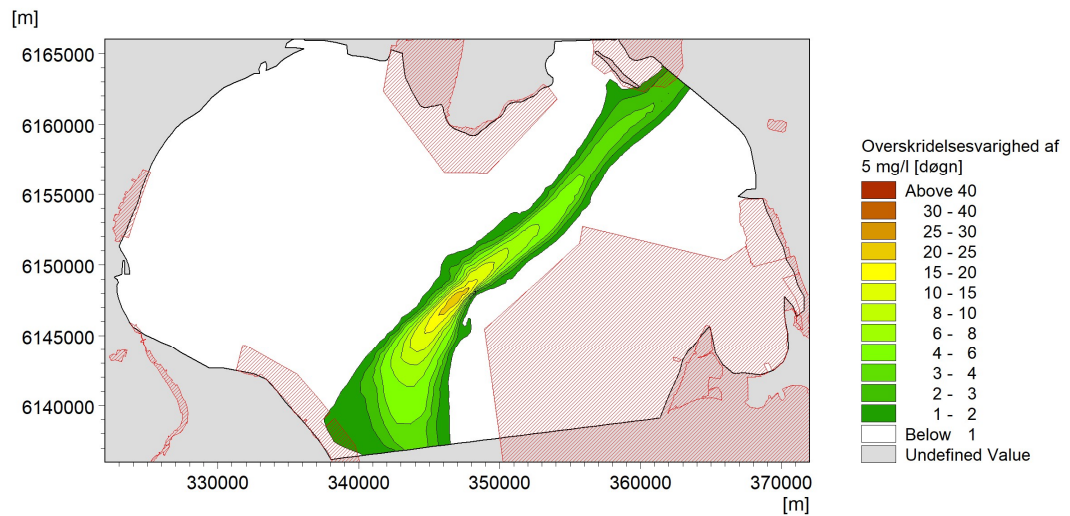
Den i Figur 28 fundne skyggevirkning af sedimentkoncentrationer højere end 2 mg/l, kan sammenholdes med den i MKR vurderede skyggevirkning i løbet af en klapsæson, jf. Figur 30. Heraf ses, at skyggevirkningen af sedimentkoncentrationer med mere end 2 mg/l i hindcast modelleringen er langt mindre end i det i MKR-vurderingen forudsatte.



Figur 30 MKR vurderet akkumuleret overskridelsesvarighed af dybdemidlet SSC på 2 mg/l ved brug af klappads Kb. Bemærk skalaen er angivet som døgn.

En tilsvarende betragtning kan gøres for sedimentkoncentrationer større end 5 mg/l ved at sammenligne Figur 29 og Figur 31. Ved sammenligningen skal man være opmærksom på at Figur 29 angiver varigheden i timer, mens den i Figur 31 er angivet i døgn. Heraf ses ligeledes, at den MKR-vurderede påvirkning er langt større end den faktiske påvirkning i den netop afsluttede klapsæson.

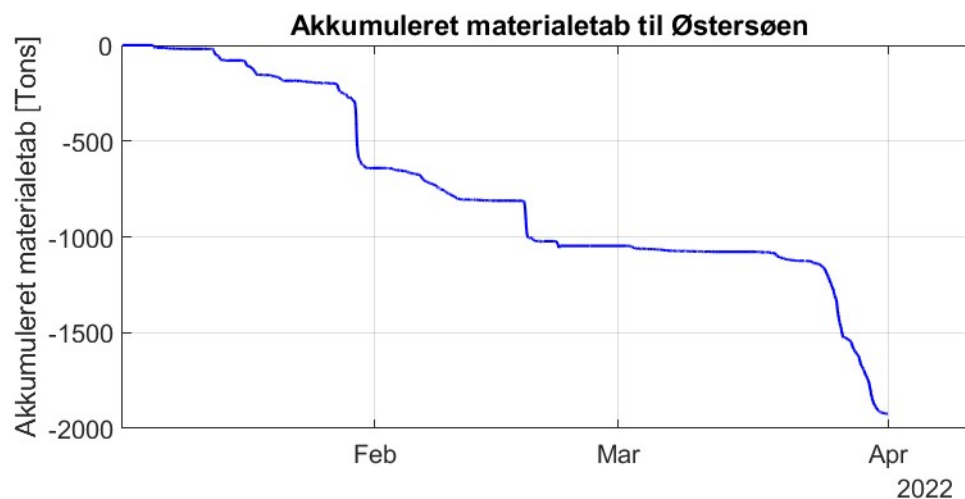
Der er flere forklaringer på dette. De væsentligste årsager er, at der er klappet meget materiale fra uddybningen af sejlrenden ved Svælget og at der er klappet færre mængder per dag end forudsat i MKR.



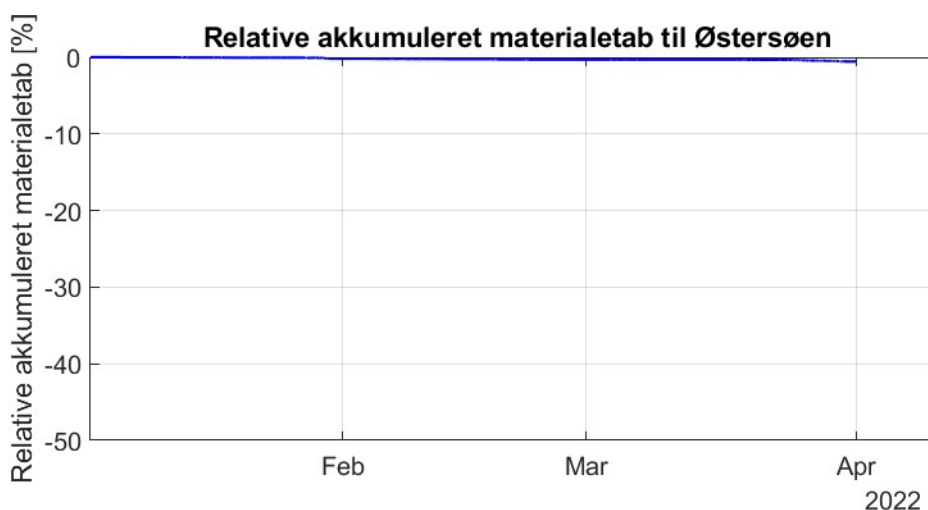
Figur 31 MKR vurderet akkumuleret overskridelsesvarighed af dybdemidlet SSC på 5 mg/l ved brug af klappads Kb. Bemærk skalaen er angivet som døgn.

En tilsvarende analyse for hele klapsæsonen er udført for det akkumulerede sedimenttab til de tre omkringliggende vandområder.

Figur 32 viser det akkumulerede sedimenttab til Østersøen igennem de tre hindcast perioder i form af en tidsserie. Den samlede masse af sedimenter som forlader modelområdet i retning mod syd, er beregnet til 1.924 tons og svarer dermed til cirka 0,55% af klappmængden over hele klappingsperioden. I Figur 33 er klaptabet angivet som det relative tab i procent af den samlede klappmængde i perioden 3. januar –1. april.

