

Lynetteholm Turbidity Management Hindcast Rapport

Hindcast periode: 2022-01-03 – 2022-02-06

Til:	Lynetteholm Turbidity Management Group
Att.:	By & Havn og MST
Cc:	Michael Lundgaard (By & Havn), Finn Jensen (By & Havn), Anders Vedel (MST)
Fra:	DHI (BBC, SIS)
DHI ref.:	11823523-017
BDC ref.:	83087
Projekt	Lynetteholm
Dato:	2022-03-14
Emne:	Turbidity Management Hindcast
Revision:	1

1 Resumé

Der er udført hindcast modellering med henblik på at dokumentere spredningen af de udførte klapninger. Denne hindcast rapport dækker perioden 3. januar 2022 til 6. februar 2022 og omfatter dermed kun klappning af materialer fra Svælget syd for Middelgrunden.

Klappning af materiale startede op den 6. januar 2022, og der er frem til den 6. februar i alt klappet 58.080 m³ svarende til ca. 77.400 tons på klappplads Kb.

Alt klappmateriale i denne periode stammer fra uddybning af sejlrenden ved Svælget. Det opgravede materiale indeholder mange sten og er generelt groft graderet. Generelt er vurderingen, at cirka halvdelen af materialet udgøres af partikler grovere end sand. I den udførte modellering er der anvendt en materialesammensætning som antager at 0,6 % af materialet er ler-partikler, 1,5 % er fin silt, 2,1 % medium silt og 95,8 % er sand eller grovere partikler.

I de udførte forecast dækkende nærværende hindcast periode, gav de 7 opstillede kriterier for klappning ikke anledning til dage med klappforbud.

2 Oversigt af klappmængder

Gravearbejdet i hindcast perioden blev udført med:

- Ajax R (Spandkædemaskine) med 24 timer drift

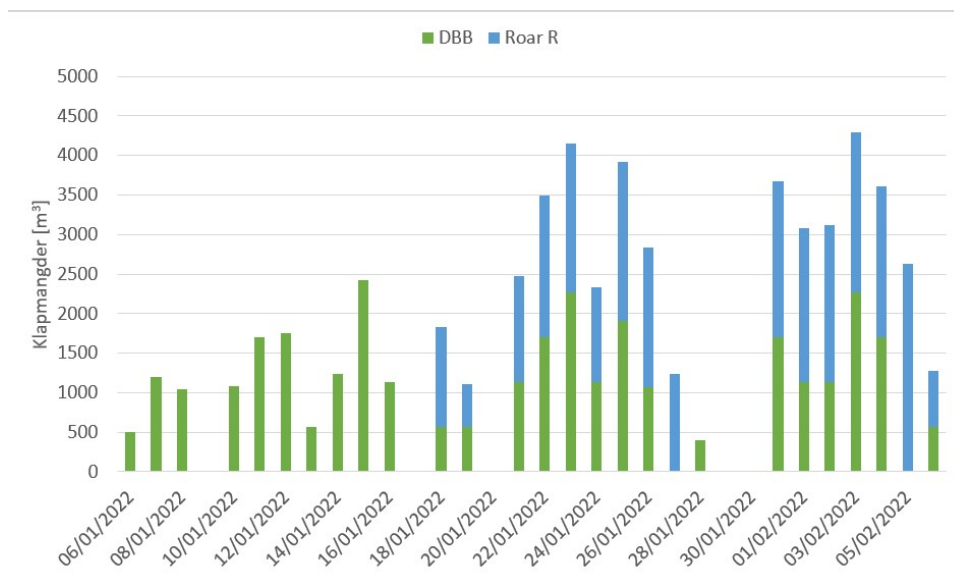
Klappning:

- DBB splitpram 01 med 700 m³ lastkapacitet
- DBB splitpram 02 med 700 m³ lastkapacitet
- Rohde Nielsen Roar splitpram med 950 m³ lastkapacitet

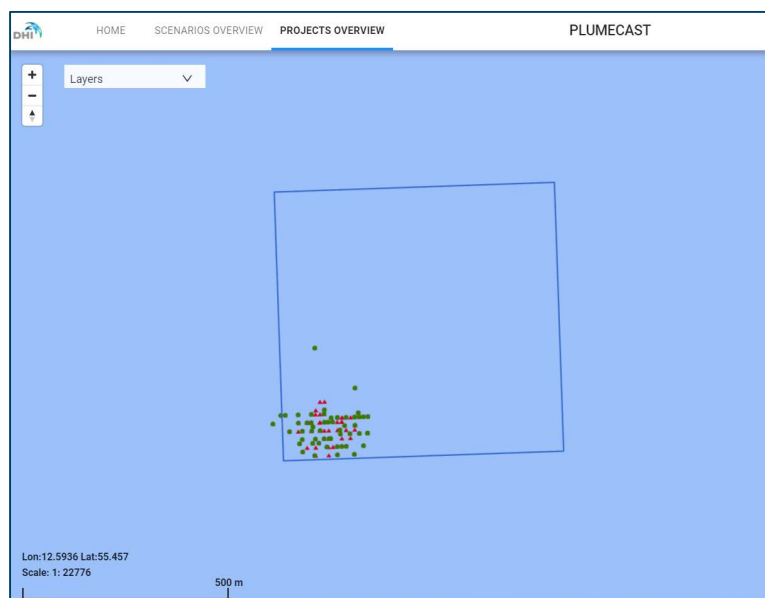
Generelt lastes prammene med en mindre last end den ovenfor opgivne kapacitet.

I Figur 1 er de samlede daglige klappmængder fra de to DBB-splitpramme og splitpram Roar R vist. Alt materiale har sit ophav fra uddybningen af sejlrenden ved Svælget syd for Middelgrunden.

Figur 2 viser de aktuelle klappningspositioner i hindcast perioden. Grønne markører er for DBB splitprammene og de røde markører er for Roar R. Ifølge de opgivne koordinater er en af klappningerne foretaget lige udenfor det definerede klapppladsområde, mens en anden er foretaget på grænsen. Alle klappninger er foretaget i klapppladsens sydvestlige sektor. At en klappning er angivet som værende udenfor klapppladsområdet, kan skyldes at fartøjet driver mens der klappes og at positionen først er registreret efter at klappmaterialet er tømt.



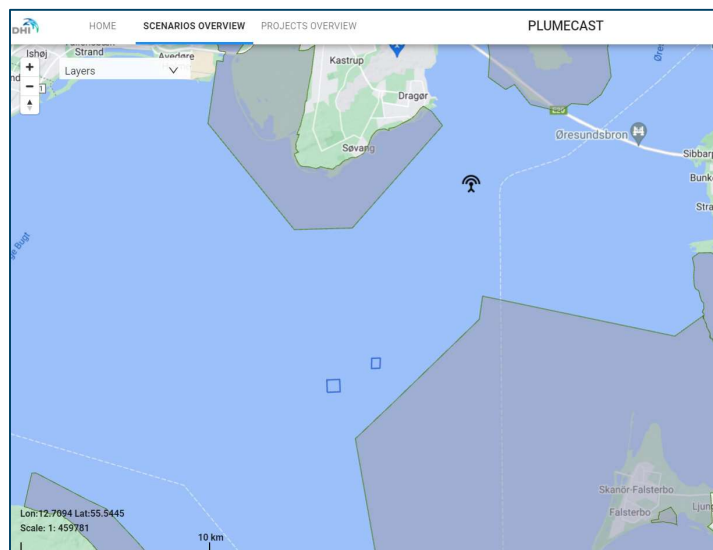
Figur 1 Oversigt over daglige klapmængder i hindcast perioden.



Figur 2 Aktuelle klapplaceringer i hindcast periode. Grøn: DBB, Rød: Roar R

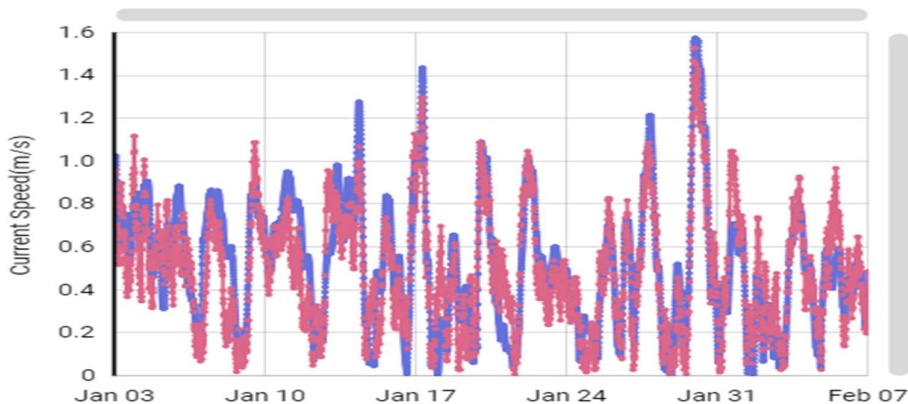
2.1 HD-model evaluering

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

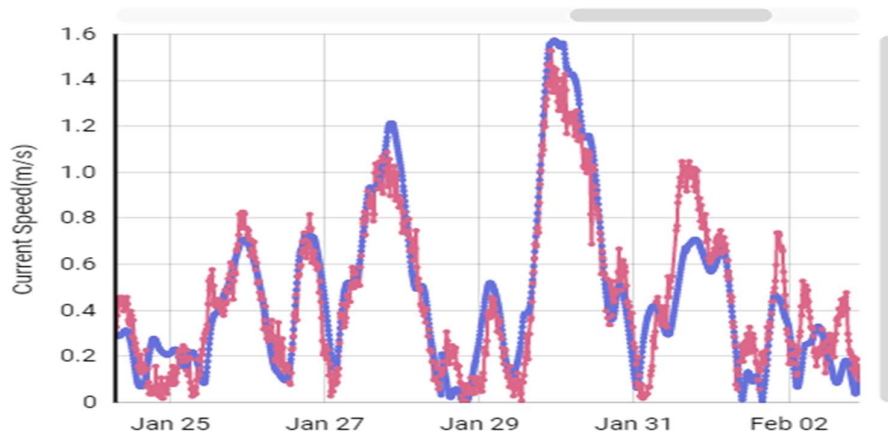


Figur 3 Positionen af strømbøjen ved Drogden Fyr (sort markør).

