

Lynetteholm Turbidity Management Hindcast Rapport

Hindcast periode: 2022-02-07 – 2022-03-06

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:	2022-04-01
Emne:	Turbidity Management Hindcast
Revision:	0

1 Resumé

Der er udført hindcast modellering med henblik på at dokumentere spredningen af de udførte klåpninger. Denne hindcast rapport dækker perioden 7. februar 2022 til 6. marts 2022 og omfatter dermed klåpning 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 5. marts 2022 også er indeholdt.

Mængder og tørstofmasse i modelleringen er opgjort på baggrund af de modtagne klåplogge fra de enkelte splitpramme. Klåpvolumenerne 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/m³ og vandet i lasten en densitet på 1.020 kg/m³. I opgørelserne fra Lynetteholm perimeteren er der flere eksempler på at klåpmassen i klåploggen er overvurderet, idet der i flere af opgørelserne er fundet et tørstofindhold større end 65%. I enkelte tilfælde er der fundet et tørstofindhold på 100% svarende til at der intet vandindhold er i lasten. De i Tabel 1 og Tabel 2 angivne tørstoffmasser er opgjort på baggrund af de modtagne klåplogge, mens Tabel 3 indeholder en korrigeret opgørelse. I den korrigerede opgørelse er klåpningsmængder korrigeret ned til lastkapaciteten, hvis de overstiger den oplyste lastkapacitet for den enkelt splitpram. Ligeledes er den angivne klåpmasse nedjusteret, hvis den beregnede tørstoffprocent overstiger 65%. I disse tilfælde er nedjusteringen foretaget, så klåpmassen afspejler et tørstofindhold på 65%.

Tabel 1 Klåpmængder i hindcast periode (7. februar – 6. marts 2022).

Ophavsområde	Klåpvolumen [m ³]	Tørstoffmasse [tons]
Svælget	49.842	63.852
Lynetteholm perimeter	50.941	67.995
Samlet	100.783	131.847

Tabel 2 Samlede klåpmængder frem til d. 6. marts 2022.

Ophavsområde	Klåpvolumen [m ³]	Tørstoffmasse [tons]
Svælget	107.922	141.152
Lynetteholm perimeter	50.941	67.995
Samlet	158.863	209.147

Tabel 3 Korrigerede klåpmængder i hindcast periode (7. februar – 6. marts 2022).

Ophavsområde	Klåpvolumen [m ³]	Tørstoffmasse [tons]
Svælget	49.842	63.020
Lynetteholm perimeter	50.701	63.690
Samlet	100.543	126.710

Klapmaterialet i denne hindcast periode stammer fra både uddybning af sejlrenden ved Svælget og opgravet materiale fra Lynetteholm perimeteren. Det opgravede materiale fra Svælget indeholder hovedsagelig sten, klakflager og sand. Finkornet sediment som potentielt kan spredes væk fra klappladsen, udgør som det fremgår af Tabel 4 kun en meget beskedent del af klapmaterialet. 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 kornkurve informationer fra de geotekniske borer, er der estimeret en materialesammensætning for hver klapplast. Dette er afspejlet i Tabel 4, hvor materialesammensætningen er angivet med en række intervaller, fremfor de faste værdier, som der benyttes i forecast sammenhæng.

Tabel 4 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 – 19 %	0,0 – 10 %	1,0 – 28 %	58 – 92 %

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

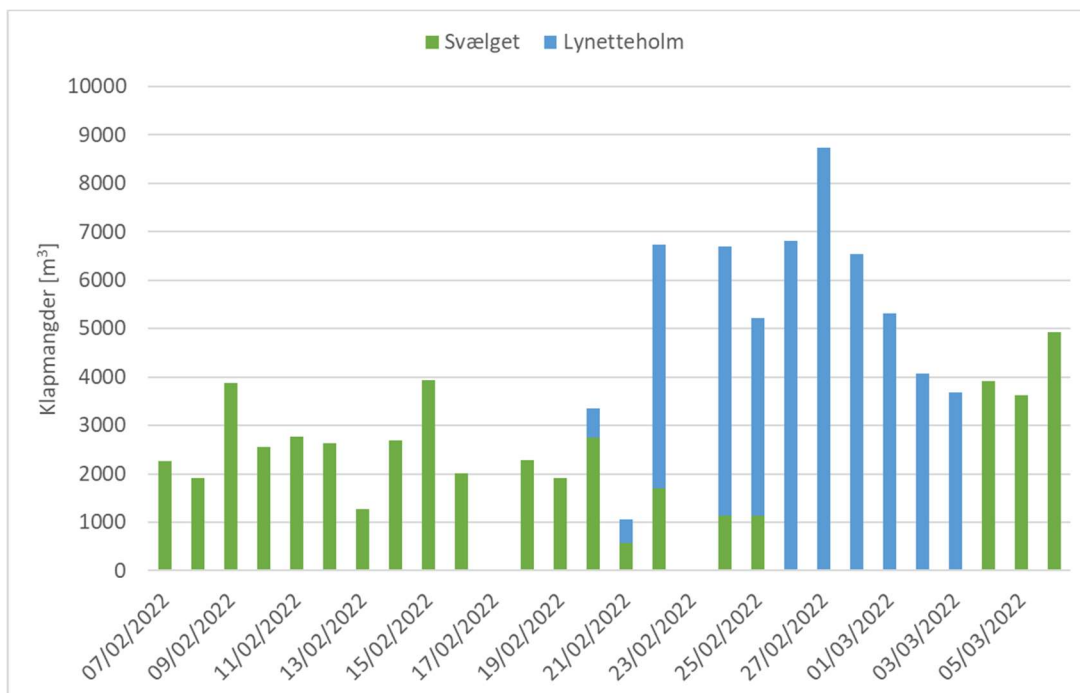
Klapning:

- Bjarke R split pram med 1239 m³ lastkapacitet
- Roar R split pram med 950 m³ lastkapacitet
- Munin R med 778 m³ lastkapacitet
- Helge R med 950 m³ lastkapacitet
- Rimfaxe som trækker en pram

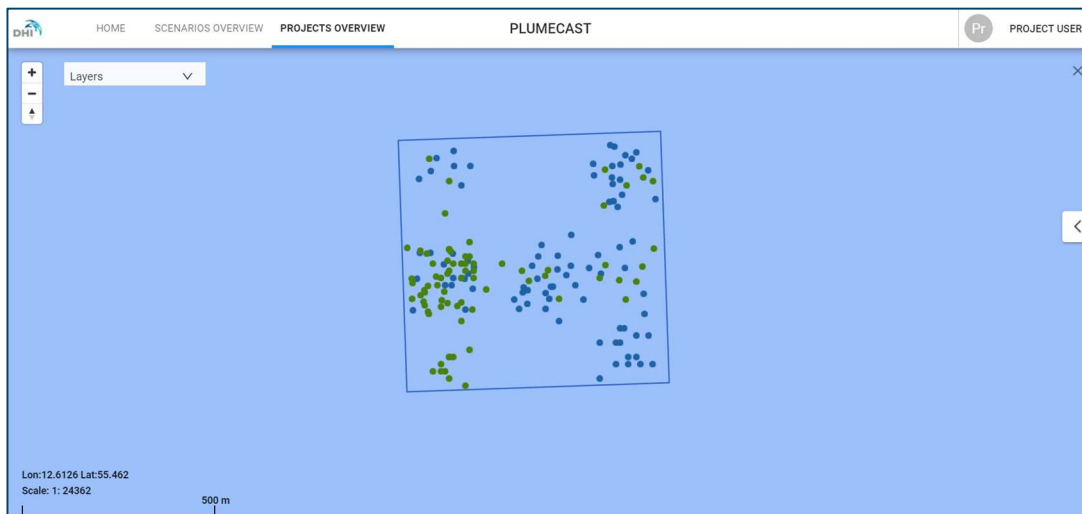
Generelt lastes prammene med en mindre last end den ovenfor opgivne kapacitet.

I Figur 1 er de samlede daglige klapmængder fra både Svælget og Lynetteholm perimeter vist.

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



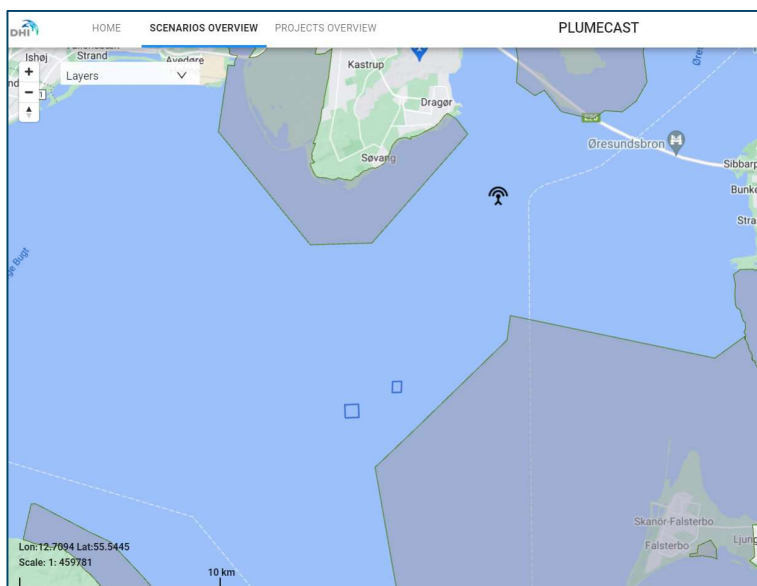
Figur 1 Oversigt over daglige klapmængder i hindcast perioden. Grøn: Svælget, Blå: Lynetteholm.



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

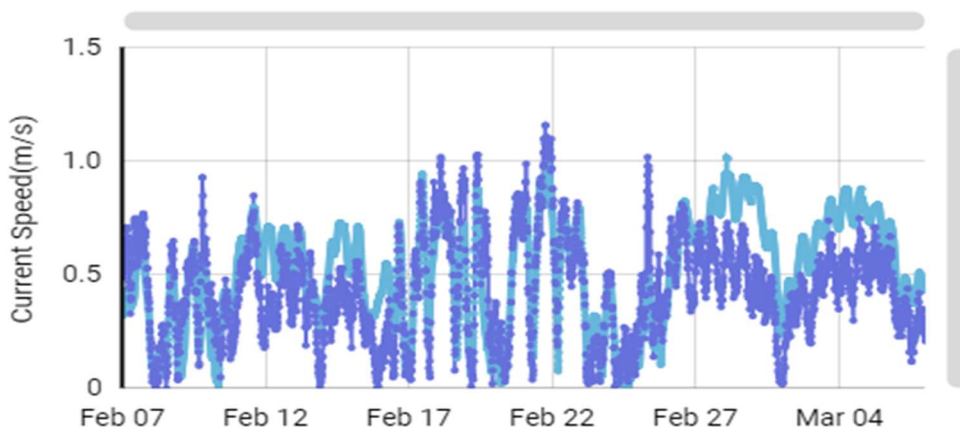
2.1 HD-model evaluering

En forudsætning for at sedimentspredningen kan beskrives kvalitativt korrekt, er at strømforholdene ved klappladsområdet 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.