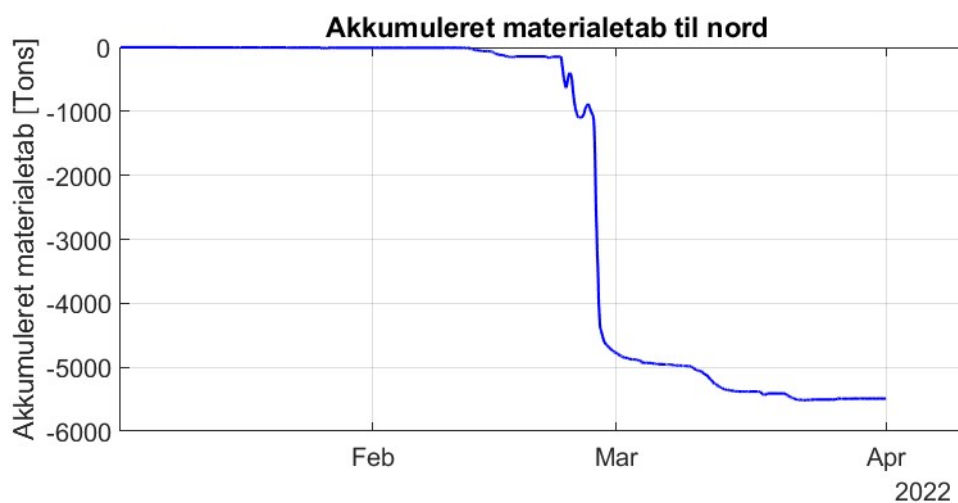


Figur 32 Akkumuleret materialetab til Østersøen.

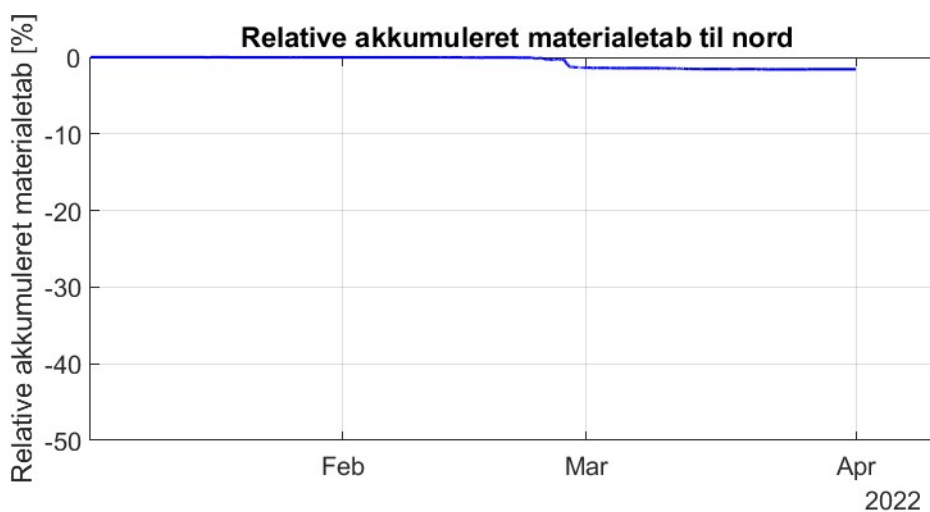


Figur 33 Relativt akkumuleret materialetab til Østersøen.

Det akkumulerede sedimenttab til vandområdet nord for Drogdentærsklen igennem hele klappingsperioden frem til d. 1. april er vist i Figur 34 i form af en tidsserie. Den samlede masse af sedimenter som forlader modelområdet i retning mod nord, er beregnet til 5.489 tons og svarer dermed til cirka 1,56% af klappmængden over hele klappingsperioden. I Figur 35 er klaptabet angivet som det relative tab i procent af den samlede klappmængde i perioden 3. januar –1. april. Det største tab er i slutningen af februar, hvor der blev klappet meget materiale fra Lynetteholm i kombination med afstrømning fra Østersøen.

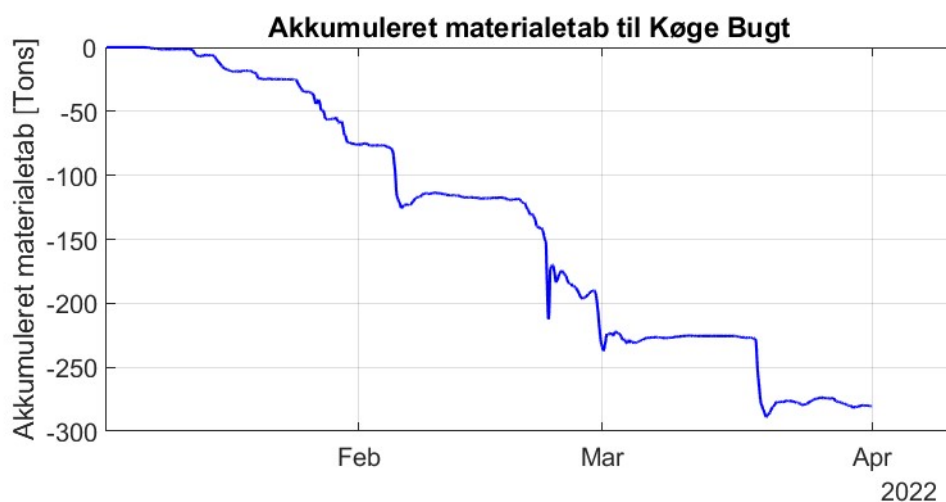


Figur 34 Akkumuleret materialetab til vandområdet nord for Drogdentærsklen.

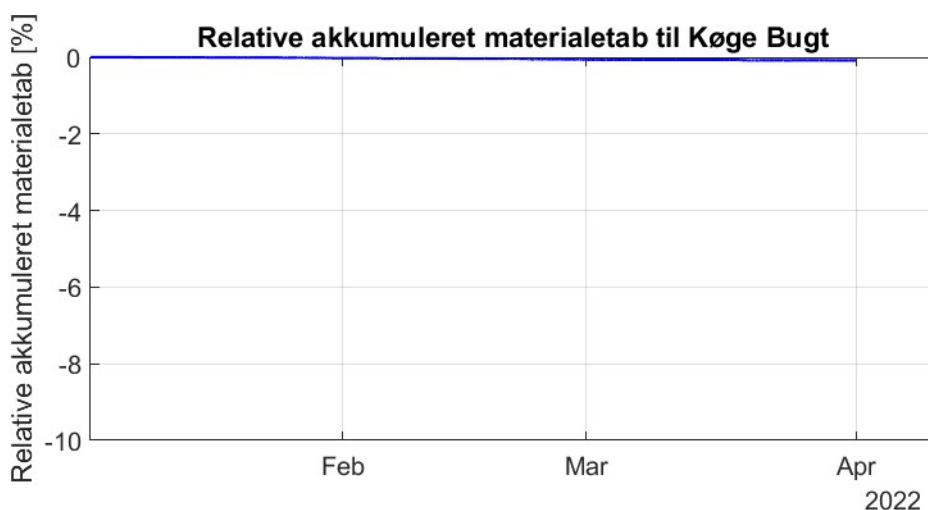


Figur 35 Relativt akkumuleret materialetab til vandområdet nord for Drogdentærsklen.

Det akkumulerede sedimenttab til Køge Bugt igennem hele klappingsperioden frem til d. 1. april er vist i Figur 36 i form af en tidsserie. Den samlede masse af sedimenter som forlader modelområdet i retning mod Køge Bugt, er beregnet til 280 tons og svarer dermed til cirka 0,08% af klappmængden over hele klappingsperioden. I Figur 37 er klaptabet angivet som det relative tab i procent af den samlede klappmængde i perioden 3. januar – 1. april.