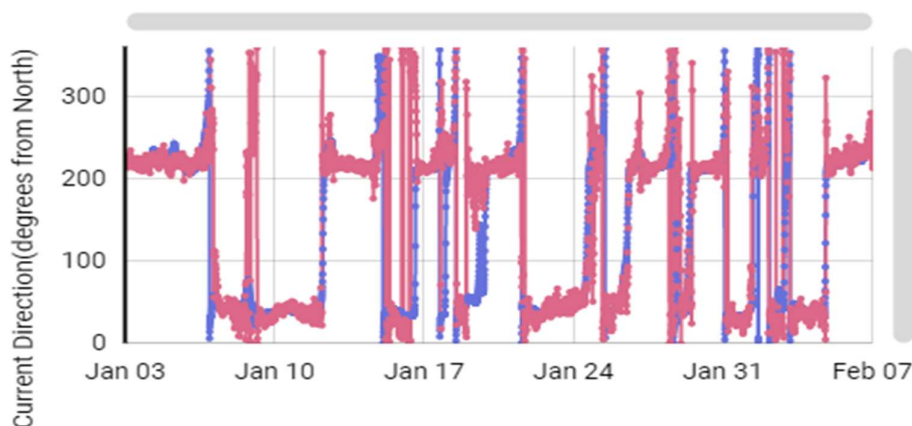
En sammenligning af målte og modellerede strømshastigheder tæt på vandoverfladen i hele hindcast perioden (3. januar – 6. februar) er vist i Figur 4. Den fuldt optrukne blå kurve viser den modellerede strøm, mens den stiplede røde kurve viser den målte strøm. Figur 5 viser et udsnit af Figur 4 i den uge, hvor de højeste strømshastigheder forekommer. Det ses, at der er en meget fin overensstemmelse mellem målte og modellerede strømshastigheder på den givne lokalitet. 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. Blå: Model, Rød: Målinger.

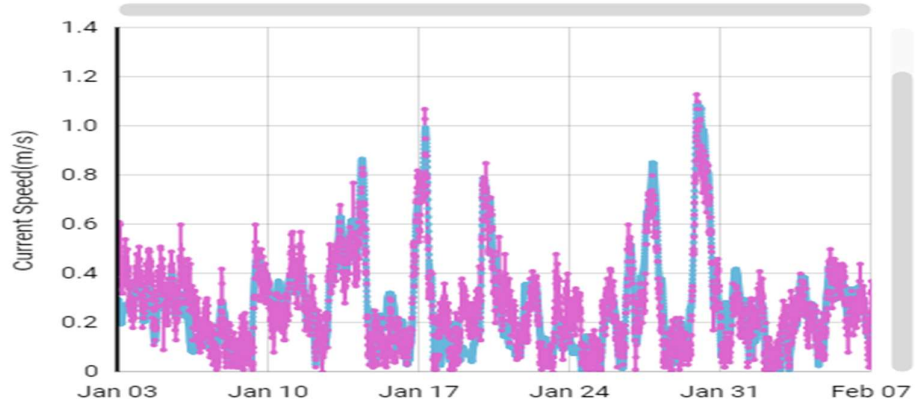


Figur 5 Strømhastighed tæt på havoverfladen ved Drogden Fyr. Blå: Model, Rød: Målinger – eksempel periode 25. januar – 2. februar.

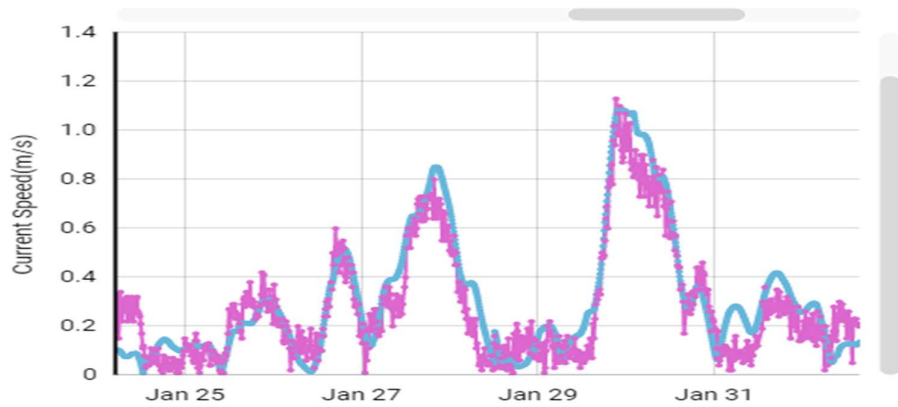


Figur 6 Strømretninger tæt på havoverfladen ved Drogden Fyr. Blå: Model, Rød: Målinger.

En tilsvarende sammenligning af målte og modellerede strømhastigheder tæt på havbunden i hele hindcast perioden er vist i Figur 7. Den fuldt optrukne lyseblå kurve viser den modellerede strøm, mens den stiplede lyserøde 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 forekommer. 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 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 klappbladsområdet også er ganske god.



Figur 7 Strømhastighed tæt på havbunden ved Drogden Fyr. Blå: Model, Lyserød: Målinger.



Figur 8 Strømhastighed tæt på havbunden ved Drogden Fyr. Blå: Model, Lyserød: Målinger – eksempel periode 25. januar – 02.februar.



Figur 9 Strømrøtninger tæt på havbunden ved Drogden Fyr. Blå: Model, Lyserød: 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 klappning og endnu vigtigere, betydning for en eventuel re-suspension af klappmaterialet. Evalueringen af påvirkningen forholder sig til skyggeeffekter 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 klappads

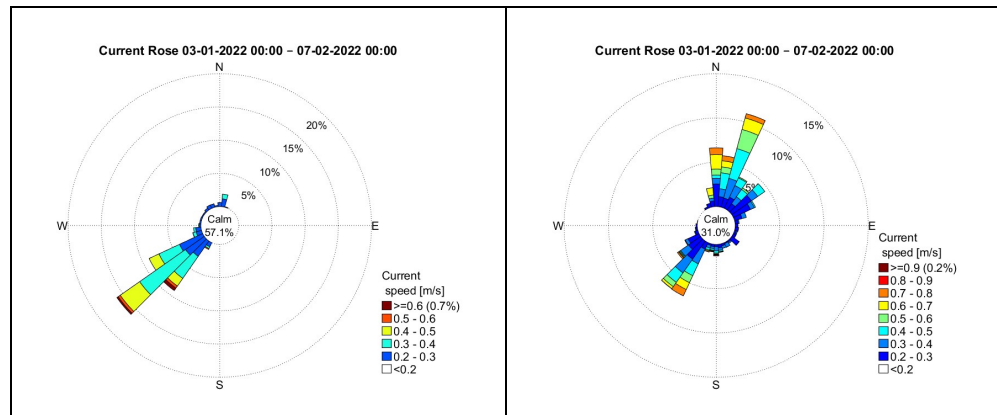
Strømforholdene nær ved havbunden har betydning for hvordan materialet i de enkelte klappninger spredes, men i endnu højere grad betydning for, hvornår tidligere klappet materiale vil blive re-suspenderet og potentielt blive spredt væk fra klappadsområdet. Hvis klappmaterialet er af samme beskaffenhed som den eksisterende havbund, vil klappmaterialet ikke føre til ændringer i den naturlige baggrundskoncentration. Er klappmaterialet mere løst aflejret og lettere at re-suspendere, vil det give sig udslag i at sedimentkoncentrationen øges i forhold til den naturlige baggrundskoncentration i situationer, hvor bundstrømmen er stærk. Mængden som re-suspenderes vil afhænge af, hvor stor en pulje løst aflejret sediment, der tidligere er blevet klappet, samt over hvor stort et område det er blevet spredt i forbindelse med de foretagne klappninger.

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.

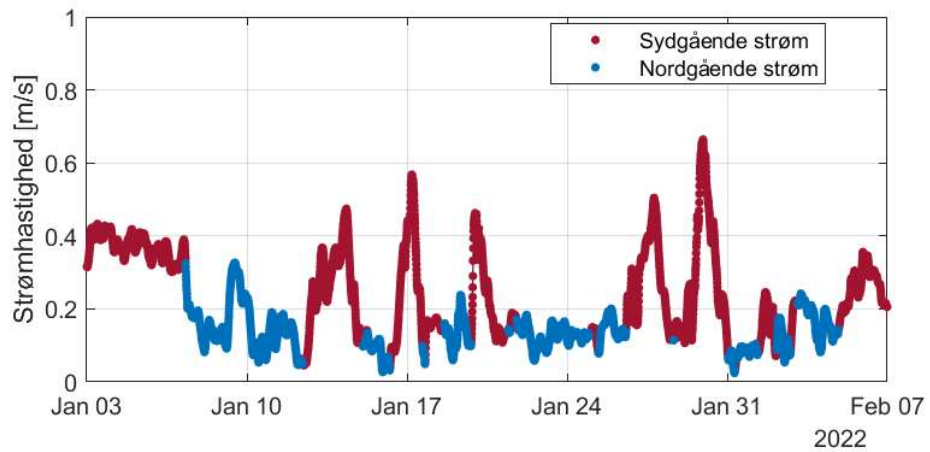
Strømforhold ved klapplassen:

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 hindcast perioden er hyppigheden af sydvestgående bundstrøm noget større end hvad der ville forventes set over et helt år. Ved havoverfladen er overfladestrømmen domineret af nordgående strømme, som følge af nettoafstrømningen af brakvand fra Østersøen. Vindens påvirkning indebærer at overfladestrømmens retning varierer mere end bundstrømmen, der primært er styret af landens topografi. I Figur 10 er der vist strømroser 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 i både nordgående retning (nord-nordnordøst) og i sydgående retning (sydsydvest). Bemærk at der er anvendt forskellig skala i de to strømroseplot.