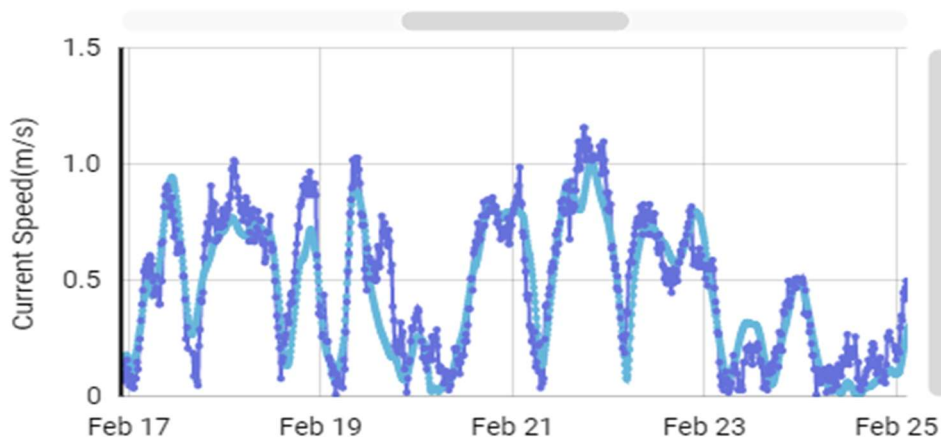


Figur 3 Positionen af strømmåleren ved Drogden Fyr (sort markør).

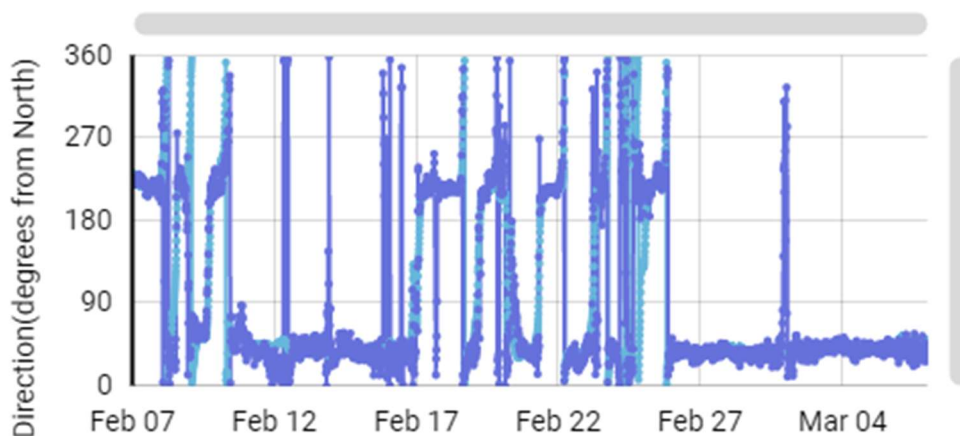
En sammenligning af målte og modellerede strømshastigheder tæt på vandoverfladen i hele hindcast perioden (7. februar – 6. marts) er vist i Figur 4. Den fuldt optrukne petroleumsblå kurve viser den modellerede strøm, mens den stiplede lilla kurve viser den målte strøm. Figur 5 viser et udsnit af Figur 4 i den uge, hvor de højeste strømshastigheder forekommer. Det ses, at der generelt er en meget fin overensstemmelse mellem målte og modellerede strømshastigheder på den givne lokalitet. I den sidste del af hindcast perioden er der dog en tendens til at modellen overestimerer overfladestrømmen og dermed spredningen til det nordlige Øresund. Figur 6 viser en sammenligning mellem målte og modellerede strømretninger tæt på vandoverfladen. Som for strømshastigheder, ses der at være en fin overensstemmelse mellem målinger og model.



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

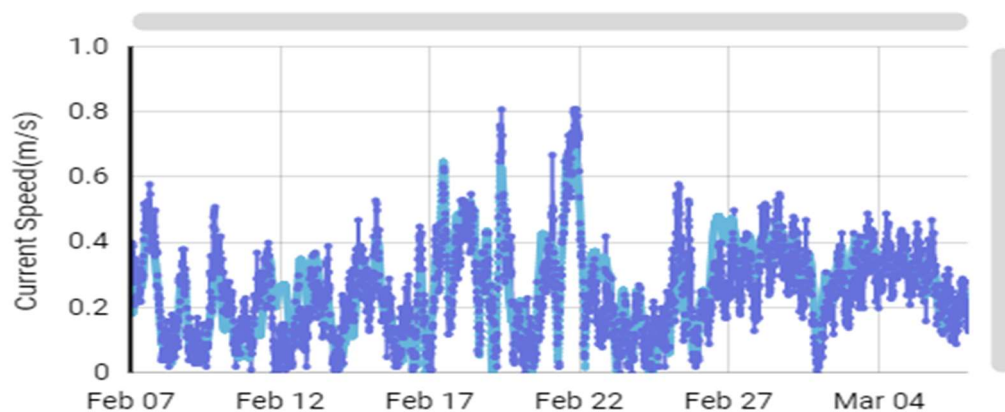


Figur 5 Strømhastighed tæt på havoverfladen ved Drogden Fyr. Petroleumsblå: Model, Lilla: Målinger – eksempel periode 17. februar – 24. februar.

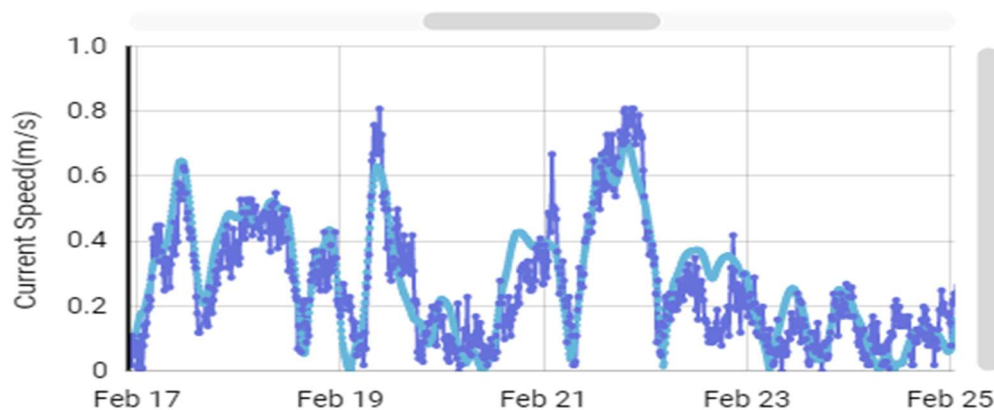


Figur 6 Strømrøtninger tæt på havoverfladen ved Drogden Fyr. Petroleumsblå: Model, Lilla: Målinger.

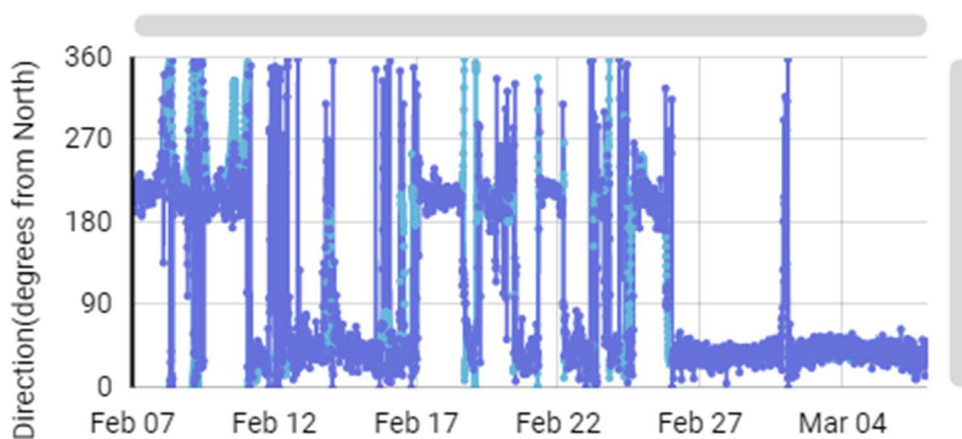
En tilsvarende sammenligning af målte og modellerede strømhastigheder tæt på havbunden er vist i Figur 7 for hele hindcast perioden. Den fuldt optrukne petroleumsblå kurve viser den modellerede strøm, mens den stiplede lilla kurve viser den målte strøm. Figur 8 viser et udsnit af Figur 7 i den uge i løbet af hindcast perioden, hvor de højeste strømhastigheder optræder. Det ses, ligesom for overfladestrømmen, at der er en meget fin overensstemmelse mellem målte og modellerede strømhastigheder på den givne lokalitet. Figur 9 viser en sammenligning mellem målte og modellerede strømrøtninger 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.



Figur 7 Strømhastighed tæt på havbunden ved Drogden Fyr. Petroleumsblå: Model, Lilla: Målinger.



Figur 8 Strømhastighed tæt på havbunden ved Drogden Fyr. Petroleumsblå: Model, Lilla: Målinger: Målinger – eksempel periode 17. februar – 24. februar.



Figur 9 Strømretninger tæt på havbunden ved Drogden Fyr. Petroleumsblå: Model, Lilla: Målinger.

3 Hindcast resultater

I dette afsnit er den modellerede påvirkning af de faktisk udførte klapninger vurderet. Ligeledes er bundstrømforholdene ved klapplassen analyseret, da denne har betydning for spredningen i forbindelse med klapning og endnu vigtigere, betydning for en eventuel re-suspension af klappmaterialet. Evalueringen af påvirkningen forholder sig til skyggevirkingseffekter med udgangspunkt i kumuleret varighed af dybdemidlede sedimentkoncentrationer større end henholdsvis 2 mg/l og 5 mg/l. 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 klapplass

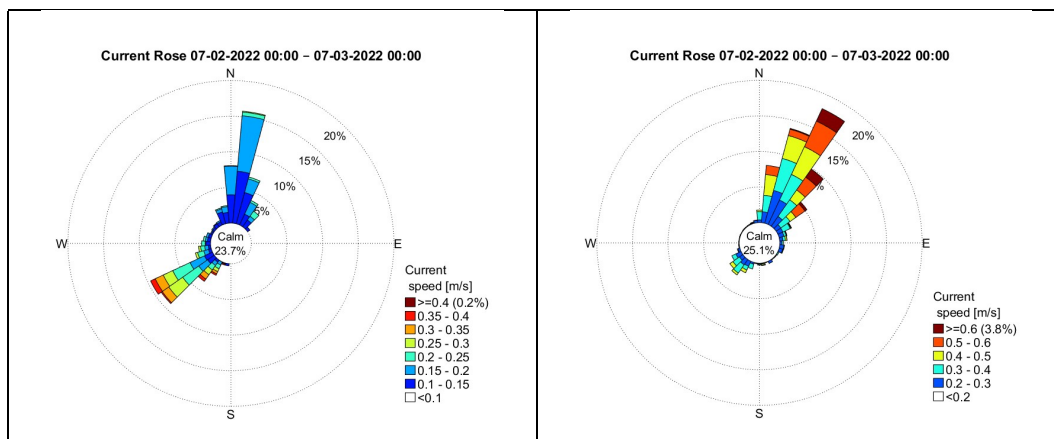
Strømforholdene nær ved havbunden har betydning for, hvordan materialet i de enkelte klapninger spredes, men i endnu højere grad betydning for, hvornår tidligere klappet materiale vil blive re-suspenderet og potentielt blive spredt væk fra klapplassområdet. Hvis klappmaterialet er af samme beskaffenhed 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 klapninger.