Figur 36 Akkumuleret materialetab til Køge Bugt.

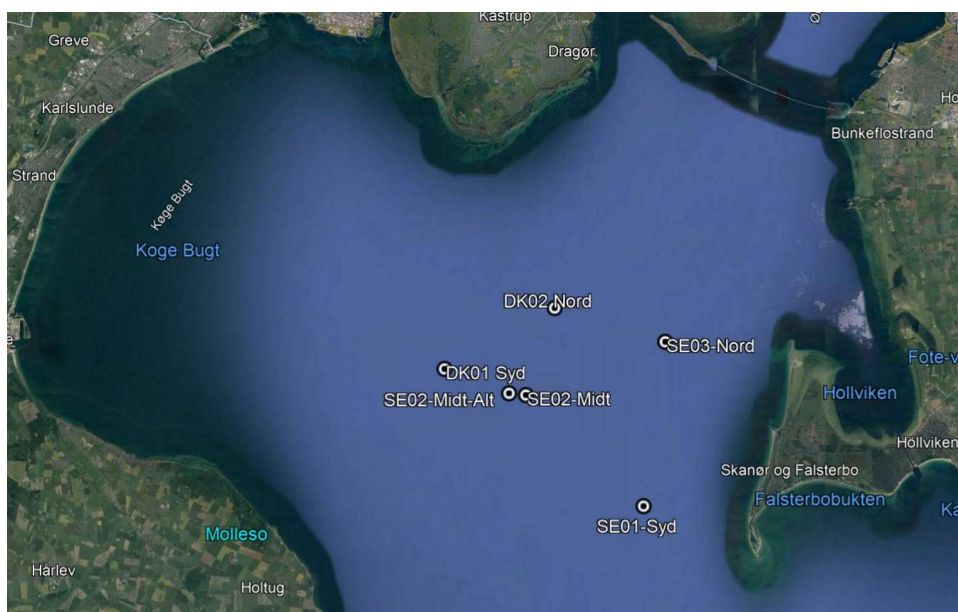


Figur 37 Relativt akkumuleret materialetab til Køge Bugt.

Samlet set er der fundet en relativ beskeden spredning af klappmateriale til de omkringliggende vandområder (ca. 2,2%), hvilket hænger sammen med, at der i de to hindcast perioder er klappet mere materiale fra uddybningen af sejlrenden ved Svælget syd for Middelgrunden end fra Lynetteholm perimeteren. Spredningen vil øges i takt med, at der kun klappes materiale fra Lynetteholm perimeteren.

## 4 Turbiditetsmålinger

De til projektet indkøbte nye turbiditetsmålere blev udlagt den 27. februar og optaget igen i begyndelsen af april efter klapsæsonens afslutning. På de tre svenske stationer er der udlagt målere i niveauerne 1 m og 3 m over havbund, mens de to danske stationer har en måler 1 m over havbundsniveau. I forhold til tidligere er den svenske station SE-Midt rykket lidt mod øst ind i svensk farvand. Turbiditetsstationernes udlægningspositioner er vist i Figur 38 og angivet med koordinater i Tabel 4. Den tidligere SE02-Midt udlægningsposition (SE02-Midt-Alt) er ligeledes indikeret på kortet.



Figur 38 Turbiditetsstationernes udlægningspositioner.

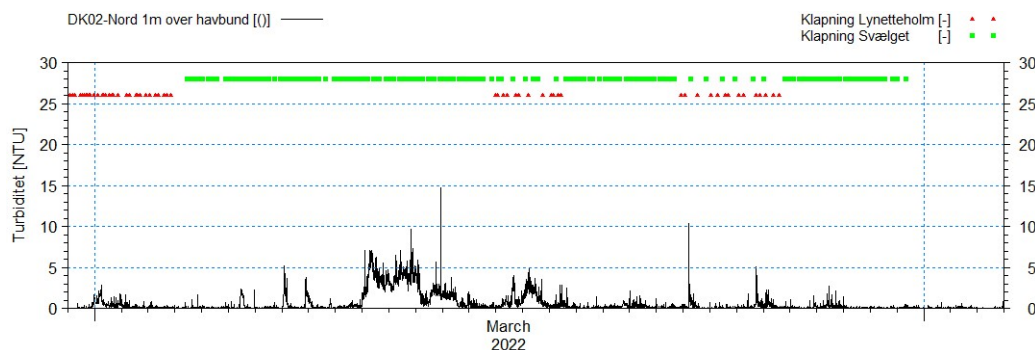


Tabel 4 Turbiditetsstationernes placering.

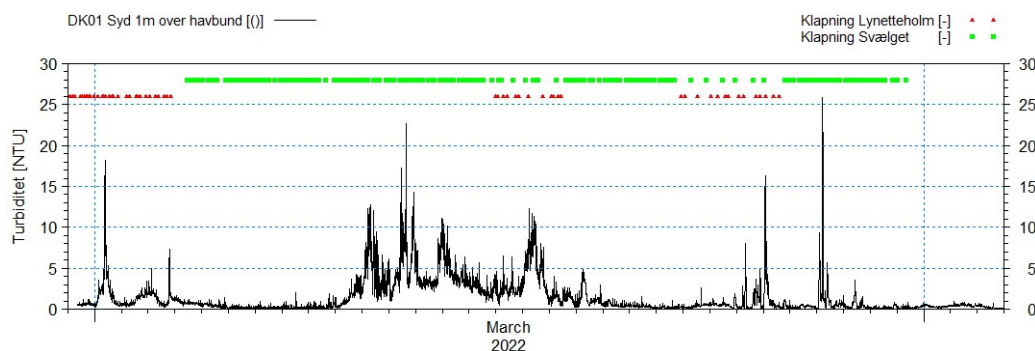
Stationsnavn	Længdegrad	Breddegrad	Vanddybde [m]	Niveau over havbund [m]
DK01-Syd	12,55638	55,44524	15	1
DK02-Nord	12,64769	55,47391	11	1
SE01-Syd	12,721424	55,380833	10,4	1 og 3
SE02-Midt	12,62392	55,43302	11	1 og 3
SE03-Nord	12,739474	55,458061	10,5	1 og 3

Ingen af stationerne har online adgang, så det er ikke muligt at kontrollere måledata før efter optagning af instrumenterne. I forbindelse med aftapningen af data kunne det konstateres, at der grundet en softwarefejl i turbiditetsmåleren ved den nordlige svenske station SE-Nord, ikke er blevet registreret turbiditet. Ved den svenske station SE-Midt er der på grund af et batterisvigt kun registreret turbiditet frem til d. 19. marts. På de øvrige stationer er der registreret turbiditet i hele perioden.

I Figur 39 er den registrerede turbiditet ved den danske station nordøst for klapplassen vist. Det ses, at der gennem hele perioden kun er registreret relativt lave niveauer. På baggrund af vandprøver taget i forbindelse med klapping, kan den registrerede turbiditet omsættes til en sedimentkoncentration i mg/l ved at skalere med en faktor 1,3. Omsætningsfaktoren på 1,3 er fundet med udgangspunkt i den i Figur 51 fundne relation.