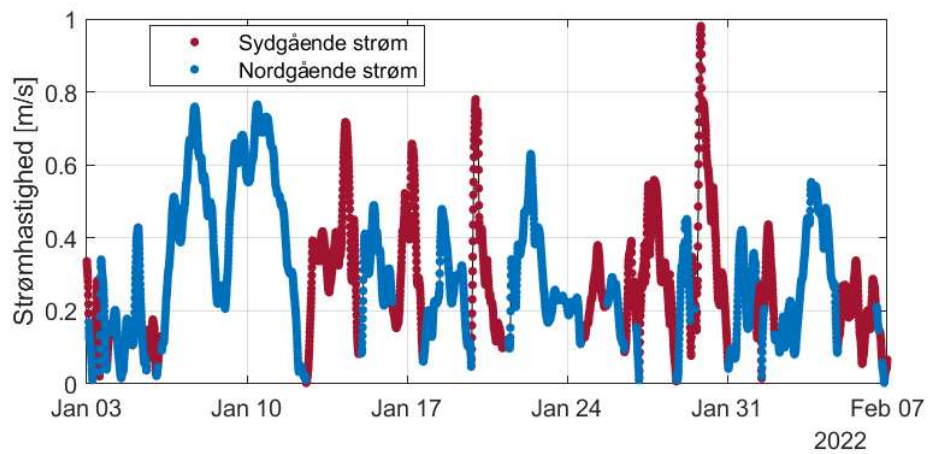
I Figur 11 og Figur 12 er der vist tidsserier af strømhastigheder 2 meter over havbundsniveau og ved vandoverfladen. Det ses, at der i perioder med lagdelt strømning er modsat rettet strømning ved havbund og vandoverflade. Den røde del af kurven indikerer forhold med sydgående strøm, mens den blå kurve 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.



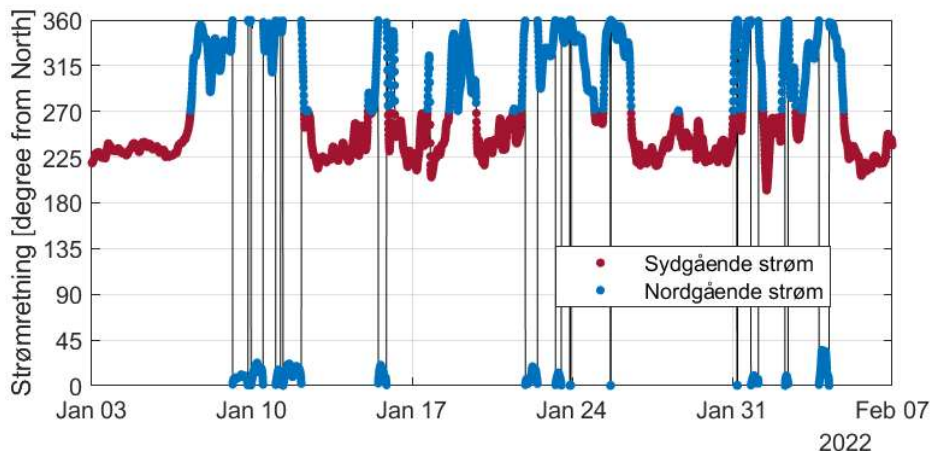
Figur 10 Venstre: Rose plot for bundstrøm 2 meter over havbund ved klappblads. Højre: Rose plot for overfladestrøm ved klappblads.



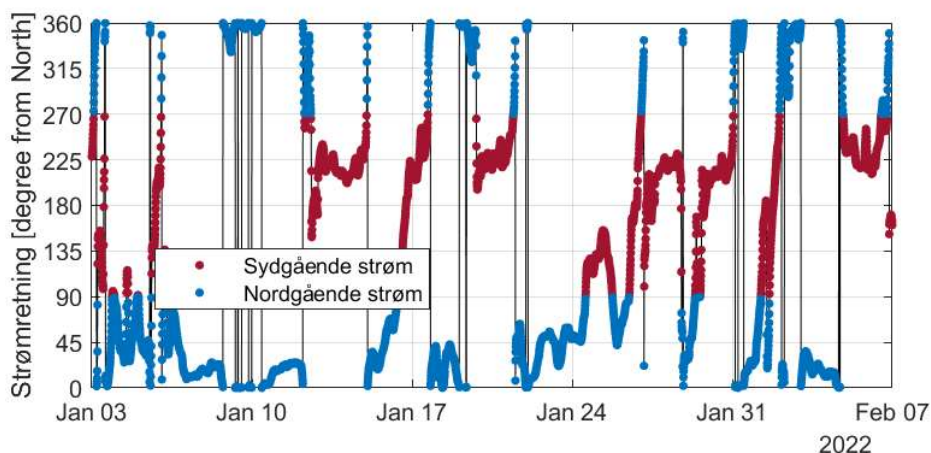
Figur 11 Bundstrømhastigheder 2 meter over havbund ved klappblads.



Figur 12 Overfladestrømhastigheder ved klappblads.



Figur 13 Bundstrømretninger 2 meter over havbund ved klappblads.



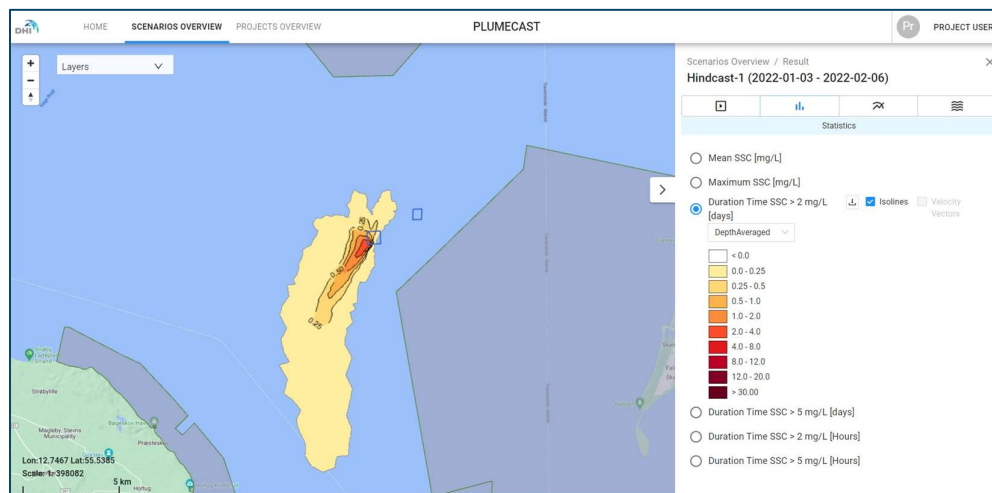
Figur 14 Overfaldestrømretninger ved klappblads.

3.2 Skyggevirkning fremkaldt af klapskyer og re-suspenderet klappmateriale

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.

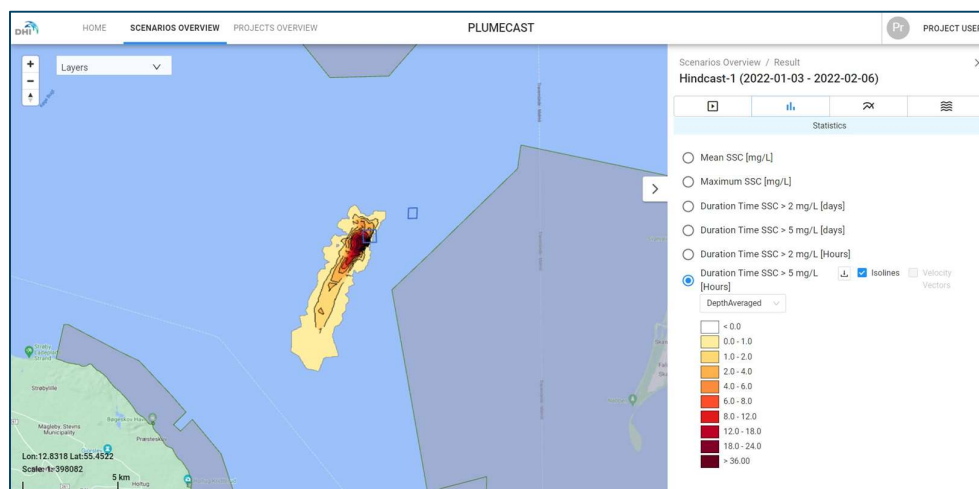
På baggrund af de udførte klappinger frem til den 6. februar, er den akkumulerede overskridelsesvarighed af en dybdemidlet koncentration på 2 mg/l beregnet. De beregnede koncentrationer indeholder ikke et bidrag fra den naturlige baggrundskoncentration og er dermed udelukkende relateret til effekten fra klappingerne.

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 ingen af de omkringliggende Natura 2000 områder er influeret af klappanerne.



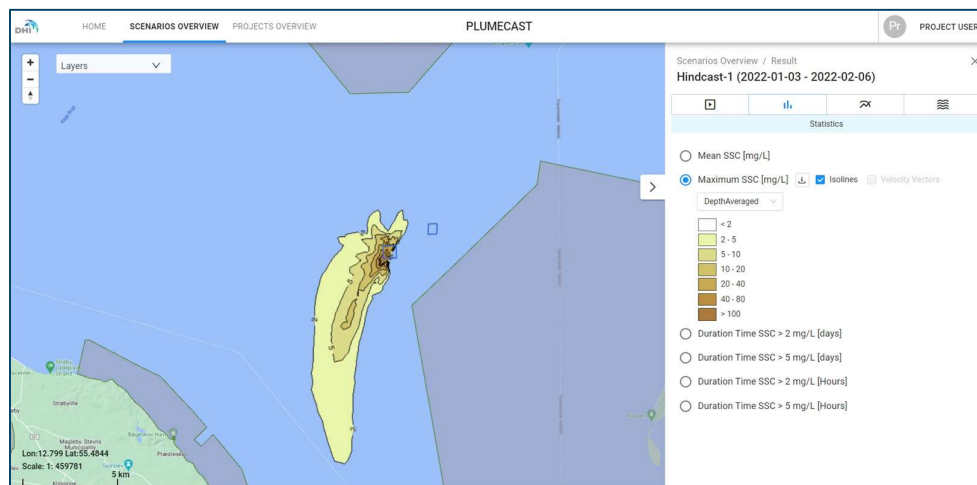
Figur 15 Akkumuleret overskridelsesvarighed af dybdemidlet SSC på 2 mg/l.