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 dette studie må formodes at være overvurderet.

Strømforhold ved klapplassen:

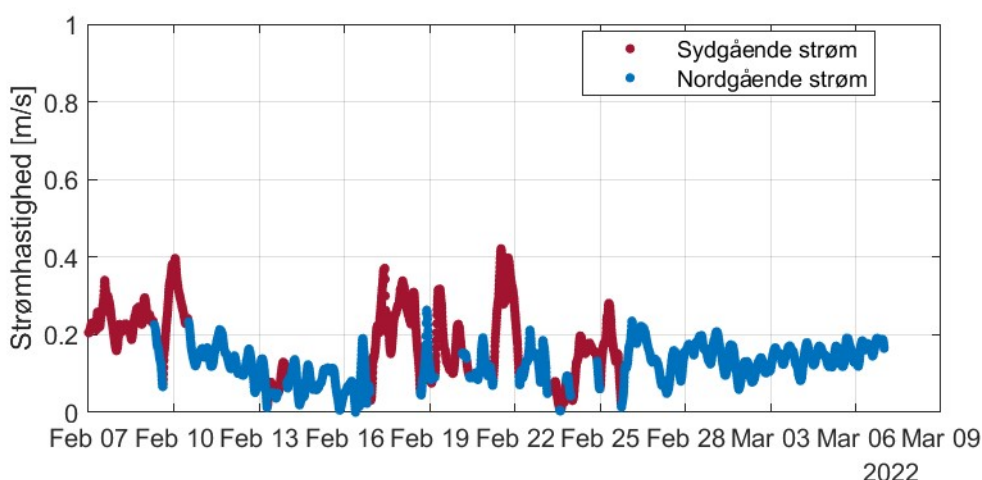
Strømforholdene ved klapplassen varierer over tid. Nær ved havbunden er der to hovedstrømretninger; sydvest og nordnordøst. De kraftigste bundstrømme er sydvestgående og ligeledes er det også sydvestgående bundstrøm der optræder mest hyppigt i vinterhalvåret. I denne hindcast periode viser strømrøsen at hyppigheden af sydvestgående bundstrøm er omtrent den samme som for den nordnordøstgående bundstrøm. Ved havoverfladen er overfladestrømmen domineret af nordnordøstgående strømme, som følge af nettoafstrømningen af brakvand fra Østersøen. Vindens påvirkning indebærer, at overfladestrømmens retning varierer mere end bundstrømmen, der primært er styret af landenes topografi. I Figur 10 er der vist strømrøser ved klapplassen 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 perioder høje strømhastigheder som i hindcast perioden stort set kun er i nordgående retning (nordnordøst). 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.

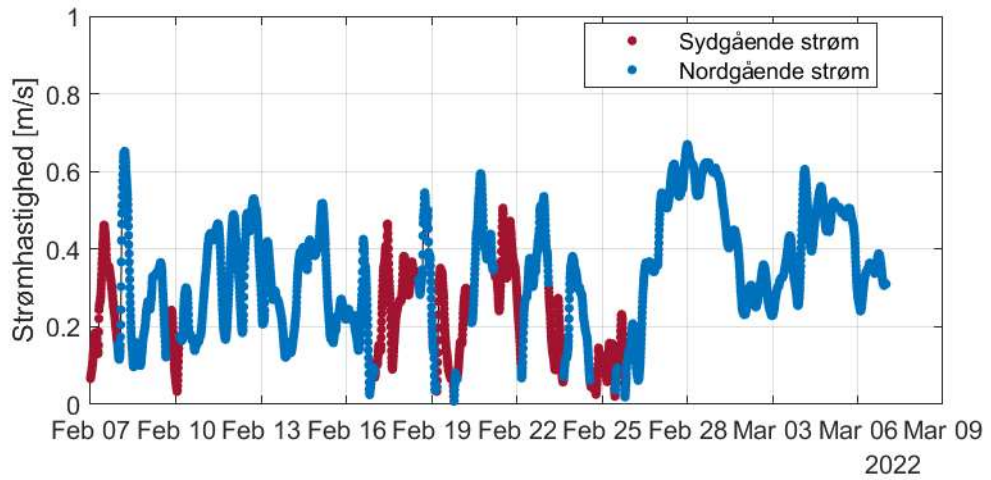


Figur 10 Venstre: Rose plot for bundstrøm 2 meter over havbund ved klappblads. Højre: Rose plot for overfladestrøm ved klappblads.

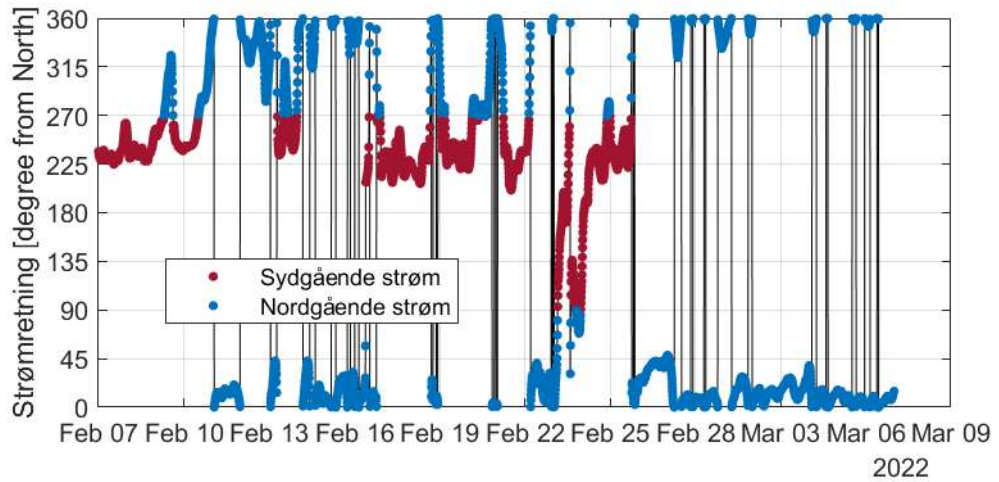
I Figur 11 og Figur 12 er der vist tidsserier af strømhastigheder 2 meter over havbunds niveau og ved vandoverfladen. Det ses, at der i perioder med lagdelt strømning er modsat rettet strømning ved havbund og vandoverflade. Den røde del af kurven indikerer forhold med sydgående strøm, mens den blå kurve indikerer forhold med nordgående strøm. Tilhørende tidsserier for strømretninger i de to niveauer er vist i Figur 13 og Figur 14. 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.



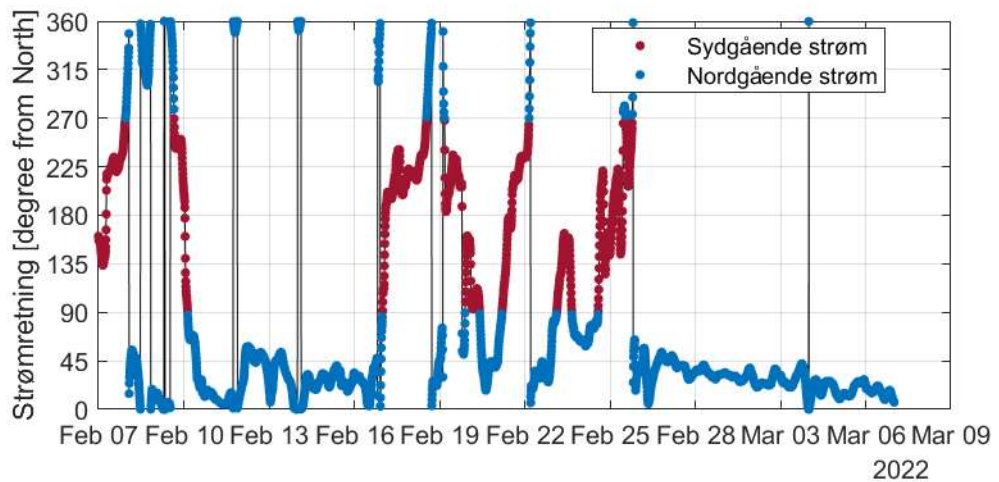
Figur 11 Bundstrømhastigheder 2 meter over havbund ved klappblads.



Figur 12 Overfladestrømhastigheder ved klappads.



Figur 13 Bundstrømretninger 2 meter over havbund ved klappads.



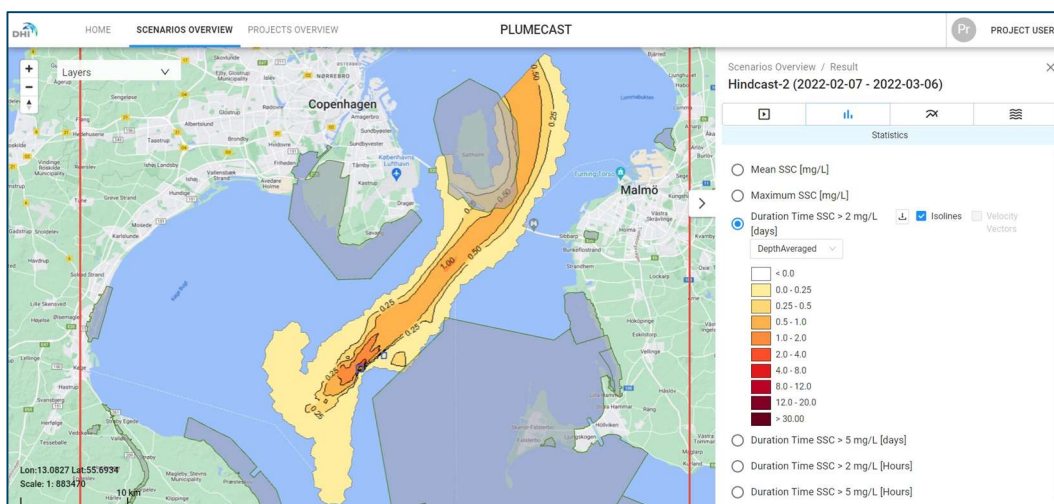
Figur 14 Overfladestrømretninger ved klappads.