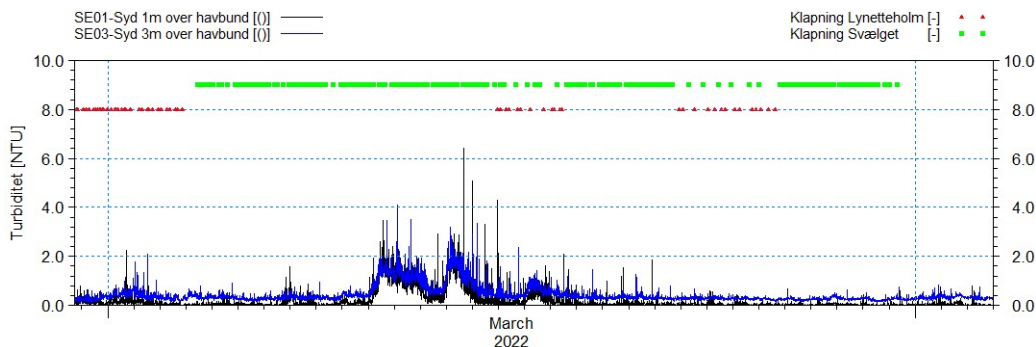


Figur 39 Målt turbiditet 1 m over havbund ved den nordlige danske station DK02-Nord.



Figur 40 Målt turbiditet 1 m over havbund ved den sydlige danske station DK01-Syd.

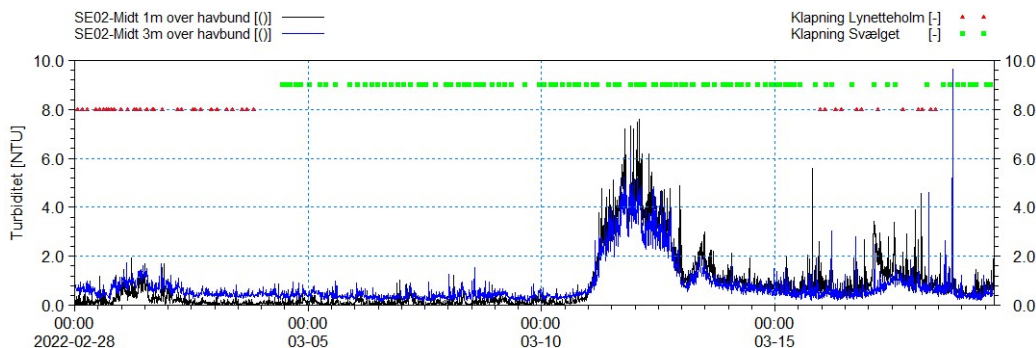
I Figur 40 er den målte turbiditet 1 m over havbundsniveau plottet. I dette område er der registreret en lidt højere turbiditet, men overordnet set er niveauerne lave. I plottene er det ligeledes angivet, hvornår der klappes og hvorfra klapmaterialet har sit ophav.



Figur 41 Målt turbiditet i niveauerne 1 m og 3 m over havbund ved den sydlige svenske station SE01-Syd.

I Figur 41 er turbiditeten ved den sydlige svenske station SE01-Syd plottet. Det ses, at perioderne med forøget turbiditetsniveau er sammenfaldende for alle stationer og dermed ikke kan forklares som spredning af klapmateriale eftersom at stationerne er placeret både opstrøms, øst for og nedstrøms for klapområdet. Det øgede turbiditetsniveau kan i stedet forklares med, at der er en markant vedvarende afstrømning fra Østersøen i perioden 11-15. marts, jf. bundstrømhastigheden i Figur 8 og strømretningen i Figur 10. Den vedvarende afstrømning indikerer, at der var en betydende påvirkning af vind i perioden og dermed også en påvirkning af bølger, som kan stimulere re-suspension af materiale på lavere vand. Ydermere bemærkes det, at turbiditetsniveauerne ved DK01-Syd er højere end ved DK02-Nord på trods af, at den i denne periode er beliggende opstrøms klappladsen. Udslagene i turbiditet må derfor relatere til en general mobilisering af havbundssedimenter. Endelig bliver der kun klappet materialer fra Svælget i perioden med forhøjet turbiditetsniveau og dette materiale indeholder meget lidt finkornet sediment.

I Figur 42 er de målte turbiditetsniveauer ved den svenske station SE02-Midt vist for niveauer 1 m og 3 m over havbund frem til den 19. marts, hvor batteriet løb tør for strøm. Den station har også en forhøjet turbiditet i perioden 11-13. marts, hvor der var meget vind.



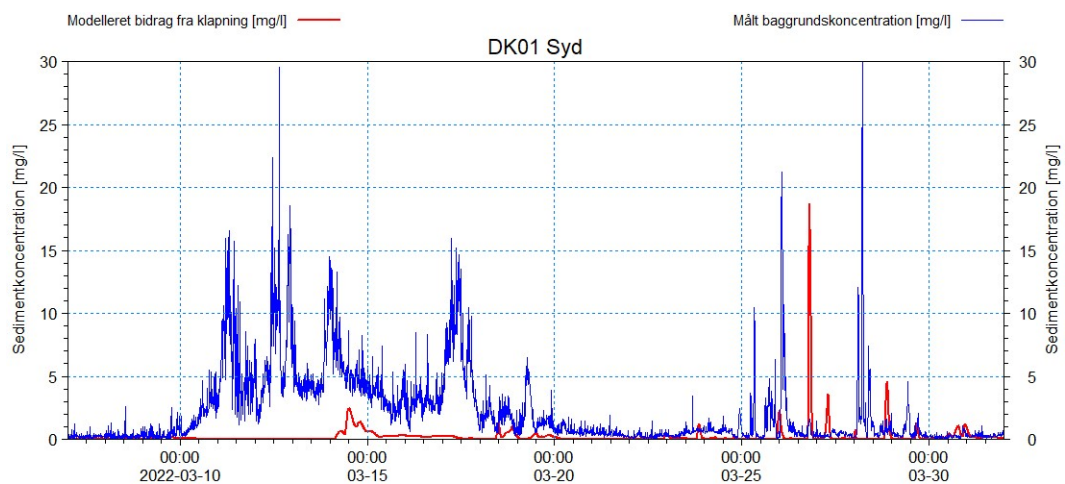
Figur 42 Målt turbiditet i niveauerne 1m og 3m over havbund ved den midterste svenske station SE02-Midt.

## 5 Sammenligning af målte og modellerede koncentrationer

De ovenfor præsenterede turbiditetsmålinger kan omsættes til en sedimentkoncentration i mg/l ved at skalere den fundne turbiditet med en faktor 1,3. Turbiditetsstationerne måler overvejende baggrundskoncentrationen, men vil også måle bidrag fra klapplassen, når disse bidrager til koncentrationen ved den pågældende station.