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.



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

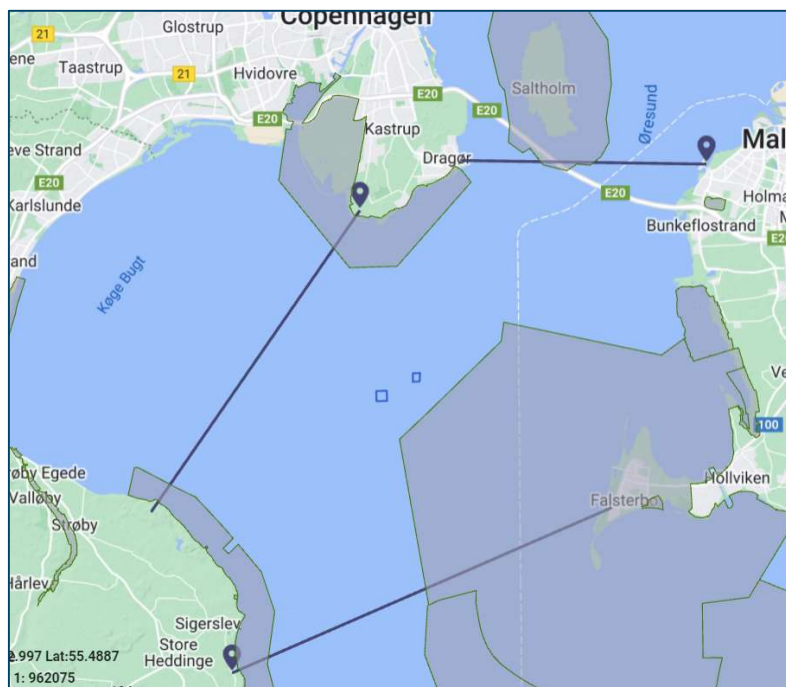
Til illustration af det maksimale påvirkningsområde relateret til klappning af materiale og en efterfølgende re-suspension, er der i Figur 17 vist dybdemidlet maksimum sedimentkoncentration i hindcast perioden løbende fra den 3. januar 2022 til og med den 6. februar 2022. Det fremgår at spredningen primært er i sydgående retning og at der ikke har fundet nogen påvirkning af Natura 2000 områderne sted.



Figur 17 Maksimum dybdemidlet sedimentkoncentration i hindcast perioden.

3.3 Spredning af klappmateriale til omkringliggende vandområder

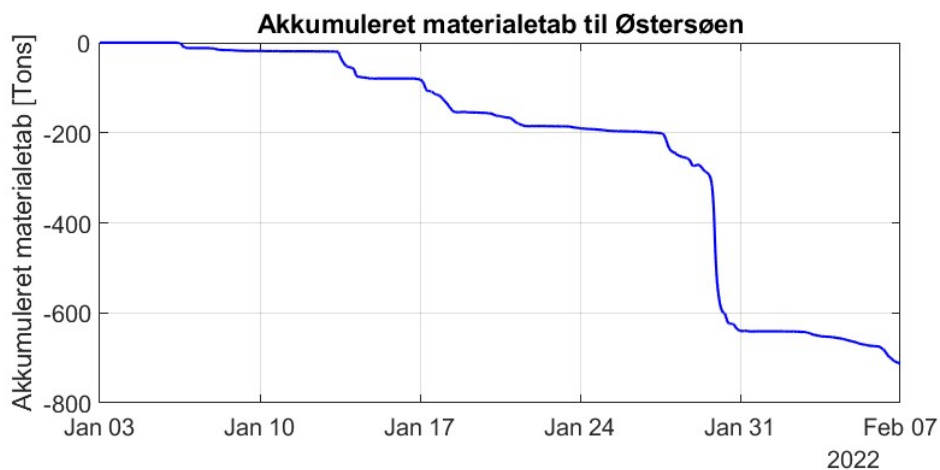
Afhængig af klappmaterialets karakter vil der være risiko for spredning af finkornet materiale til de omkringliggende vandområder, dels som følge af selve klappningen, men potentielt i endnu større grad som følge af re-suspension af tidligere klappet materiale. Tabet af klappmateriale beregnes som den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



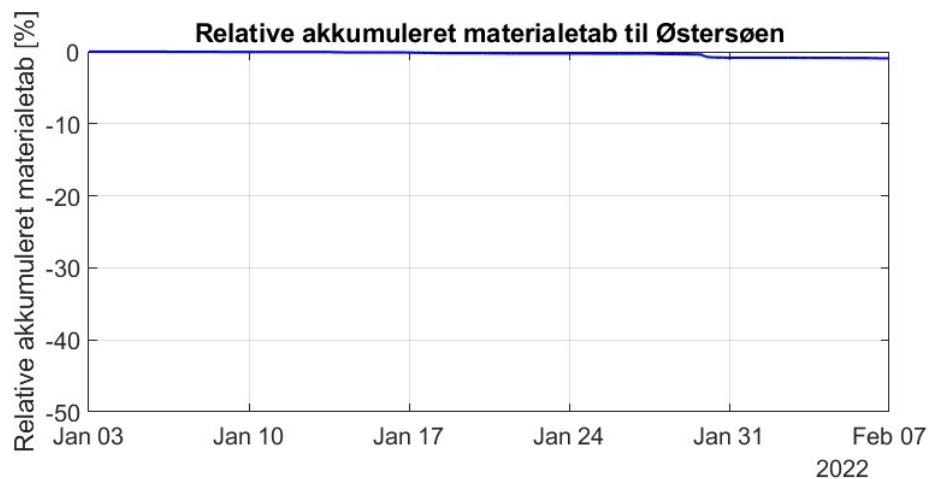
Figur 18 Placering af de tre tværsnit (Østersøen, Nordlige Øresund og Køge Bugt), hvorover sedimentfluxen beregnes.

Bundstrømmen ved klapplassen er hovedsagelig rettet mod sydvest. Der vil derfor være en overvejende tendens til, at klappmaterialet 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. Det ses, at der typisk vil kunne udløses et større materialetab i forbindelse med stormflodshændelser og saltvandsindbrud, jf. dynamikken omkring den 30. januar. Den samlede masse af sedimenter som forlader modelområde i retning mod syd, er beregnet til 713 tons, som svarer til cirka 0,92% af klappmængden over hindcast perioden. I Figur 20 er klaptabet angivet som det relative tab i procent af den samlede klappmængde i hindcast perioden. Det ses, at tabet er ganske beskedent.



Figur 19 Akkumuleret materialetab til Østersøen.

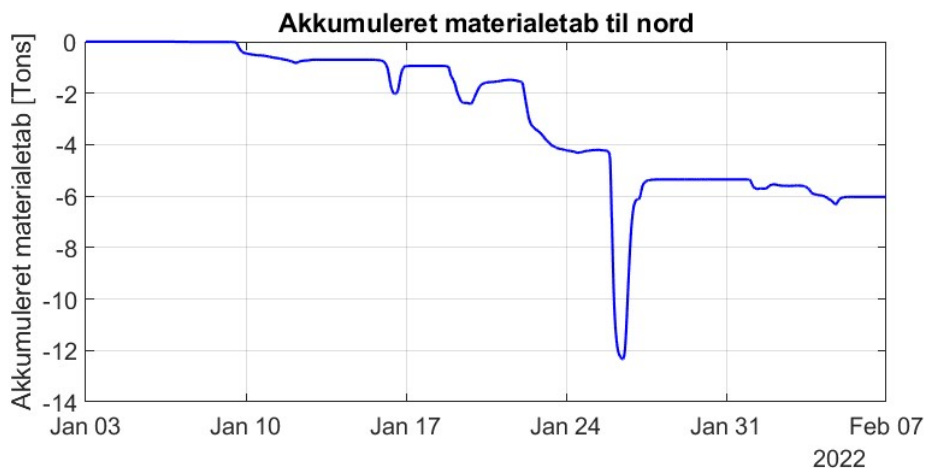


Figur 20 Relativt akkumuleret materialetab til Østersøen.

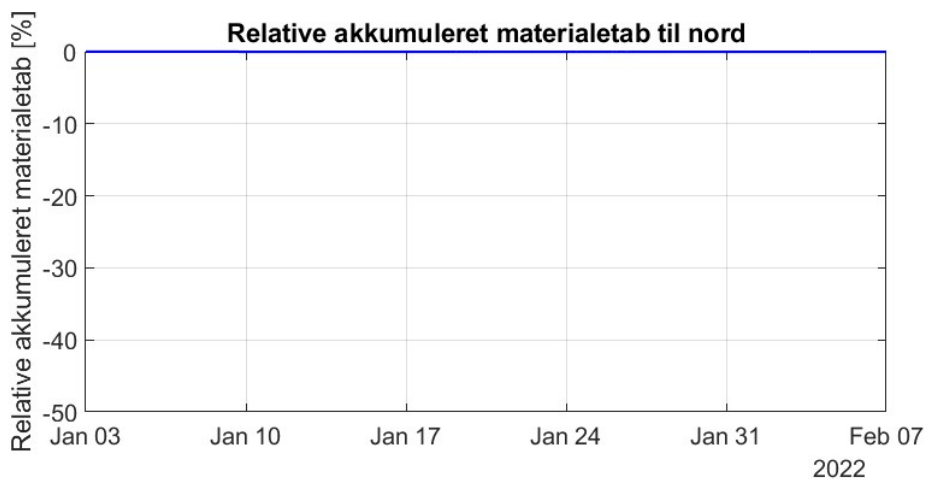
Hele hindcast perioden har overvejende været domineret af forhold med sydvestgående bundstrøm. Det akkumulerede sedimenttab til vandområdet beliggende nord for Drogden tærsklen (Øresund), er derfor ganske beskedent. Dels som følge af strømforholdene, men også som følge af at klappmaterialet i hindcast perioden har et meget lavt indhold af finkornet sediment.