3.2 Skyggevirkning fremkaldt af klapskyer og re-suspenderet klapmateriale

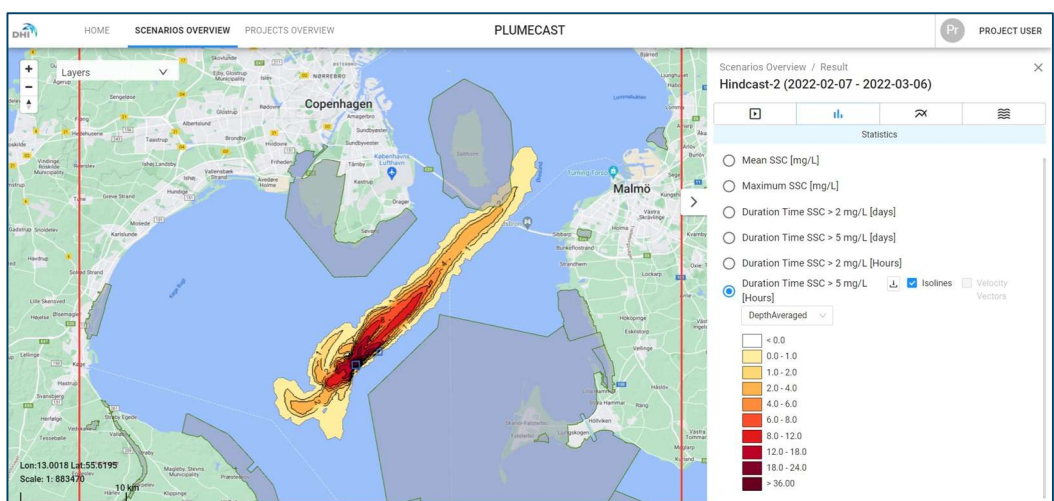
Klapskyerne kan potentielt påvirke de omkringliggende Natura 2000 områder, som følge af aflejring eller skyggevirkningseffekter. Til vurdering af skyggevirkningseffekter, ses der typisk på i hvor lang tid en række dybdemidlede sedimentkoncentrationsniveauer er overskredet. Grænsen for en synlig sedimentfane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

På baggrund af klapninger udført i perioden fra den 7. februar 2022 til den 6. 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 15 viser det område, hvor dybdemidlet SSC samlet set overstiger 2 mg/l i mere end 6 timer og derover. Det ses af figuren, at der kun er en mindre påvirkning af Natura 2000 området ved Saltholm. Ingen af de øvrige omkringliggende Natura 2000 områder er influeret af klapanerne.



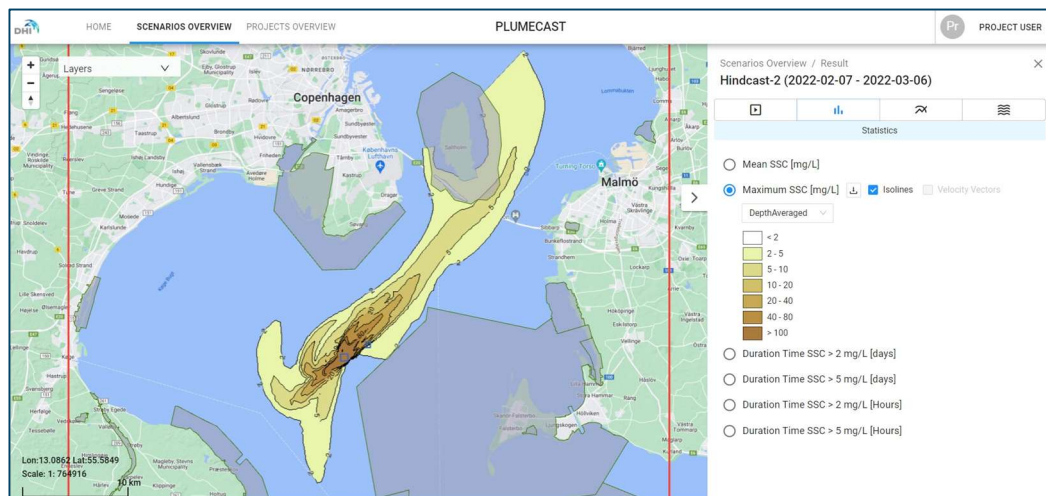
Figur 15 Akkumuleret overskridelsesvarighed af dybdemidlet SSC på 2 mg/l.



Figur 16 Akkumuleret overskridelsesvarighed af dybdemidlet SSC på 5 mg/l.

En tilsvarende analyse er udført for overskridelse af 5 mg/l. Figur 16 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 på nær området ved Saltholm, hvor der på den sydøstlige kant er en overskridelse på op til 2 timer igennem hele perioden.

Til illustration af det maksimale påvirkningsområde relateret til klappning af materiale og en efterfølgende re-suspension, er der i Figur 17 vist dybdemidlet maksimum sedimentkoncentration i hindcast perioden løbende fra den 7. februar 2022 til og med den 6. marts 2022. Det fremgår af plottet, at spredningen primært er i nordgående retning og at der ikke er nogen påvirkning af Natura 2000 områderne ved Stevns og Falsterbonæsset.



Figur 17 Maksimum dybdemidlet sedimentkoncentration i hindcast perioden.

Overskridelsen af de 5 mg/l ved Natura 2000 området ved Saltholm, skyldes at der d. 26-27. februar blev klappet relativt store mængder fra områder med et relativt højt indhold af ler-partikler. I flere af disse klappinger er tørstofprocenten større end 65%, hvilket indikerer at klappmassen og mængden som derved spredes, vil være overvurderet i modelleringen. Eksempler på materialesammensætningen er vist i Tabel 5. I spredningsberegningen er alt materialet modelleret som værende ikke-kohæsivt, dvs. at de opfattes som individuelle løse partikler med en foreskrevet faldhastighed baseret på kornstørrelsen. Ler-partikler er af kohæsiv natur og vil/kan flokkulere, hvilket vil medføre, at faldhastigheden øges og spredningen mindskes. Modelberegningen må derfor anses som værende konservativ i forhold til den vurderede spredning.

Tabel 5 Eksempel på sammensætning af klappmateriale med højt indhold af finkornet i dagene 25-27. februar.

Ophavsområde	ler partikler	fin silt	medium silt	sand eller grovere partikler
Lynetteholm P1	19%	4%	11%	66%
Lynetteholm P2	12 %	7 %	19 %	62%

3.3 Spredning af klappmateriale til omkringliggende vandområder

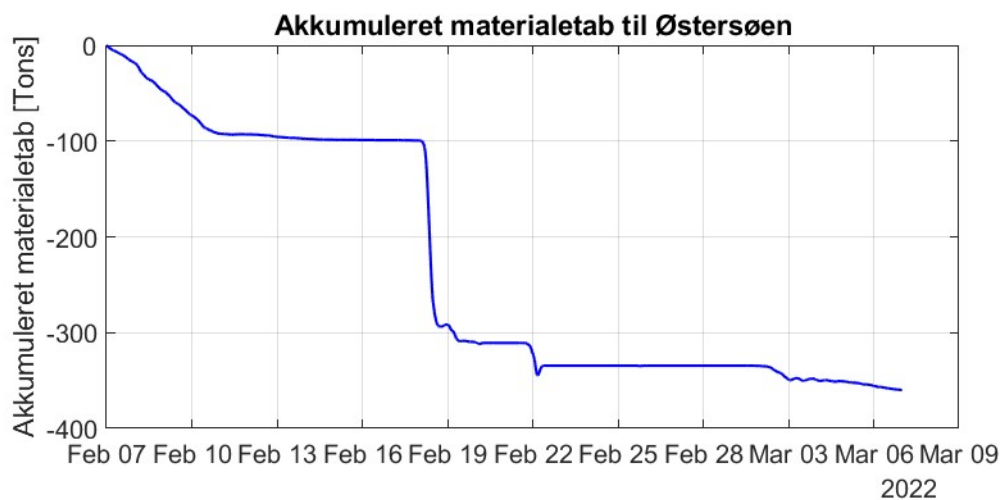
Afhængig af klappmaterialets karakter vil der være risiko for spredning af finkornet materiale til de omkringliggende vandområder, dels som følge af selve klappingen, men potentielt i endnu større grad som følge af re-suspension af tidligere klappet materiale. Re-suspensionshændelser vil primært føre materiale i retning mod Østersøen. Tabet af klappmateriale beregnes som den sedimentflux, der passerer de tre sorte linjer indikeret i Figur 18 nedenfor.



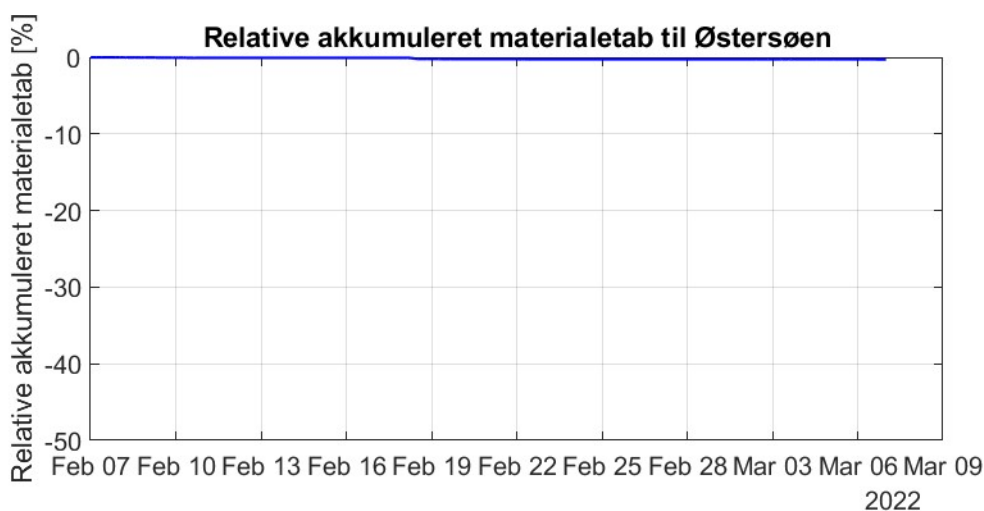
Figur 18 Placering af de tre tværsnit (Østersøen, Nordlige Øresund og Køge Bugt), hvorover sedimentfluxen beregnes.

Kraftige bundstrømme ved klapppladsen 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 19 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 360 tons og svarer dermed til cirka 0,27% af klappmængden over hindcast perioden. I Figur 20 er klaptabet angivet som det relative tab i procent af den samlede klappmængde i hindcast perioden.