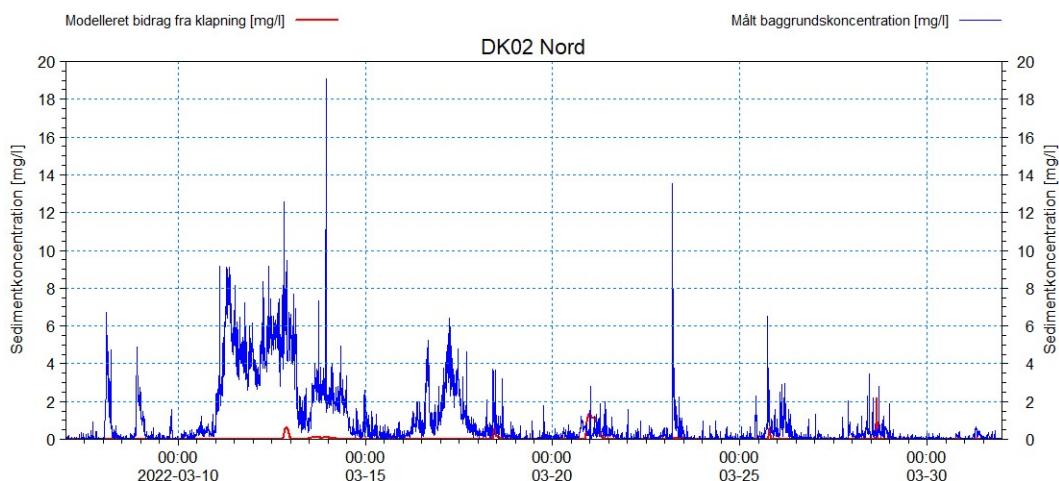
Det er tydeligt, at baggrundskoncentrationen er kraftigt påvirket af vindholdene og dermed om der er bølgepåvirkning inde på mere lavvandede områder, som fører til re-suspension af materiale. Materiale som efterfølgende føres med havstrømmene til andre områder. En nem måde at identificere, hvornår vinden spiller en større rolle, er eksempelvis ved at gå ind og se på hvordan dagsprisen på strøm varierer. Det er på baggrund af strømprisen i dagene 11-13. marts let at se, at der i disse dage var meget vind, og at det er den bagvedliggende årsag til de observerede øgede baggrundsniveauer i turbiditet.

En sammenligning af den målte baggrundskoncentration og det modellerede bidrag fra klappning 1 m over havbunds niveau er vist i Figur 43 for station DK01 Syd beliggende sydvest for klapplassen. Det fremgår med al tydelighed af plottet, at baggrundskoncentrationen er dikteret af vindforholdene og kun i beskedent omfang af bidrag fra klappingerne. Den 27. marts er der et udslag i den modellerede sedimentkoncentration, som relaterer til en re-suspensionshændelse og indstrømning til Østersøen. Sammenligningen med strømmålingerne ved Drogden viser, at modellen overshooter strømhastigheden under denne hændelse og dermed også bundforskydningsspændingen der er styrende for omfanget af re-suspension af materiale på klapplassen. Dette forklarer, at man i Figur 43 kortvarigt ser en større koncentration end den målte baggrundskoncentration. Sagt mere simpelt, så er modellens sedimentspredning som skabes af re-suspenderet materiale overvurderet for denne hændelse i modellen.



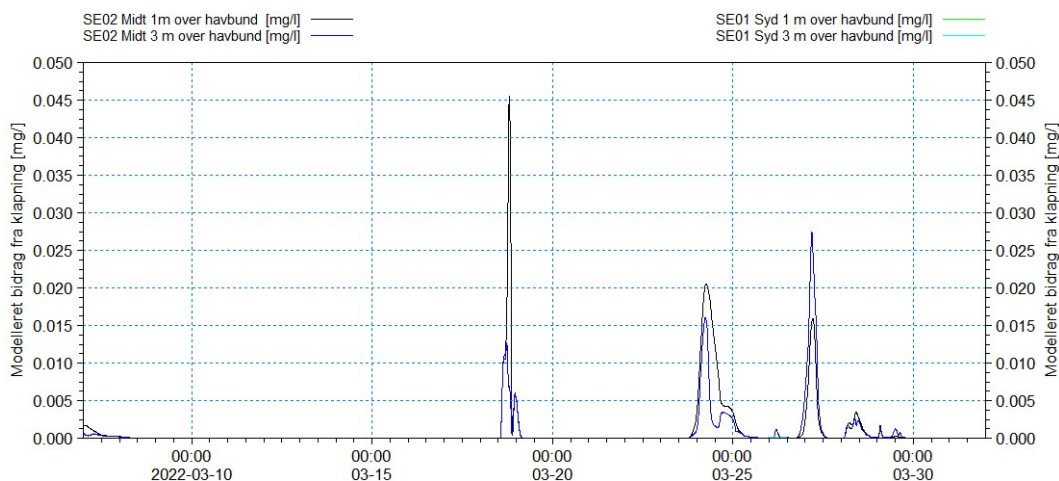
Figur 43 Sammenligning af målt baggrundskoncentration og modelleret bidrag fra klappning 1 m over havbunds niveau ved DK01 Syd.

Tilsvarende er der i Figur 44 lavet en sammenligning af den målte baggrundskoncentration og det modellerede bidrag fra klappning 1 m over havbunds niveau ved DK02 Nord beliggende nordøst for klapplassen. Det er primært i forbindelse med selve klappingerne, at der sker spredning i retning mod nordøst. Re-suspension af klapmateriale vil primært finde sted i forbindelse med hændelser med kraftig indstrømning til Østersøen. Plottet viser igen med al tydelighed at baggrundskoncentrationen i høj grad er bestemt af vindforholdene. Bidraget fra klappning er meget begrænset, men kan dog identificeres i plottet.



Figur 44 Sammenligning af målt baggrundskoncentration og modelleret bidrag fra klapping 1 m over havbunds niveau ved DK02 Nord.

Ved de svenske stationer er bidraget fra klappingerne yderst begrænsede, da de ikke påvirkes direkte af det vand som gennemstrømmer klappadsområdet. I Figur 45 er der derfor kun plottet modellerede sedimentkoncentrationer af bidraget fra klapping i niveauerne 1 m og 3 m over havbunds niveau ved de to stationer SE01 Syd og SE02 Midt, idet de ikke ville være synlige, hvis de blev plottet sammen med de målte baggrundskoncentrationer. Det ses af plottet, at koncentrationsbidraget fra klapping ikke er i nærheden af at overstige 1 mg/l (største værdi er 0,045 mg/l). Det kan derfor konstateres, at de indtil videre udførte klappinger kun påvirker helt lokalt omkring selve klappadsområdet, idet bidraget fra det klappede materiale er lille i forhold til de naturligt forekommende sedimentkoncentrationer.



Figur 45 Modellerede sedimentkoncentration af bidraget fra klapping ved de svenske stationer SE01 Syd og SE02 Midt.

## 6 Transektmåling af sedimentflux og klaptab

Der er i hindcast perioden foretaget transektmålinger ved klappads B på en enkelt dag (Tabel 5).

Tabel 5 Datoer i hindcast perioden, hvor der blev foretaget transektmålinger.

Dato	Lokation
22/03/2022	Klapplads B

Målingerne er foretaget fra et mindre skib med påmonteret udstyr:

- GPS modtager. Denne holder styr på skibets position med høj frekvens
- 600 kHz WorkHorse ADCP. Instrumentet måler strømhastighed og -retning i kasser ned gennem vandsøjlen – målingerne korrigeres for skibets bevægelser. Derudover måler instrumentet en intensitet af stof i vandsøjlen. Denne intensitet kan ikke umiddelbart omsættes til sedimentkoncentration, men benyttes til at lokalisere sedimentforekomster i vandet.
- Sea & Sun CTD 75M. Instrumentet er en håndholdt profilmåler, der måler bl.a. dybde, temperatur, salinitet og turbiditet med 10 Hz. Instrumentet benyttes til at måle den reelle sedimentkoncentration i enheden NTU. NTU-værdierne er omsat til sedimentkoncentrationer i mg/l vha. af udtagne vandprøver. Disse plottes mod samtidige NTU-værdier fra måleinstrumentet. Der laves således en omsætningsfunktion som er baseret på 41 vandprøver udtaget over mange måledage. Den samlede omsætning er vist i Figur 51.