Det akkumulerede sedimenttab til nord (Øresund) igennem hindcast perioden er vist i Figur 21 i form af en tidsserie. I nogle situationer vil dele af materialet kunne trækkes tilbage til vandområdet med klappladserne, som det eksempelvis sker i perioden omkring den 27.

januar. Den samlede masse af sedimenter som forlader området i retning mod nord, er 6 tons, hvilket er ca. 0,008% af klapmængden i hindcast perioden. I Figur 22 er klaptabet angivet som det relative tab i procent af den samlede klapmængde i hindcast perioden. Det ses, at der nærmest ikke er et tab.

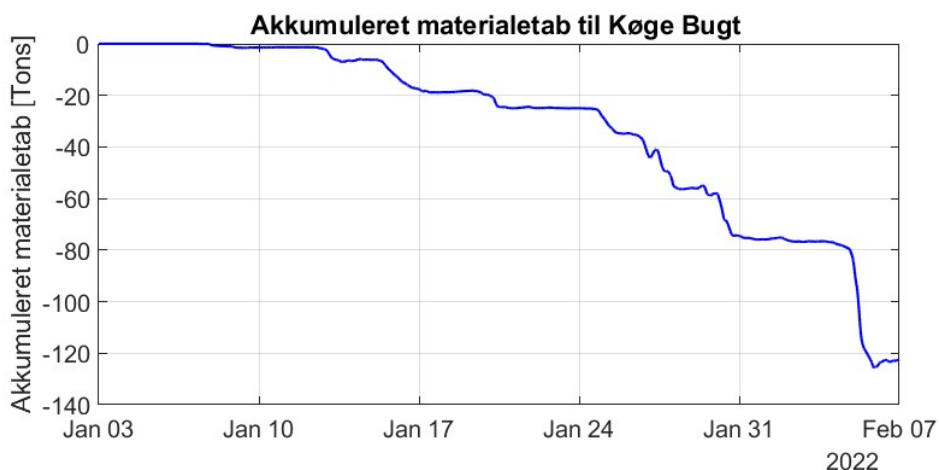


Figur 21 Akkumuleret materialetab til vandområdet nord for Drogdentærsklen.



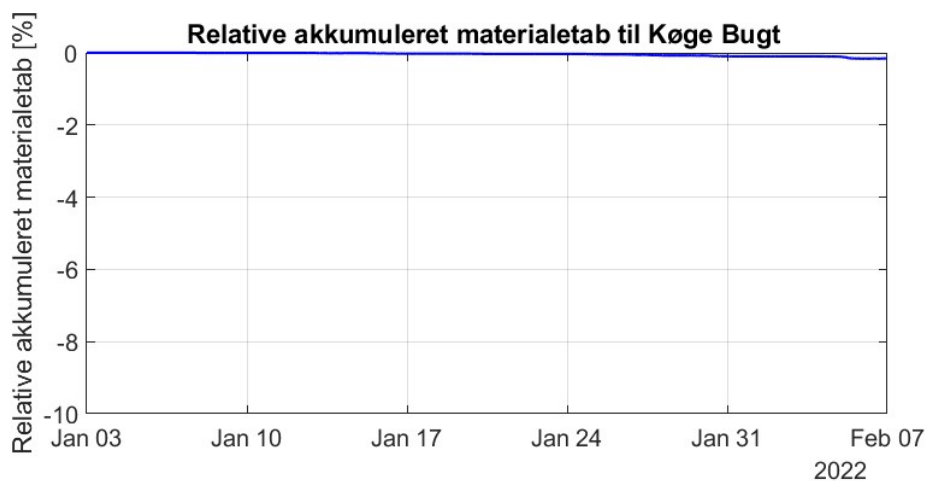
Figur 22 Relativt akkumuleret materialetab til vandområdet nord for Drogdentærsklen.

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. Den samlede masse af sedimenter som forlader modelområdet i retning mod Køge Bugt, er estimeret til 123 tons, hvilket er ca. 0,16% af klapmængden i hindcast perioden, jf. Figur 24.



Figur 23 Akkumuleret materialetab til Køge Bugt

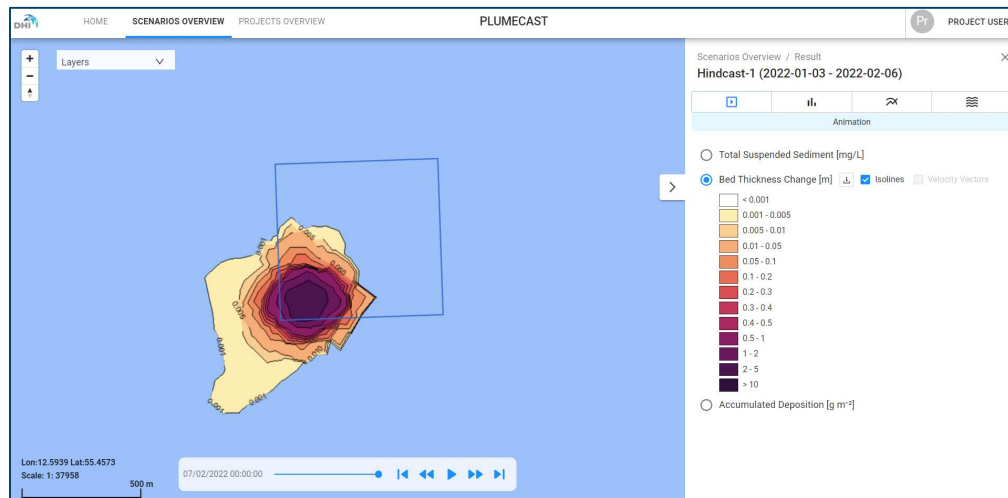
Samlet set er der fundet en ganske beskedne spredning af klapmateriale til de omkringliggende vandområder (1,09%), hvilket hænger sammen med at der i hindcast perioden kun er klappet materiale fra uddybningen af sejlrenden ved Svælget syd for Middelgrundten. Spredningen vil øges i takt med, at der klappes materiale fra Lynetteholm perimeteren.



Figur 24 Relativt akkumuleret materialetab til Køge Bugt.

3.4 Deposition

I hindcast perioden frem til den 6. februar er der klappet 77.400 ton, hvoraf de 66.404 ton er aflejret indenfor det med blå ramme markerede klapppladsområde. Langt størstedelen af klapmaterialet (~86%) er aflejret i selv klappområdet, som følge af at klapmaterialet fra Svælget er relativt groft. Figur 25 viser et aflejringsskema for det klappede materiale. Mindste viste aflejringstykkelser 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. Hovedparten af de 14% som ikke er aflejret indenfor klapppladsområdet er, som det fremgår af Figur 25 aflejret i umiddelbar nærhed af klapppladsen. Spredningen af materiale til øvrige vandområder; Østersøen, Øresund nord for Drogdøntærsklen og idvandszonen Køge Bugt er yderst beskedne, jf. afsnit 3.3.



Figur 25 Aflejringskort for materialet klappet i hindcast perioden.

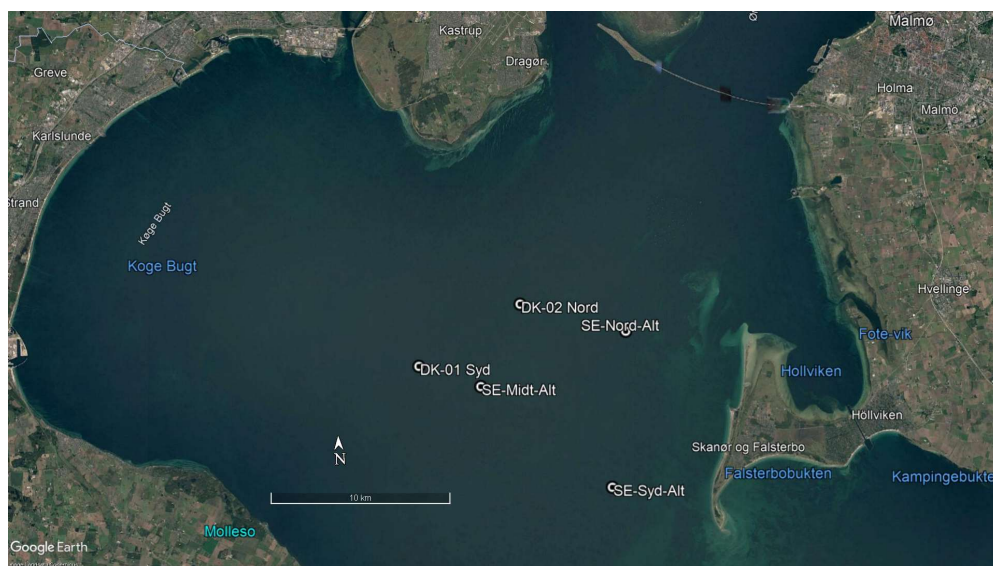
4 Turbiditetsmålinger

Det hårde vejr med gentagne lavtrykspassager uge efter uge, har gjort det vanskeligt at finde egnede tidsvinduer, hvor turbiditetsstationerne har kunnet løftes sikkert op til havoverfladen og tømmes for data. I weekenden 26-27. februar lykkedes det at bjærge de 5 stationer og tappe dem for data. De 5 stationer er beliggende på de i Tabel 1 angivne positioner og vanddybder. Turbiditetsmålerne er placeret en meter over havbundsniveau. Der er anvendt to forskellige typer af instrumenter. På stationerne DK-01 Syd, DK-02 Nord og SE-Syd-Alt er der anvendt instrumenter af typen Seaguard. Disse instrumenter måler udover turbiditet også vandtemperatur, strøm og tryk. På stationerne SE-Nord-Alt og SE-Syd-Alt er der anvendt instrumenter af typen WQM fra Wetlabs. Disse instrumenter måler udover turbiditet også vandtemperatur, saltholdighed og tryk. Tryk og strømmålingerne er nyttige til at forstå dynamikken og identificere de perioder, hvor der sker en re-suspension af de naturlige havbundssedimenter.