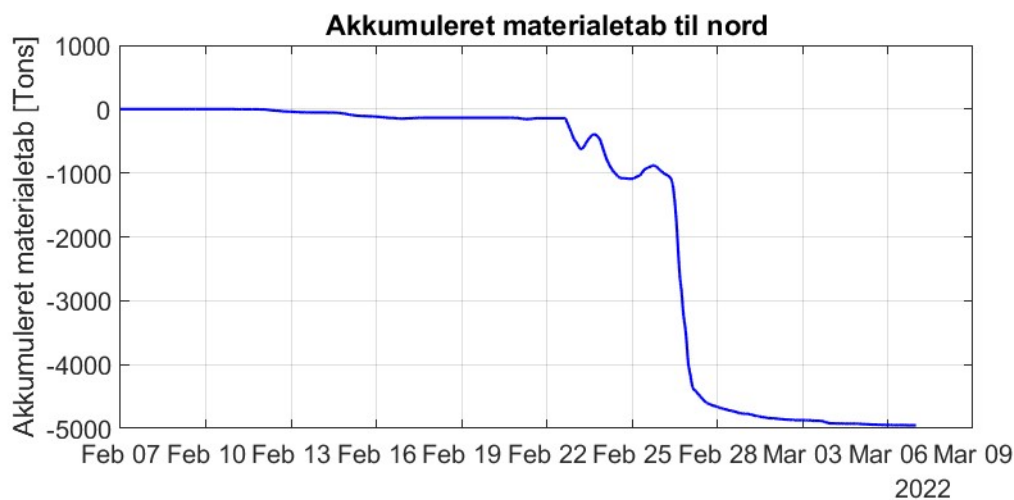
Figur 19 Akkumuleret materialetab til Østersøen.



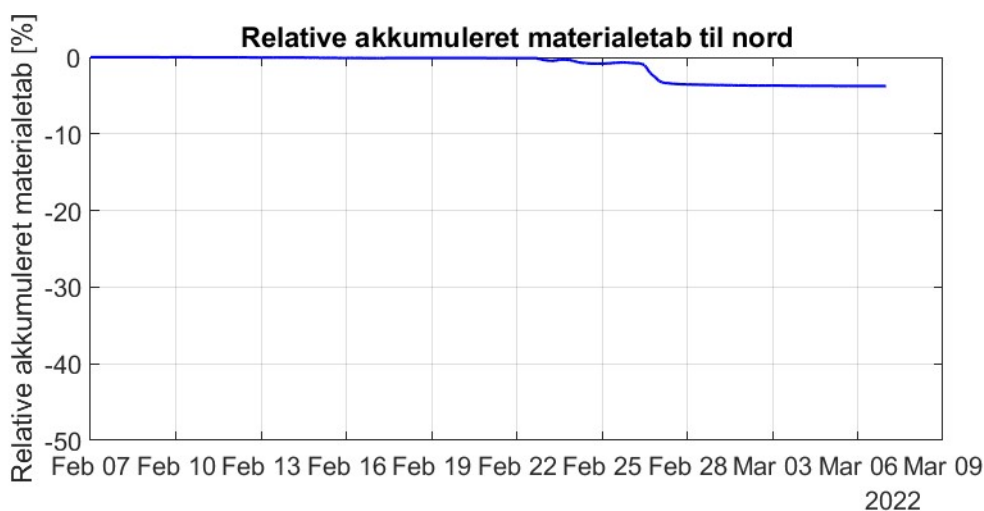
Figur 20 Relativt akkumuleret materialetab til Østersøen.

I den første del af hindcast perioden er der klappet materiale fra Svælget med et meget lavt indhold af finkornet sediment, hvorfor spredningen er beskedent. I den sidste halvdel af perioden er der klappet materiale fra Lynetteholm perimeteren og dele af dette materiale har et stort indhold af meget finkornet sediment. Dele af disse klapninger er sket på tidspunkter, hvor både bundstrøm og overfladestrøm har været rettet mod nord. Det akkumulerede sedimenttab til vandområdet beliggende nord for Drogden tærsklen (Øresund), er derfor mere signifikant i denne hindcast periode.

Det akkumulerede sedimenttab til nord (Øresund) igennem hindcast perioden er vist i Figur 21 i form af en tidsserie. Den samlede masse af sedimentter som forlader området i retning mod nord, er 4952 tons, hvilket er som det fremgår af Figur 22 ca. 3,8% af klappmængden i hindcast perioden.

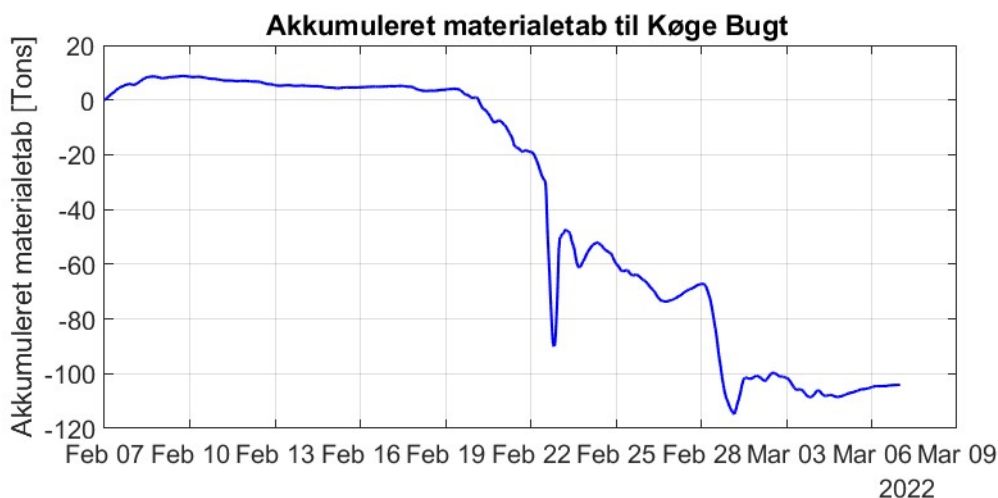


Figur 21 Akkumuleret materialetab til vandområdet nord for Drogdøntærsklen.

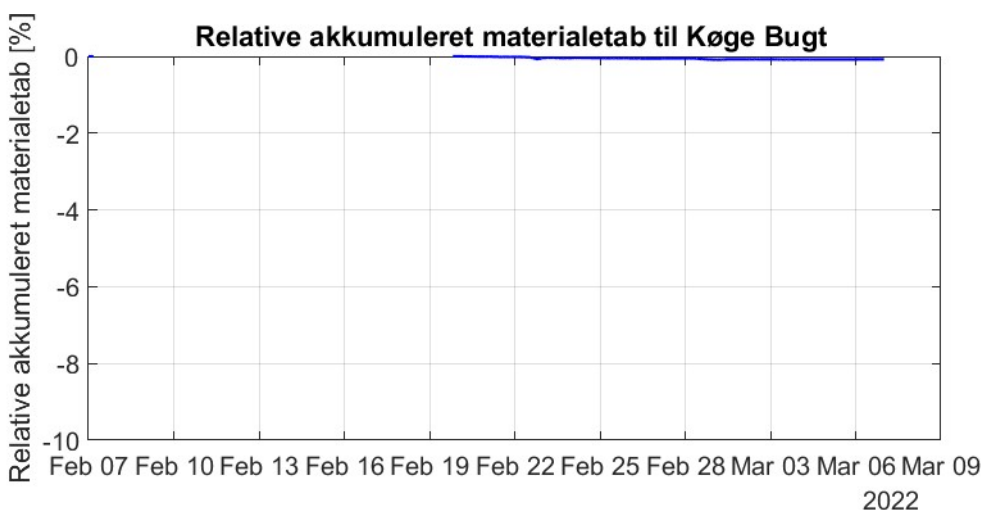


Figur 22 Relativt akkumuleret materialetab til vandområdet nord for Drogdøntærsklen.

Det akkumulerede sedimenttab til Køge Bugt igennem hindcast perioden er vist i Figur 23 i form af en tidsserie. Det ses, at der i hindcast perioden er meget beskedne spredning af klapmateriale til Køge bugt. Dette kan forklare med at Køge Bugt udgør et idvande og har dermed ingen direkte interaktion med spredningen fra klappladsen, da denne ligger i et gennemstrømningsområde udenfor idvandet. Den samlede masse af sedimenter som forlader modelområdet i retning mod Køge Bugt, er estimeret til 104 tons, hvilket er ca. 0,08% af klapmængden i hindcast perioden, jf. Figur 24.



Figur 23 Akkumuleret materialetab til Køge Bugt



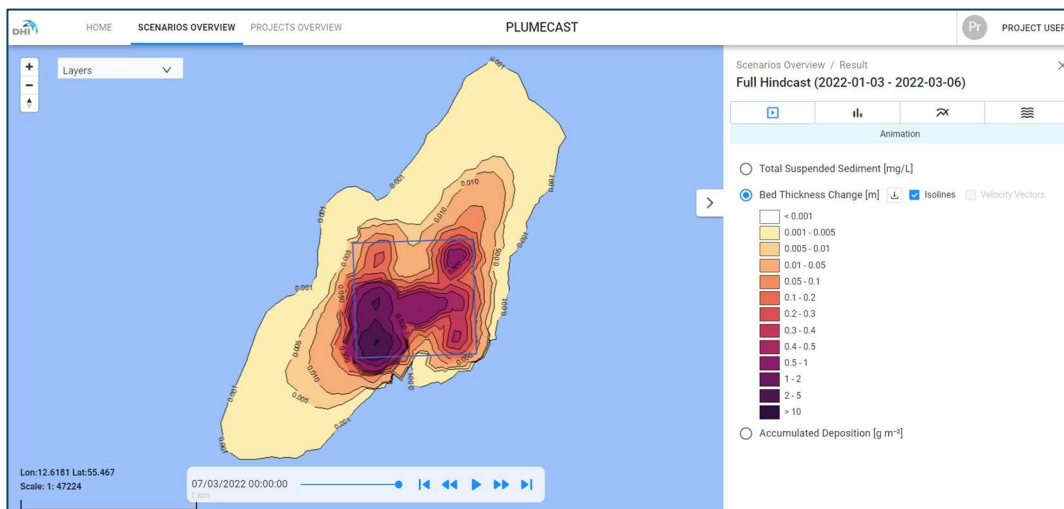
Figur 24 Relativt akkumuleret materialetab til Køge Bugt.

Samlet set er der fundet en relativ beskeden spredning af klappmateriale til de omkringliggende vandområder (ca. 4,2%), hvilket hænger sammen med, at der i hindcast perioden er klappet materiale fra både uddybningen af sejlrenden ved Svælget syd for Middelgrunden og fra Lynetteholm perimeteren. Spredningen vil øges i takt med, at der kun klappes materiale fra Lynetteholm perimeteren.