Når klapoperationen starter, sejler skibet transekter 200m nedstrøms for klapfartøjet samt på kanten af klapområdet. Skibet logger løbende strøminformation og tager med mellemrum turbiditetsprofiler med profilmåleren. Dette foregår over længere tid og slutter når klapfanen ikke længere er målbar. Når målingen er afsluttet, processeres resultaterne. Processeringen indeholder følgende trin:

- Indlæsning af alle transekter fra ADCP og alle profiler fra Sea & Sun.
- Indlæsning af GPS-data fra grave- og klapfartøjerne
- Automatisk overlejring af profiler på transekter
- Projicering af transekter til vinkelret på strømrretningen
- Beregning af strøm
- Interpolation af sedimentprofiler
- Beregning af sedimentflux

## 6.1 Fluxmålinger ved Klapplads B

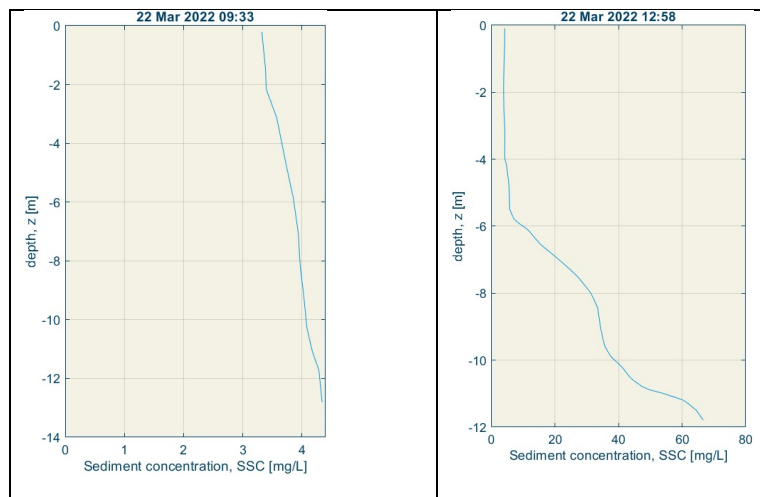
I forbindelse med klappingerne udledes på baggrund af målingerne en række sedimentfluxe ud af klappladsområdet. Disse fluxe har enheden t/h. For at opnå en endelig sedimentflux i tons er det vurderet, at tiden der går fra en klapping er foretaget, til transporten ud af området er afsluttet, er en time.

Tabel 6 Oversigt over målinger ved klapplads B i rapportperioden.

Dato	Område	Fartøj	Klapvolumen [m <sup>3</sup> ]	Klapmasse [tons]	Ophavsområde
22/03/2022	Klapplads B	Helge R	840	1420	Svælget
22/03/2022	Klapplads B	Roar R	801	1430	Svælget

Den generelle observation er, at klappanen stort set er væk inden der er gået en time fra klaptidspunktet. Enkelte gange, når materialet var fra Lynetteholm perimenteren, har det dog varet op mod to timer.

Sedimentkoncentrationerne på kanten af klappområdet ligger generelt omkring 15-25 mg/l i langt størstedelen af tiden. Der ses dog kort efter klapningen koncentrationer på op til ca. 100 mg/l tæt ved bunden (Figur 46). Disse niveauer afhænger ikke kun af hvor meget finkornet materiale der er indeholdt i klappmaterialet, men også af hvor stor afstand der er i nedstrøms retning til afgrænsningen af klappområde.



Figur 46 To eksempler på sedimentkoncentrationsprofiler målt under klappoperationerne. Koncentrationer over 100 mg/l er kun observeret i få tilfælde. Bemærk forskellig skala på x-akserne, tid i UTC.

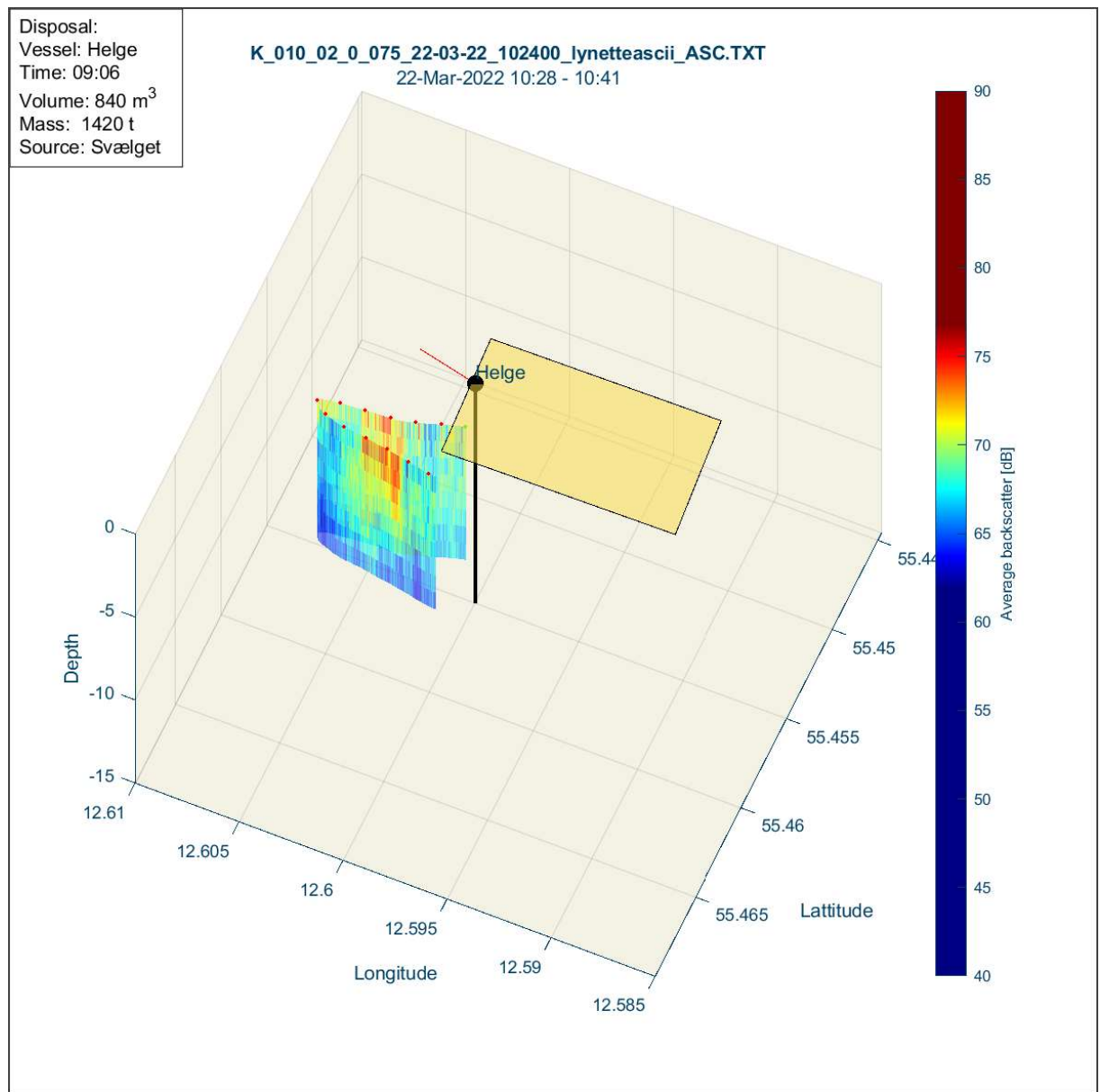
Tabel 7 Oversigt over resultater af transektmålinger ved klappområde B i modelperioden.