Tabel 1 Turbiditetsstationer.

Stationsnavn	Længdegrad	Breddegrad	Vanddybde [m]
DK-01 Syd	12,55638	55,44524	15
DK-02 Nord	12,64769	55,47391	11
SE-Nord-Alt	12,739474	55,458061	10,5
SE-Syd-Alt	12,721424	55,380833	10,4
SE-Midt-Alt	12,60995	55,43382	11

Figur 26 viser hvor i det sydlige Øresund at de fem turbiditetsstationer er placeret.



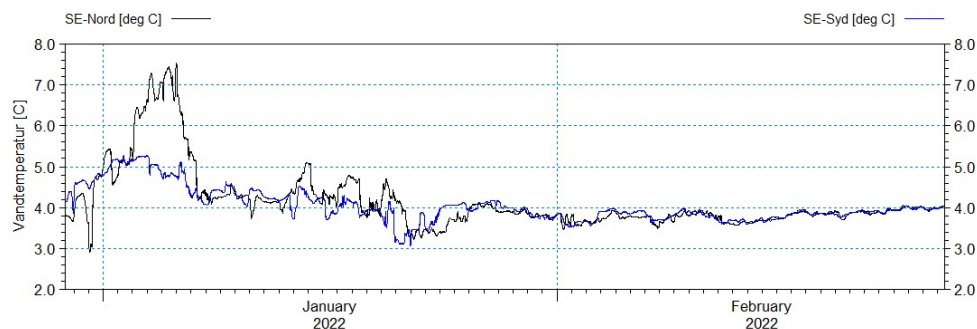
Figur 26 Oversigtskort visende de 5 turbiditetsstationers placeringer.

Det materiale som der er klappet i hindcast perioden adskiller sig ikke nævneværdigt fra det havbundsmateriale som forefindes naturligt i området omkring klappadserne. Man må derfor forvente at de udslag som registreres i turbiditet ikke er relateret til det klappede

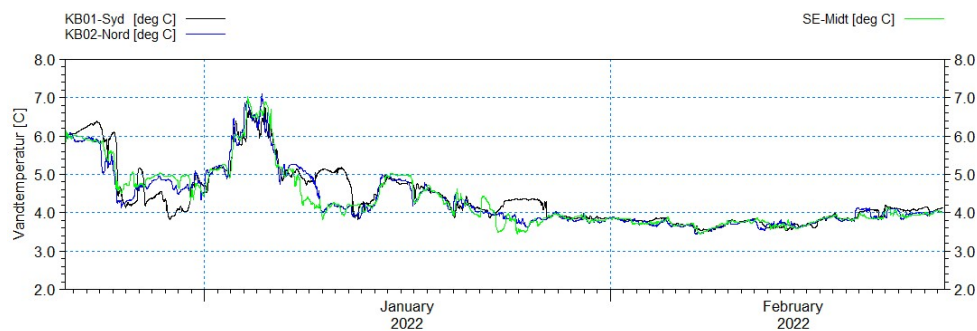
materiale, men i stedet til den for området naturlige dynamik. Turbiditet er en lidt vanskelig størrelse at arbejde med, da det ikke fortæller om udslaget skyldes sedimentpartikler eller anden løsrevet vegetation i form af svæv eller lignende. Yderligere kan der forekomme situationer hvor afrevet vegetation sætter sig fast i nærheden af sensoren og forstyrrer signalet. I dagene omkring d. 29-30. januar passerede stormen Malik. Under en sådan stormflodshændelse vil der typisk været perioder med forhøjet vandstand, forstærket strøm og kraftig bølgepåvirkning af kyster med pålandsvind. Denne påvirkning vil hvirvle kraftigt op i havbunden og særligt på lavere vanddybder, hvor vindbølgenes orbital bevægelse kan mærkes ved havbunden. Løsrevet vegetation, sediment og anden form for svæv bringes dermed i suspension. Mens sand og silt relativt hurtigt vil udfældes fra vandsøjlen i takt med at der optræder mere rolige forhold, kan svæv og løsrevet vegetation spredes og forblive i vandsøjlen i en del længere tid. Denne viden er vigtig at have med i tolkningen af den målte turbiditet.

De her præsenterede turbiditetsmålinger er ikke omsat fra NTU eller FTU til en sedimentkoncentration, men det forhindrer ikke, at der kan laves en tolkning af målingerne. I dette afsnit er der en gennemgang af de målte data i udlægningsperioden, mens der i næste afsnit er foretaget en tolkning af data med fokus på den modellerede hindcast periode og inddragelse af de målte strømforhold og tidspunkter for klapning.

Vandtemperaturen har betydning for vandets kinematiske viskositet. Vandtemperaturen har derfor en mindre påvirkning på opslæmmede partiklers faldhastighed. Ved lavere vandtemperaturer er en sedimentpartikels faldhastigheds lavere end ved en høj temperatur. En sedimentpartikel med kornstørrelsen på 0,01 mm vil eksempelvis have en faldhastighed på 0,050 mm/s ved 0°C, 0,067 ved 10°C og 0,087 ved 20°C. I Figur 27 og Figur 28 er vist målte vandtemperaturer 1 meter over havbundsniveau ved hver af de 5 stationer. De kortvarige udsving i den målte temperatur af nogle dages varighed hænger typisk sammen med saltvandsindbrud.

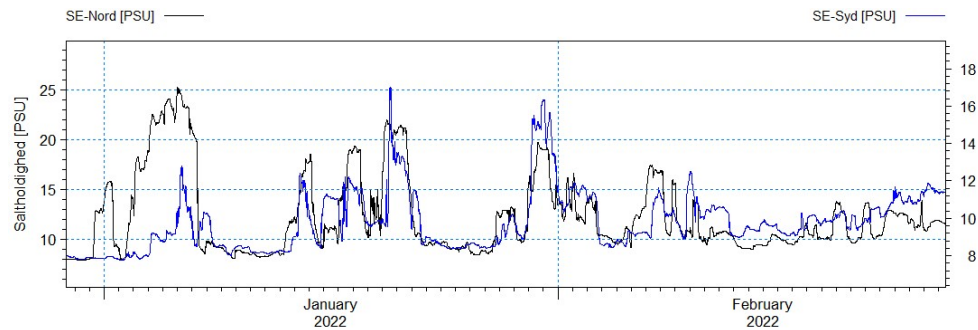


Figur 27 Målt vandtemperatur 1 meter over havbund ved SE-Nord og SE-Syd.



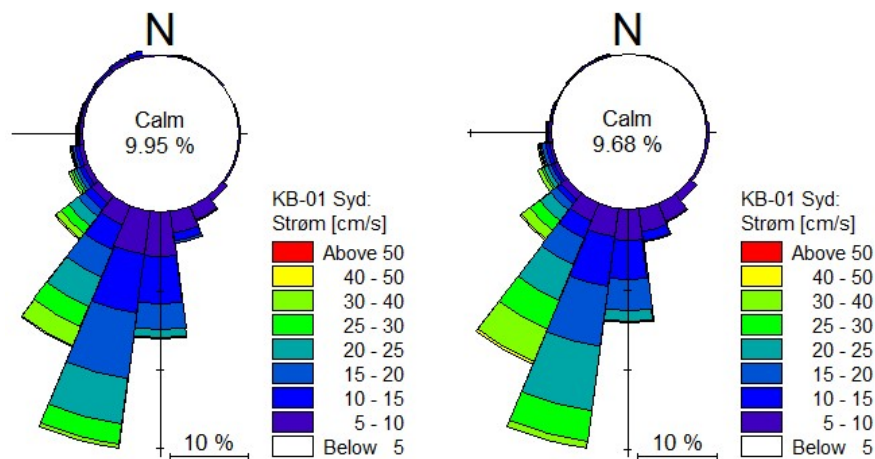
Figur 28 Målt vandtemperatur 1 meter over havbund ved KB01-Syd, KB02-Nord og SE-Midt.

Den målte saltholdighed ved stationerne SE-Nord og SE-syd er vist i Figur 29. Det ses, at der med jævne mellemrum optræder saltvandsindbrud. Den største påvirkning ses for SE-Nord som ligger nærmest Drogden tærsklen.

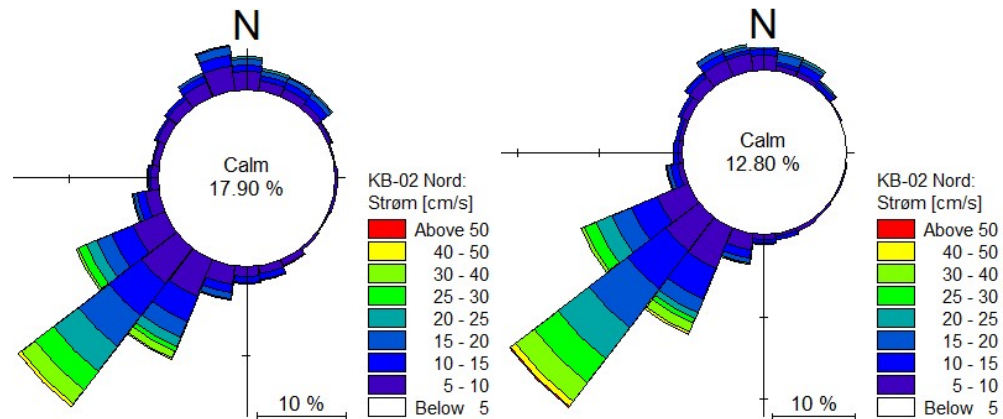


Figur 29 Målt saltholdighed 1 meter over havbund ved SE-Nord.