3.4 Deposition

I hele hindcast perioden fra 3. januar frem til den 6. marts er der i henhold til klapploggene klappet 209.147 ton, hvoraf de 173.984 ton er aflejret indenfor det med blå ramme markerede klapppladsområde. Langt størstedelen af klappmaterialet (~83%) er aflejret i selve klapppladsområdet. Figur 25 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/m³. 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 klapping. 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 17% som ikke er aflejret indenfor klapppladsområdet

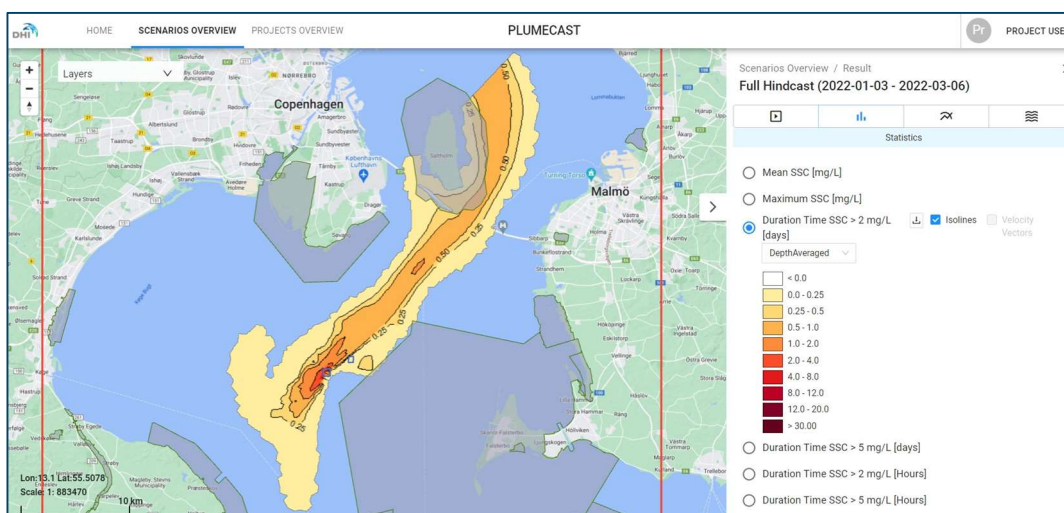
er, som det fremgår af Figur 25 aflejret i umiddelbar nærhed af klapplassen. Spredningen af materiale til øvrige vandområder; Østersøen, Øresund nord for Drogdøntærsklen og idvandszonen Køge Bugt er samlet set 4,2% og dermed relativt beskeden, jf. afsnit 3.3.



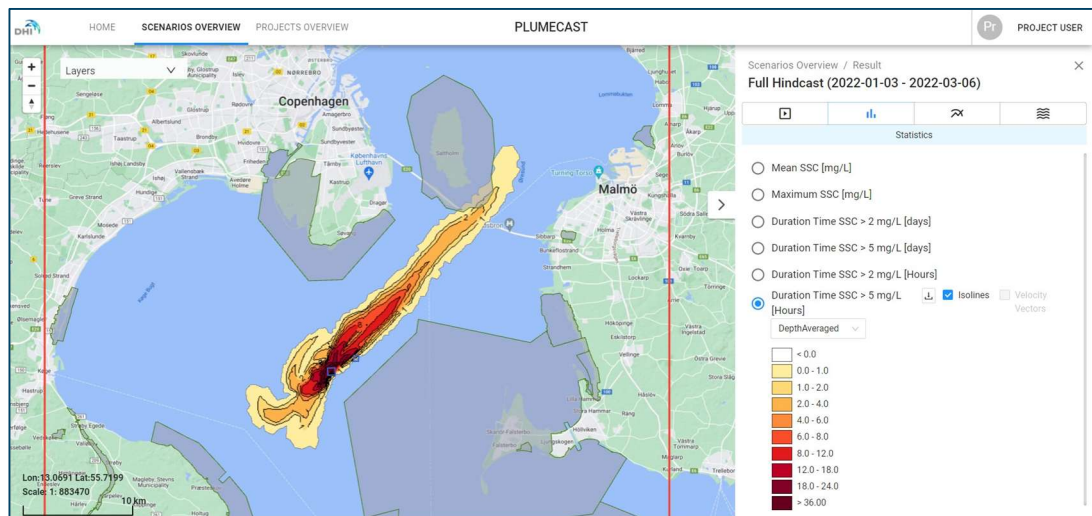
Figur 25 Aflejningskort for materialet klappet ved slutning af hindcast perioden.

3.5 Hindcast for perioden 3. januar 2022 – 6. marts 2022

Klappskyernes samlede skyggevirksomhed i perioden 3. januar 2022 til 6. marts 2022 er vist i Figur 26 og Figur 27 i form af den akkumulerede overskridelsesvarighed af en dybdemidlet koncentration på 2 mg/l og 5 mg/l. Det ses, at der ikke er nogen signifikant forskel fra plottene vist i Figur 15 og Figur 16, idet der i den første hindcast periode kun blev klappet materiale fra Svælget, som er kendetegnet ved at have et meget lavt indhold af finkornet sediment.



Figur 26 Akkumuleret overskridelsesvarighed af dybdemidlet SSC på 2 mg/l.



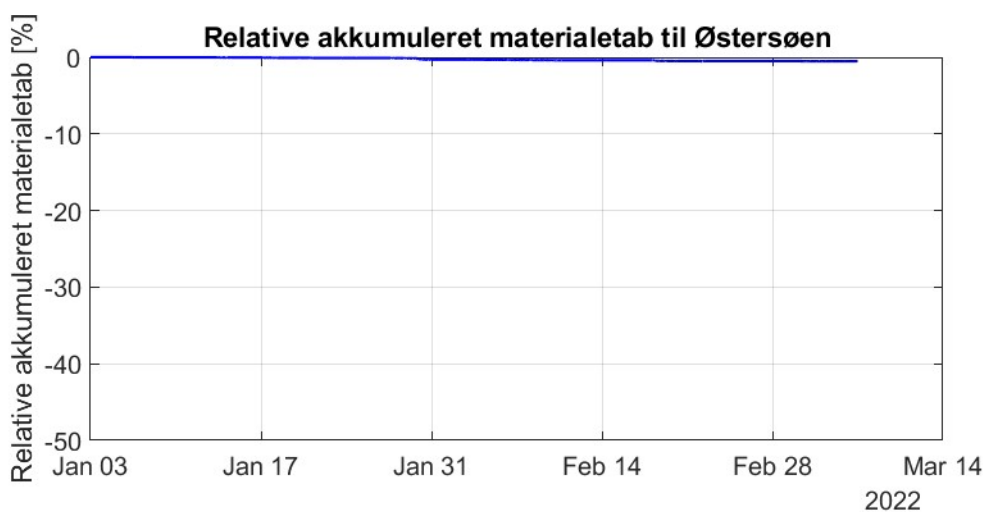
Figur 27 Akkumuleret overskridelsesvarighed af dybdemidlet SSC på 5 mg/l.

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

Figur 28 viser det akkumulerede sedimenttab til Østersøen igennem de to hindcast perioder i form af en tidsserie. Den samlede masse af sedimenter som forlader modelområdet i retning mod syd, er beregnet til 1.073 tons og svarer dermed til cirka 0,51% af klappmængden over hele klappingsperioden. I Figur 29 er klaptabet angivet som det relative tab i procent af den samlede klappmængde i perioden 3. januar – 6. marts.

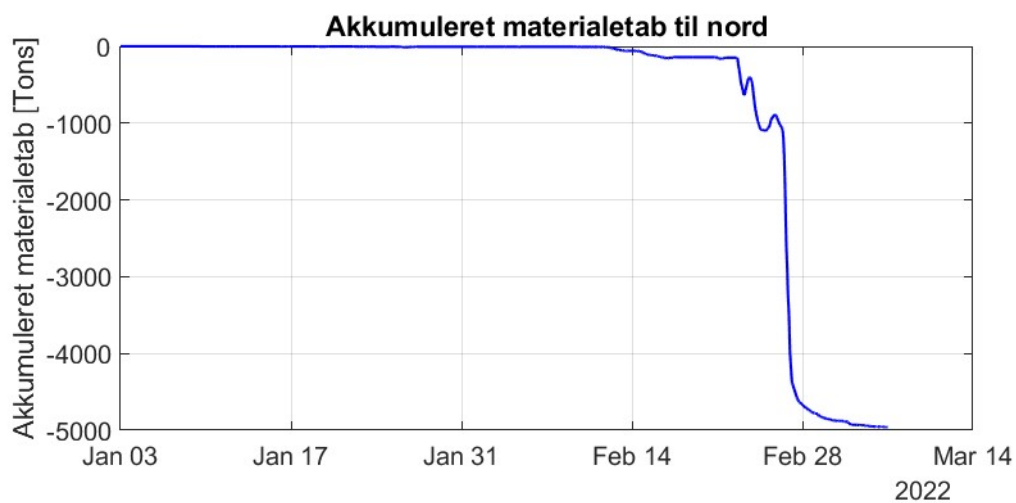


Figur 28 Akkumuleret materialetab til Østersøen.

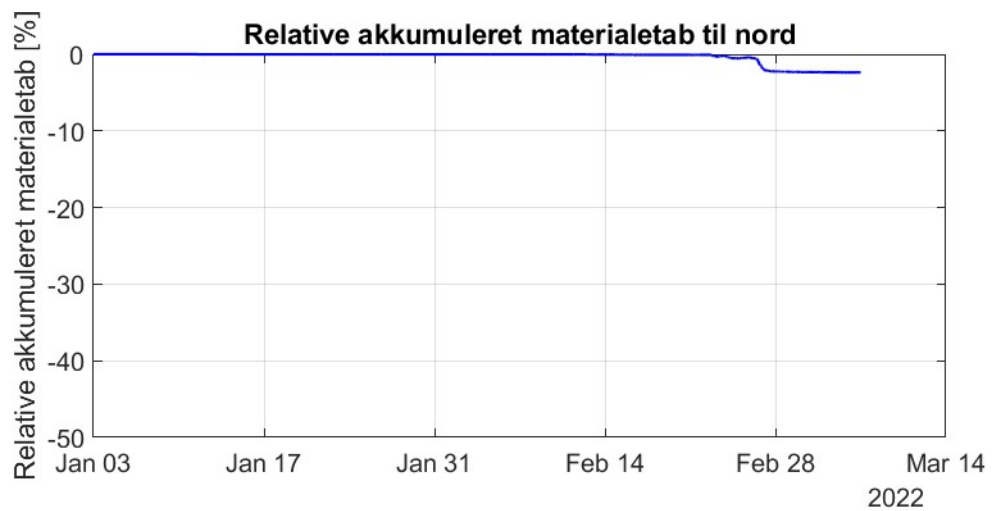


Figur 29 Relativt akkumuleret materialetab til Østersøen.