Dato	Område	Strømhastighed	Strømretning	Tab [t]	Tab [%]
22/03/2022	Klappområde B	0,11 m/s	102°	26,1	1,8
22/03/2022	Klappområde B	0,10 m/s	168°	16,9	1,2

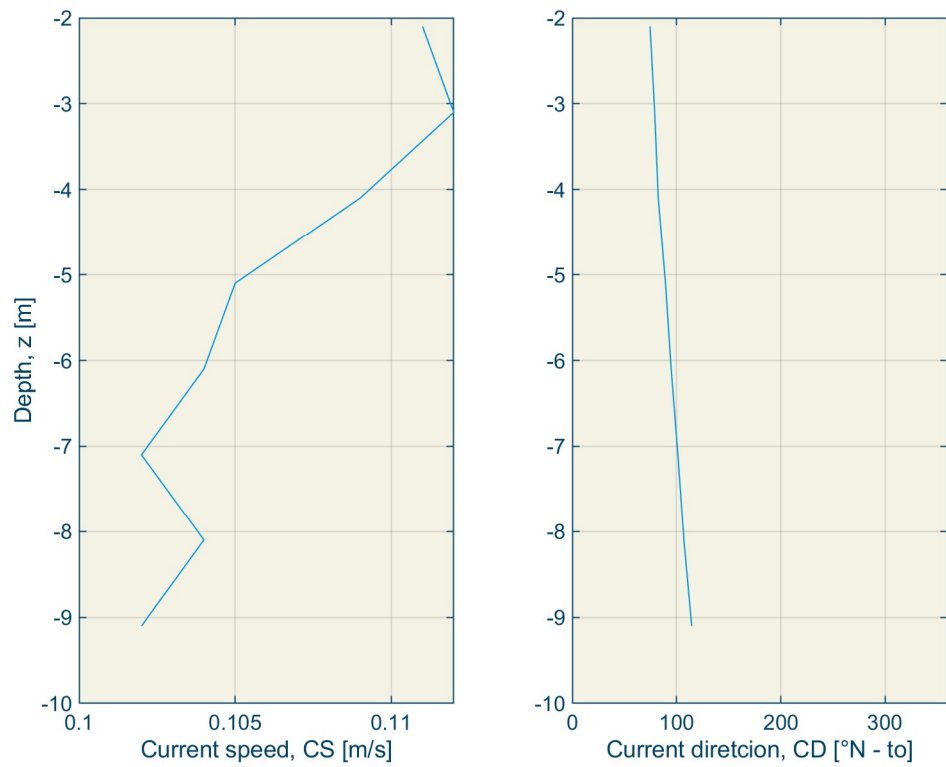
Der integreres i tid og rum, vha. backscatter-signalet fra ADCPen, hvor der ganges vektorielt med strømhastighed og retning, således at tabet fra klappområdet kan udregnes. Tabet er fundet til 1,8% for første klappning og 1,2% for anden klappning (Tabel 7). Variationen afhænger af mange faktorer, herunder materialets beskaffenhed, strømhastigheden og klappingens afstand fra nedstrøms grænse. Med den nuværende klapppraksis er hvert klappartøj tildelt et sektorområde på klappområdet. Specifikt kan det siges at strømhastigheden var meget lav på måledagen og at spredningen derfor bliver lille. Klapppraksis udnytter derfor ikke den fordel, der kan være ved altid at klippe opstrøms, således at klappanen føres igennem en så stor del af klappområdet som muligt.

Endelig skal det bemærkes, at de målte sedimenttab er mindre end det i det i MKR-sammenhæng modellerede og vurderede sedimenttab, hvilket indikerer at en større del af klappmaterialet falder til bunden som klumper. En differensbatymetri beregnet på baggrund af batymetrien fra før klappingerne påbegyndtes og umiddelbart efter klappens ophør, er endnu ikke klar, men vil kunne give en anden form for identifikation af, hvor stort det reelle sedimenttab er. En sådan beregning vil dog også være behæftet med en usikkerhed, da der kan være forskel på tørdensiteten (volumenet) under transport i pram og ved aflejring på bund.

I de følgende figurer er der vist en række eksempler på transektmålinger og måleprofiler.