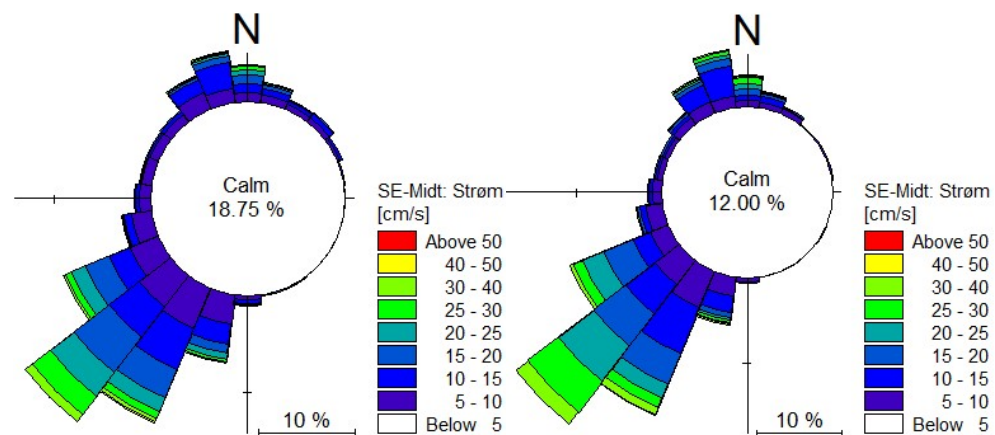
De målte bundstrømforhold ved de tre stationer KB01-Syd, KB02-Nord og SE-Midt er illustreret ved brug af strømroser i Figur 30 til Figur 32. I den vestre side angiver rosen strømforholdene i hele instrumentets udlægningsperiode, mens den højre rose viser strømforholdene i hindcast perioden fra d. 3. januar – 7. februar 2022. Det ses, at bundstrømmen på de tre lokaliteter primært er rettet mod sydvest eller sydsydvest. Resuspenderet materiale vil derfor primært trækkes i retning mod dybereliggende områder i Østersøen. Strømroserne viser, at der har været en kraftigere dynamik i hindcast perioden sammenlignet med hele udlægningsperioden.



Figur 30 Strømroser for KB-01 Syd. Venstre side: Strømforhold 1 meter over havbund i hele udlægningsperioden. Højre side: Strømforhold 1 meter over havbund i hindcast perioden.



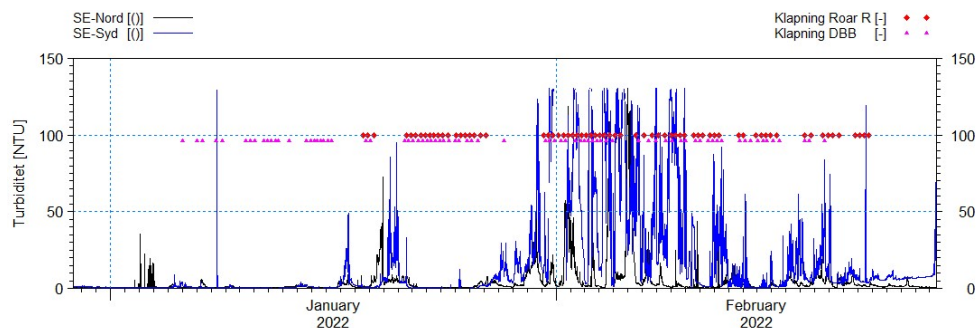
Figur 31 Strømroser for KB-02 Nord. Venstre side: Strømforhold 1 meter over havbund i hele udlægningsperioden. Højre side: Strømforhold 1 meter over havbund i hindcast perioden.



Figur 32 Strømroser for SE Midt. Venstre side: Strømforhold 1 meter over havbund i hele udlægningsperioden. Højre side: Strømforhold 1 meter over havbund i hindcast perioden.

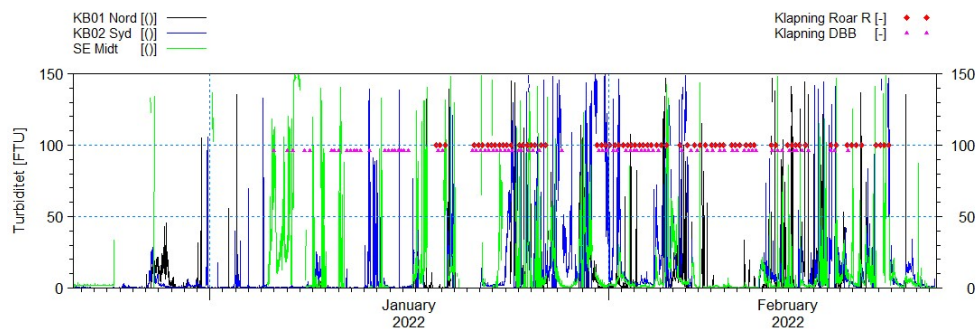
Et udslag i turbiditet relaterer ikke nødvendigvis til sediment i suspension, men kan også være relateret til løstrevet vegetation eller svæv. Figur 33 og Figur 34 viser den målte turbiditet på de 5 stationer i hele udlægningsperioden. Tidspunkter for klapninger er vist med de lyserøde og røde markører. Der er kun vist klapninger frem til den 19. februar for DBB og frem til den 22. februar for Roar R. Alle de markerede klapninger i plottene er med materiale fra uddybningen af sejlrenden ved Svælget syd for Middelgrunden. Det ses, at udslagene i turbiditet ikke hænger sammen med de foretagne klapninger. SE-Syd stationen er beliggende tættest på land og grænser op til mere lavvandede områder ved Falsterbonæsset. Det er tydeligt at se på signalet, at de høje turbiditetsniveauer er udløst af stormen Maliks hærgen i dagene omkring d. 29.-30. januar. Den kraftige vind og bølgepåvirkning har afrevet havbundsvegetation og hvirvlet bundsedimentet og organisk materiale i form af svæv op, som spredes væk fra de lavvandede områder og kun langsomt udfældes. Ydermere kan der også være en tilførsel af meget finkornet sediment fra land. Der ses derfor forsat et højt turbiditetsniveau i området for SE-Syd stationen en hele uge efter stormens passage. På SE-Nord stationen er turbiditetsniveauet lavere. Stationen er beliggende længere væk fra kysten og dermed mindre påvirket. Der optræder tre turbiditet

peaks i perioden efter stormen Malik, som formentlig er dikteret af strømforhold og tilførsel af vand fra områder med højt indhold af finkornet sediment og svæv i vandet.



Figur 33 Målt turbiditet 1 meter over havbund ved Se-Nord og SE-Syd i perioden 29. december 2021 til 27. februar 2022. Lyserøde og røde markører angiver tidspunkter for klapping.

På de tre stationer beliggende længst væk fra kysten forekommer der med mere jævne mellemrum større udslag i turbiditetsniveauet. Disse udslag er i højere grad relateret til lokal re-suspension af de naturlige havbundssedimenter. Det målte signal kan dog fortsat blive påvirket af løsevet vegetation og svæv, som bæres afsted over længere strækninger eller sætter sig fast på måleudstyret. I figurerne kan der ikke aflæses nogen egentlig sammenhæng mellem udsving i turbiditet og klappinger. Da der ikke blev udtaget vandprøver på de tidspunkter, hvor der optræder meget høje turbiditetsniveauer, er det ikke muligt at bestemme en præcis omsætningsfaktor for omregning af høj turbiditet til faststofkoncentration (mg/l). En omregning må derfor laves på baggrund af erfaringsmæssige værdier, som foreskriver at faktoren ved omregning fra NTU/FTU til mg/l typisk er omkring 1,5-2. Her er det dog valgt at fastholde værdierne i NTU og FTU, da der ikke kendes en entydig omsætningsfaktor. Sedimentkoncentrationen er lavere end stofkoncentrationen, da denne også indeholder bidrag fra organisk materiale. Der er en del skibstrafik i området, som også kan have været med til at opretholde materiale i suspension i perioden efter stormen Maliks passage eller forårsage en lokal påvirkning. Skibstrafikkens evnen til at hvirvle materiale op må dog anses som værende sekundær i forhold til effekten fra vind og bølger, som virker over meget større områder samtidigt.



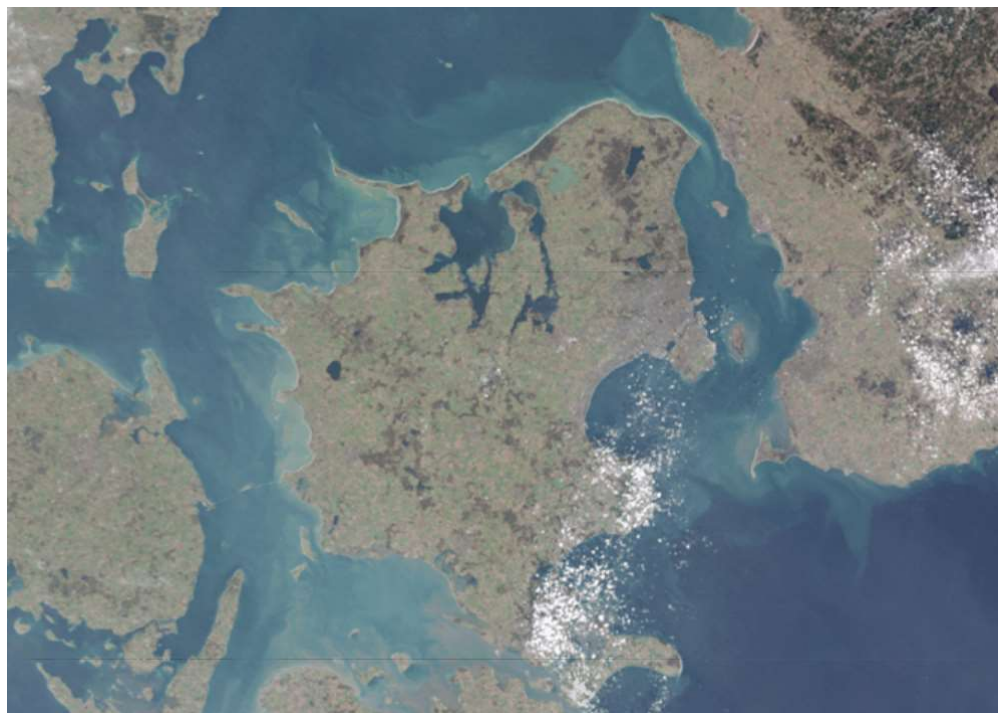
Figur 34 Målt turbiditet 1 meter over havbund ved KB01-Syd, KB02-Nord og SE-Midt i perioden 21. december 2021 til 26. februar 2022. Lyserøde og røde markører angiver tidspunkter for klapping.