Det akkumulerede sedimenttab til vandområdet nord for Drogdentskælen igennem hele klappingsperioden frem til d. 6. marts er vist i Figur 30 i form af en tidsserie. Den samlede masse af sedimenter som forlader modelområdet i retning mod nord, er beregnet til 4.958 tons og svarer dermed til cirka 2,37% af klappmængden over hele klappingsperioden. I Figur 31 er klaptabet angivet som det relative tab i procent af den samlede klappmængde i perioden 3. januar – 6. marts.

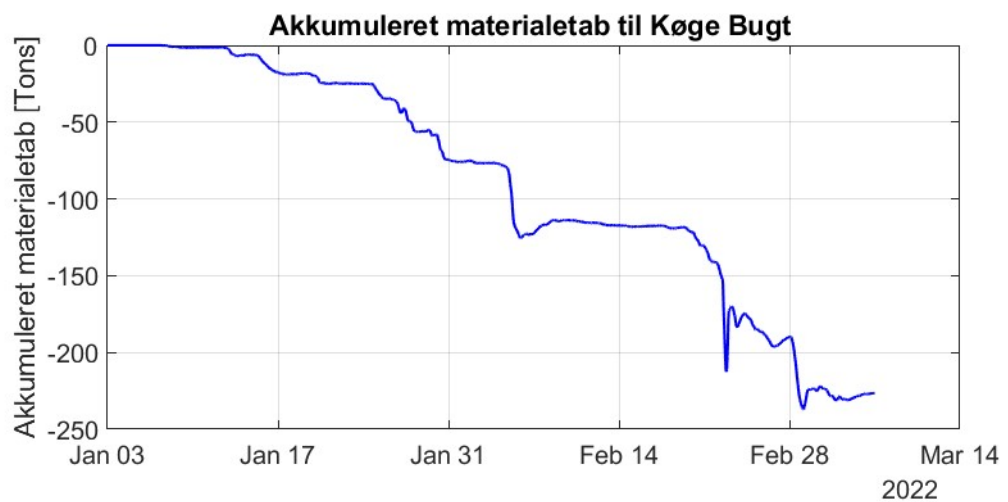


Figur 30 Akkumuleret materialetab til vandområdet nord for Drogdentskælen.

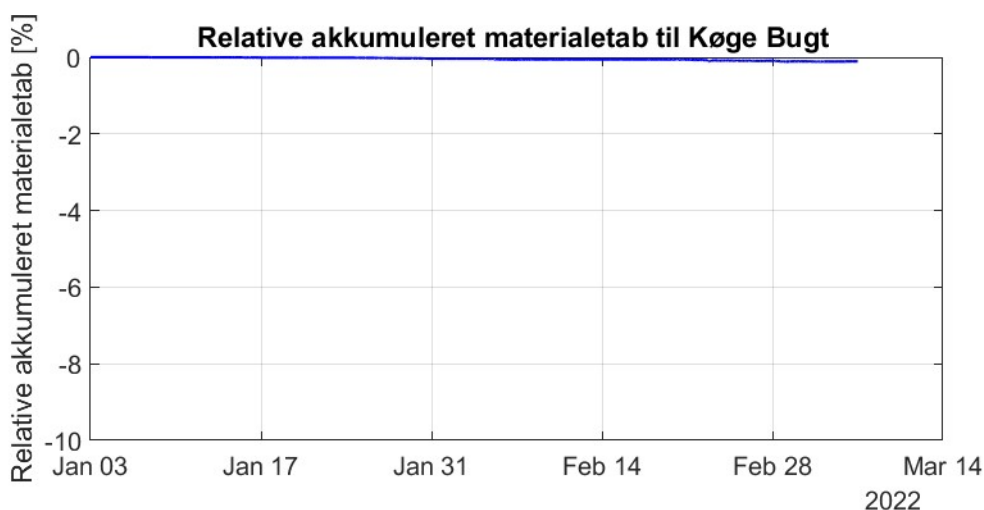


Figur 31 Relativt akkumuleret materialetab til vandområdet nord for Drogdentærsklen.

Det akkumulerede sedimenttab til Køge Bugt igennem hele klæpningsperioden frem til d. 6. marts er vist i Figur 32 i form af en tidsserie. Den samlede masse af sedimenter som forlader modelområdet i retning mod Køge Bugt, er beregnet til 227 tons og svarer dermed til cirka 0,11% af klæpmængden over hele klæpningsperioden. I Figur 33 er klæptabet angivet som det relative tab i procent af den samlede klæpmængde i perioden 3. januar – 6. marts.



Figur 32 Akkumuleret materialetab til Køge Bugt.



Figur 33 Relativt akkumuleret materialetab til Køge Bugt.

Samlet set er der fundet en relativ beskeden spredning af klappmateriale til de omkringliggende vandområder (ca. 3,0%), 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

Der er ingen nye turbiditetsmålinger i forhold til det tidligere rapporterede. De 5 turbiditetsstationer vil blive taget op i starten af april og tømt for data.

5 Transektmåling af sedimentflux og klaptab

Der er i hindcast perioden foretaget transektmålinger ved klappplads B på de i Tabel 6 angivne datoer (i alt fire dage).

Tabel 6 Datoer i hindcast perioden, hvor der blev foretaget transektmålinger.

Dato	Lokation
26/02/2022	Klappplads B
27/02/2022	Klappplads B
03/03/2022	Klappplads B
05/03/2022	Klappplads 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.

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 strømretningen
- Beregning af strøm
- Interpolation af sedimentprofiler
- Beregning af sedimentflux

5.1 Fluxmålinger ved Klapplads B

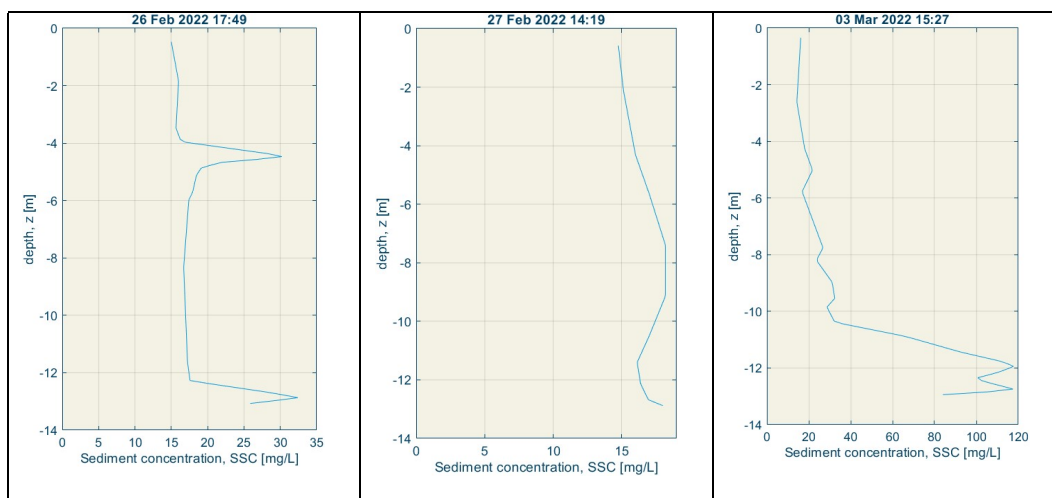
I forbindelse med klappingerne udledes på baggrund af målingerne en række sedimentfluxe ud af klappladsområdet. Disse fluxe har enheden t/h. For at opnå en endelig sedimentflux i tons er det vurderet, at tiden der går fra en klapping er foretaget til transporten ud af området er afsluttet er en time.

Tabel 7 Oversigt over målinger ved klapplads B i rapportperioden.

Dato	Område	Fartøj	Klapvolumen [m ³]	Klapmasse [tons]	Ophavsområde
26/02/2022	Klapplads B	DBB	567	1064	Lynetteholm
26/02/2022	Klapplads B	Rimfaxe R	567	1060	Lynetteholm
27/02/2022	Klapplads B	Roar R	1040	1211	Lynetteholm
03/03/2022	Klapplads B	Helge R	780	1250	Lynetteholm
03/03/2022	Klapplads B	Munin R	515	1128	Lynetteholm
05/03/2022	Klapplads B	Roar R	850	1165	Svælget

Den generelle observation er, at klapfanen stort set er væk inden der er gået en time fra klaptidspunktet. Enkelte gange har det dog varet op mod to timer.

Sedimentkoncentrationerne på kanten af klapområdet ligger generelt omkring 15-25 mg/l i langt størstedelen af tiden. Der ses dog kort efter klappingen koncentrationer på ca. 50 mg/l og i enkelte tilfælde helt op til 150 mg/l tæt ved bunden (Figur 34). Disse niveauer hænger 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 klappladsområdet.



Figur 34 Tre eksempler på sedimentkoncentrationsprofiler målt under klapp-operationerne. Koncentrationer over 50 mg/l er kun observeret i få tilfælde. Bemærk forskellig skala på x-akserne.aksen, tid i UTC.

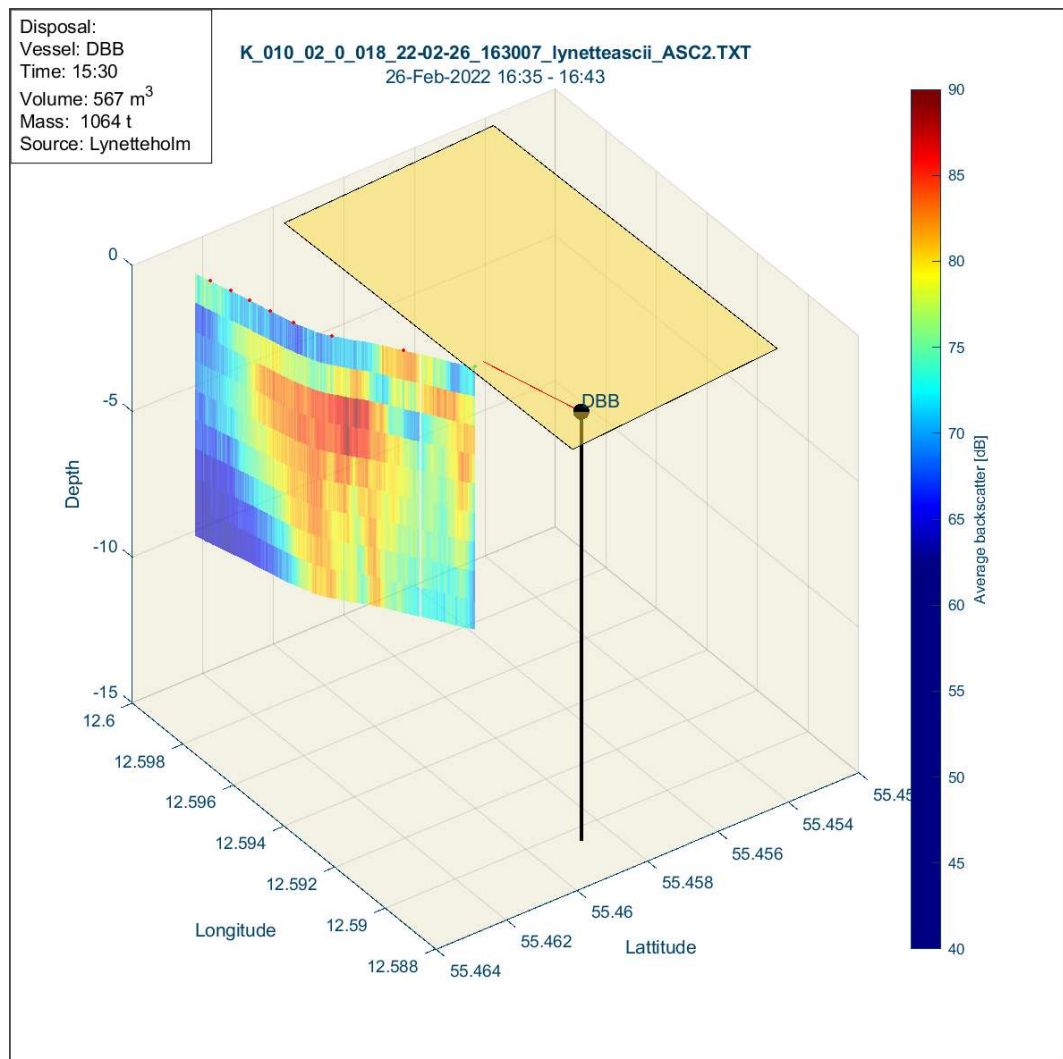
Tabel 8 Oversigt over resultater af transektmålinger ved klappplads B i modelperioden.