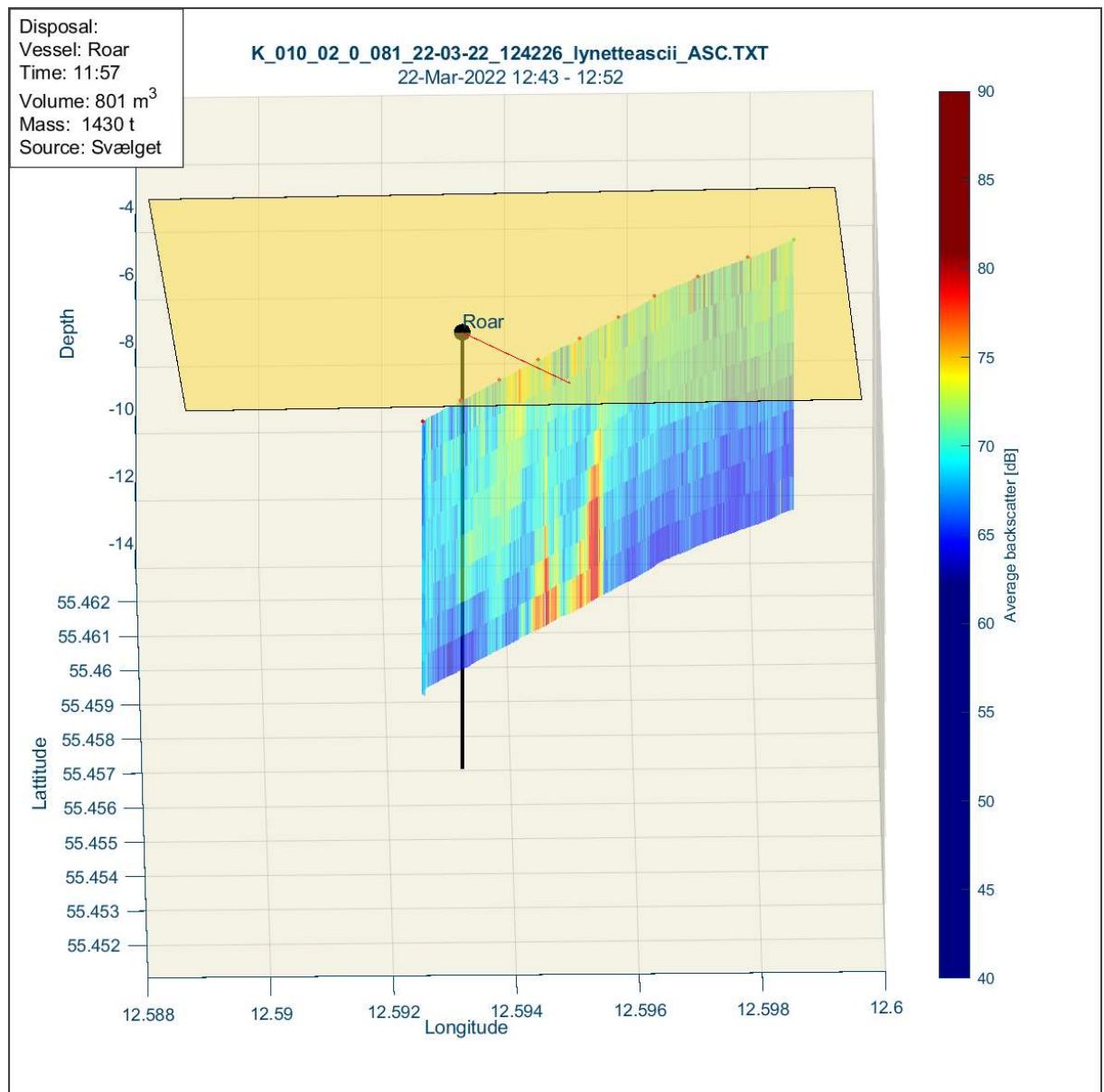


Figur 47 Eksempel på måletransekt fra klapplads B 22-03-2022. Klapmateriale fra Svælget. Den sorte prik/linje viser klapfartøjets position ved klapningen. Den røde streg viser strømretningen og gule felt viser klapområdet. Den farvede fane viser backscattermålingen fra ADCP-instrumentet med røde prikker som minutter fra start.

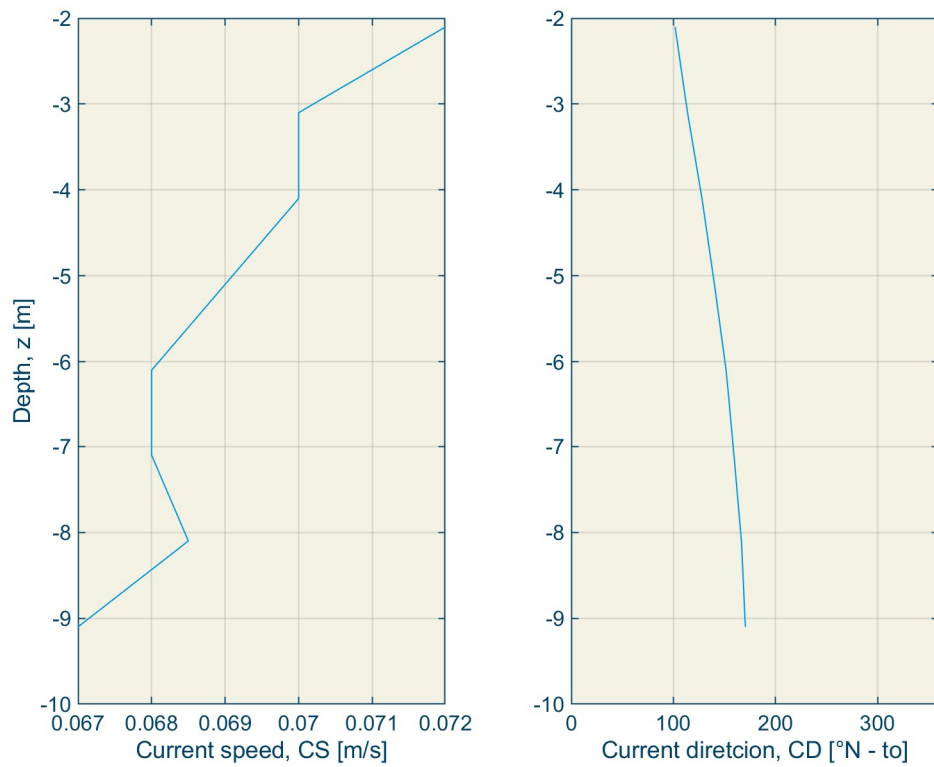


Figur 48 Strømhastighed og retning målt fra skibet ved klappads B 22-03-2022 10:28 (UTC)

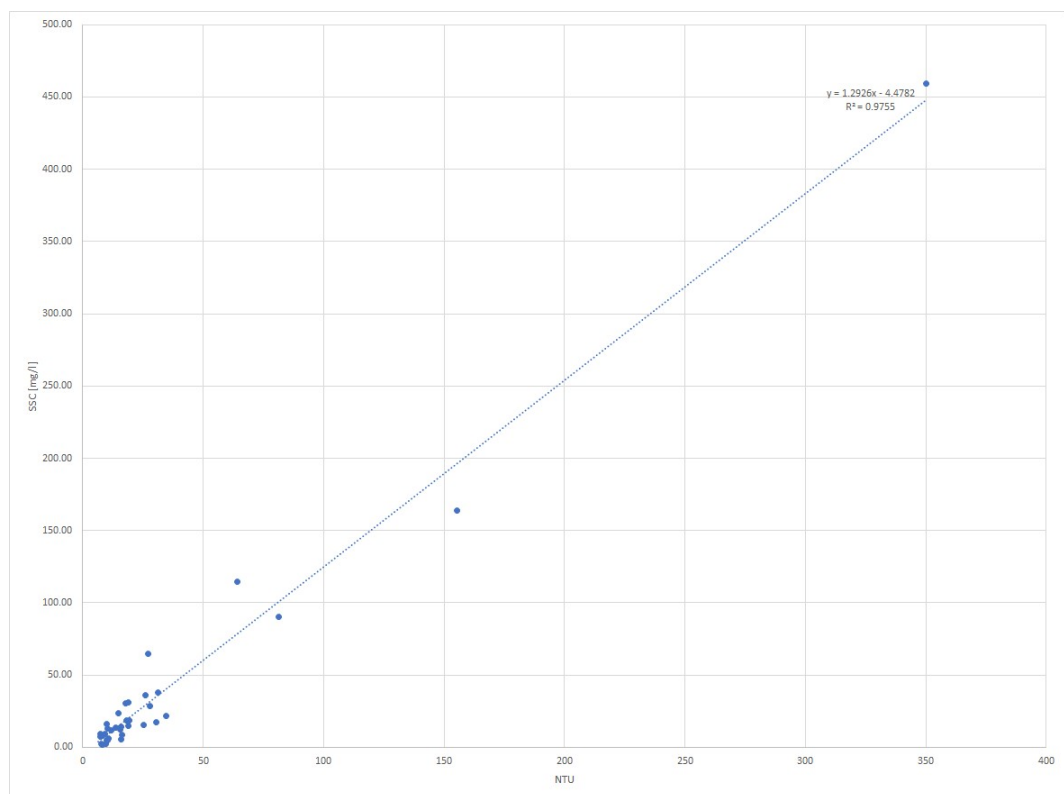




Figur 49 Eksempel på måletransekt fra klapplass B 22-03-2022. Klappmateriale fra Svælget. Den sorte prik/linje viser klappfartøjets position ved klappningen. Den røde streg viser strømretningen og gule felt viser klappområdet. Den farvede fane viser backscattermålingen fra ADCP-instrumentet med røde prikker som minutter fra start.



Figur 50 Strømhastighed og retning målt fra skibet ved klappads B 05-03-2022 14:19 (UTC).'



Figur 51 Omsætning mellem NTU som målt fra profilmåleren til sedimentkoncentration via vandprøver.