Dato	Område	Strømhastighed	Strømretning	Tab [t]	Tab [%]
26/02/2022	Klappplads B	0,20 m/sek	72°	25,5	2,4
26/02/2022	Klappplads B	0,20 m/sek	70°	18,2	1,7
27/02/2022	Klappplads B	0,26 m/sek	61°	22,0	1,8
03/03/2022	Klappplads B	0,24 m/sek	136°	28,3	2,7
03/03/2022	Klappplads B	0,27 m/sek	68°	38,2	3,4
05/03/2022	Klappplads B	0,18 m/sek	103°	19,5	1,7

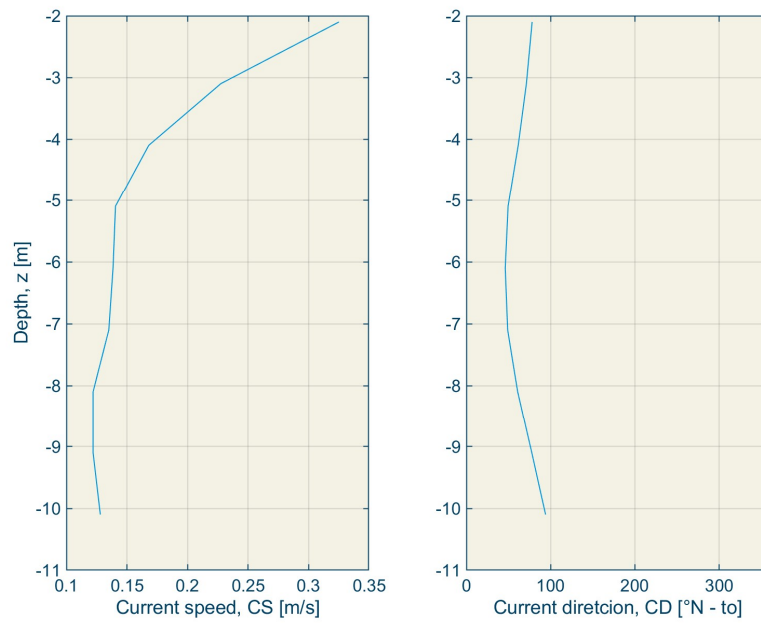
Der integreres i tid og rum, vha. backscatter-signalet fra ADCPen, hvor der ganges vektorielt med strømhastighed og retning, således at tabet fra klappområdet kan udregnes. Tabet er fundet til at variere mellem 1,7% og 3,4% af den klappede mængde (Tabel 8). Variationen afhænger af mange faktorer, herunder materialets beskaffenhed, strømhastigheden og klappingens afstand fra nedstrøms grænse. Med den nuværende klapppraksis er hvert klappfartøj tildelt et sektorområde på klapppladsen. Klapppraksis udnytter derfor ikke den fordel der kan være ved altid at klippe opstrøms, således at klappfanen føres igennem en så stor del af klapppladsområdet som muligt.

Endelig skal det bemærkes, at de målte sedimenttab er mindre end det modellerede 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 klappsesonens ophør vil kunne give et billede 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 under transport i pram og ved aflejring på bund.

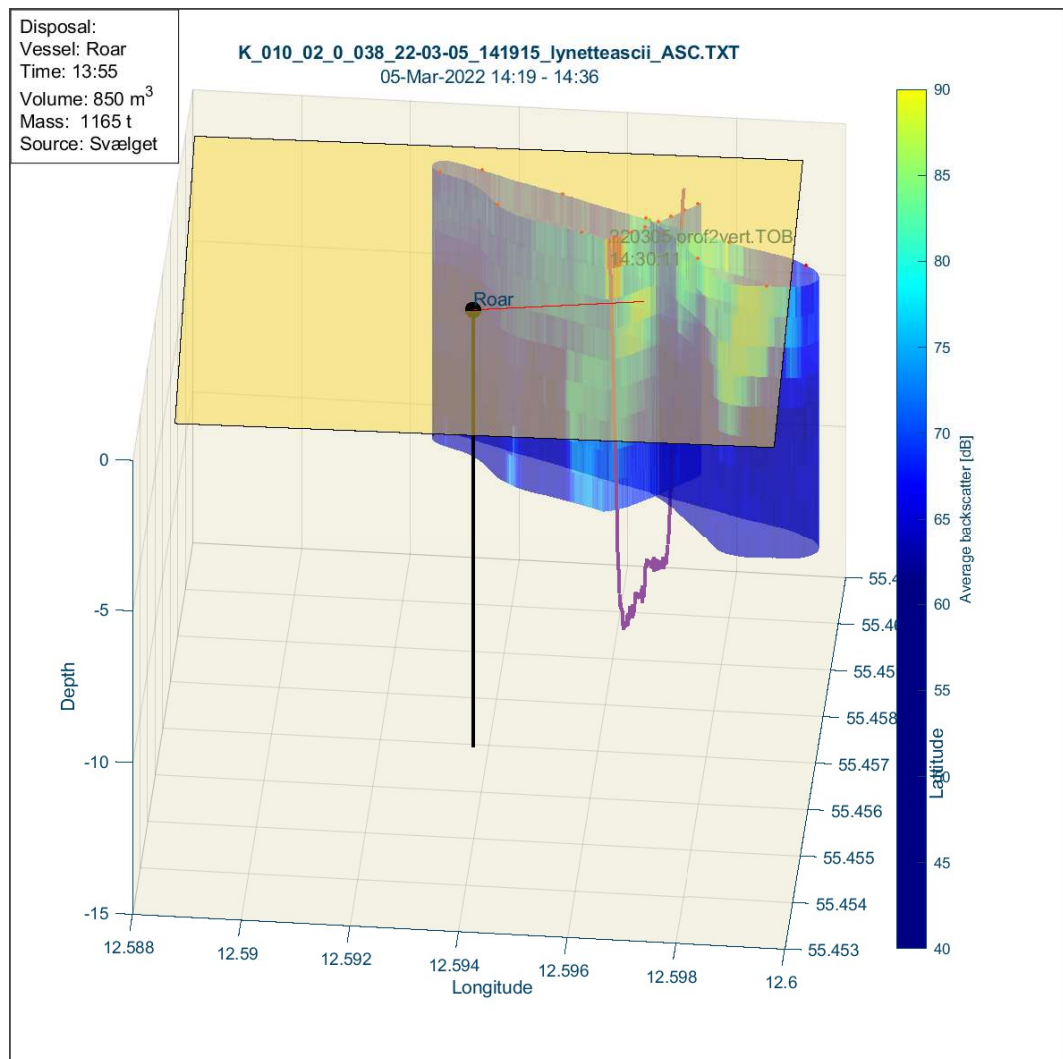
I Figur 35 til Figur 38 er der vist eksempler på transektmålinger og strømprofiler.



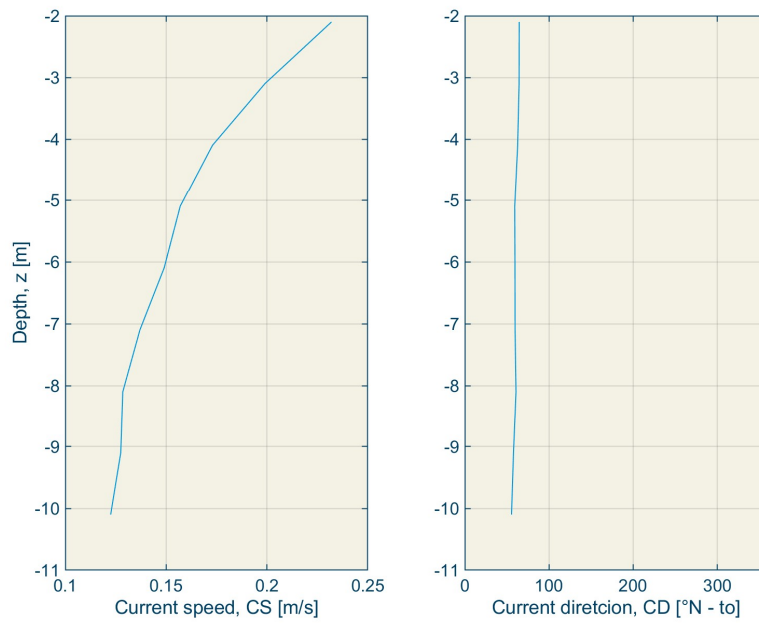
Figur 35 Eksempel på måletransekt fra klapplass B 05-03-2022. Klappmateriale fra Lynetteholm. Den sorte prik/linje viser klappfartøjets position ved klappingen. Den røde streg viser strømretningen og gule felt viser klappområdet. Den farvede fane viser backscattermålingen fra ADCP-instrumentet med røde prikker som minutter fra start.



Figur 36 Strømhastighed og retning målt fra skibet ved klappads B 26-02-2022 16:35 (UTC)



Figur 37 Eksempel på måletrasekt fra klapplass B 05-03-2022 med overløjet profilmåling. Klappmateriale fra Svælget. Den sorte prik/linje viser klappartøjets position ved klappingen. 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 38 Strømhastighed og retning målt fra skibet ved klappads B 05-03-2022 14:19 (UTC)