Stormen Maliks betydning for turbiditetsniveauet i hele Øresund og langs med både de danske og svenske kyster fremgår med al tydelighed af satellitbilledet vist i Figur 35. Satellitbilledet er fra den 30. januar efter passage af stormen og den efterfølgende opklaring i vejret. Det er tydeligt, at det er bølgeeksponeringen langs med kysterne, som hvirvler materiale op og forårsager de meget høje sedimentkoncentrationer, som strømmen

efterfølgende kan føre til nye steder. Den v-formede sedimentfane i Øresundsåbningen mellem Gilleleje og Kullen indikerer, at strømmingen er sydgående. Saltholm og Peberholm har ud fra billedet at dømme en lævirkningseffekt, som danner en bræmme med lavere turbiditet, der strækker sig over adskillige kilometer i sydvestlig retning. I den efterfølgende periode var det forsat meget blæsende, hvilket har bevirket, at der i en stor del af tiden har være forhold, som har kunnet opretholde et vedvarende højt turbiditetsniveau. Figur 36 viser et billede fra den 7. februar, hvor der forsat er et relativt højt turbiditetsniveau i området vest for Falsterbonæsset.

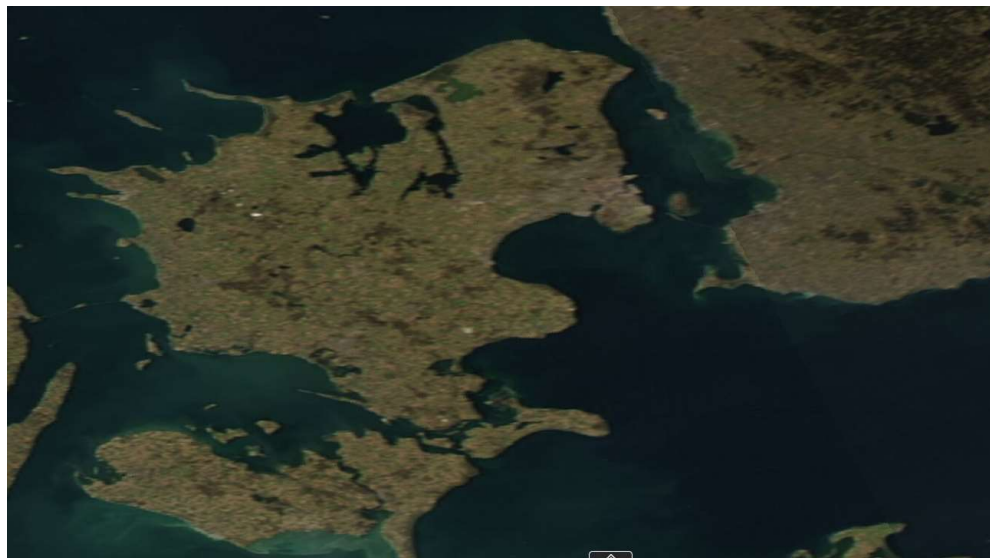


Figur 35 Satellitbillede i naturlige farver fra den 30. januar 2022.



Figur 36 Satellitbillede i naturlige farver fra den 7. februar 2022.

Figur 37 viser et satellitbillede i naturlige farver fra den 26. februar. Det ses, at turbiditetsniveauet er langt lavere end efter stormen den 30. januar. På billedet kan man dog se antydningen af sedimentfaner langs med de vest- og sydvestvendte danske og svenske kyster. Sedimentfaner som er forårsaget af en vindgenereret bølgepåvirkning.

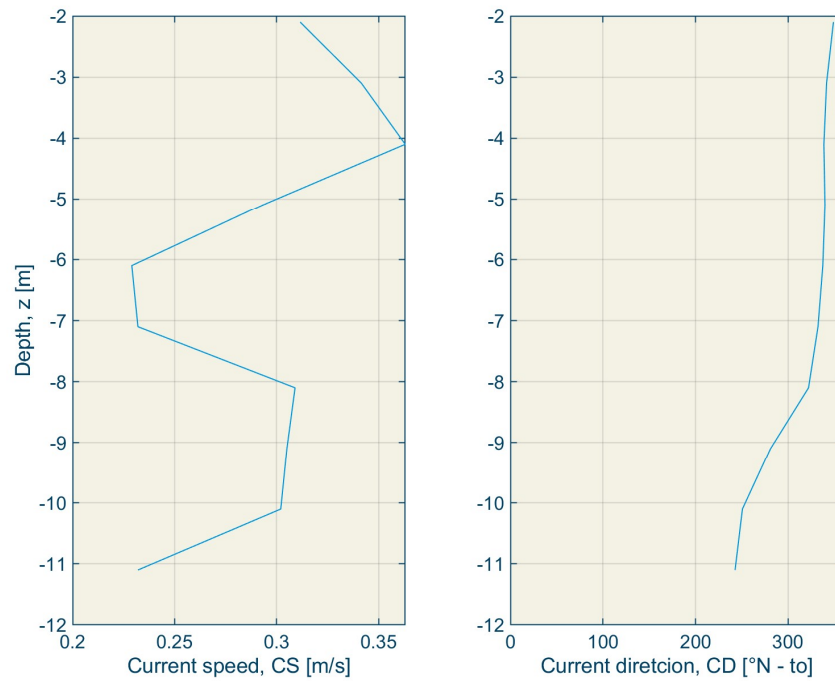


Figur 37 Satellitbillede i naturlige farver fra den 26. februar 2022.

5 Transektmåling af sedimentflux og klaptab

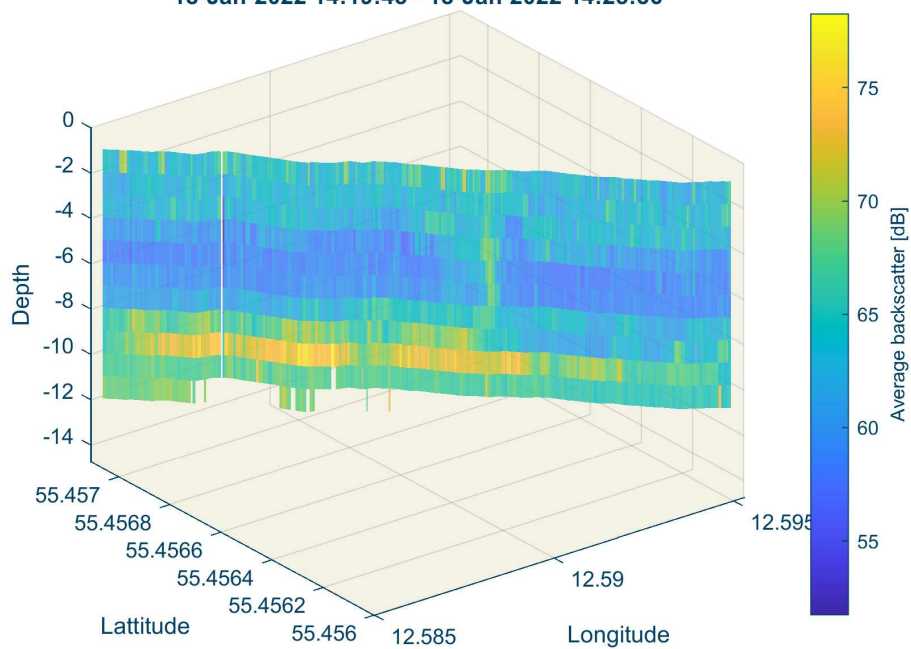
Der er i hindcast perioden foretaget en enkelt transektmåling af sedimentfluxen i forbindelse med klapning af materiale fra Svælget. Målingen blev foretaget i dagslys den 18. januar 2022. Målingen blev foretaget i en afstand af cirka 200 meter nedstrøms klapningen. Der blev klappet kl. 14:15 UTC. Transektet blev målt fra kl. 14:19 til 14:25. Efterfølgende kunne der ikke registreres et forhøjet niveau i sedimentkoncentrationer. Ifølge klaploggen fra Roar R blev der klappet et bulk volumen på 650 m³. Massen er ikke opgivet i klaploggen, men er efterfølgende skønnet til 1254 tons, hvoraf de 966 tons er tørstof.

Strømmen var nordgående og varierede, som det fremgår af Figur 38, med mellem 0,23-0,36 m/s over vanddybden. Klapmaterialet var sammensat af sten, større kalkflager og sand med et forventet meget lille indhold af finkornet sediment. Transektet med backscatter, optegnet i Figur 39, viser en proxy for koncentrationerne i transektet 200m nedstrøms klapstedet. Umiddelbart efter transektsejladsen, hvor der målt backscatter, sejlede der tilbage til det område, hvor backscatter målingerne indikerede den højeste sedimentkoncentration. Her føres en turbiditetsmåler ned igennem vandsøjlen, hvorved der opsamles et turbiditetsprofil over dybden. Samtidig blev der udtaget ved hjælp af en pumpe en mængde vandprøver, hvis formål var at etablere en relation mellem målt NTU og faktisk sedimentkoncentration. Figur 40 viser sammenhængen mellem turbiditet og sedimentkoncentrationen i de enkelte vandprøver. Omsætningsfaktoren (1,68) findes på baggrund af de seks vandprøver, som den ved lineær regression fundne hældning. Variationen i sedimentkoncentrationer er ganske beskeden eftersom klapmaterialet fra Svælget er groft graderet. Den her fundne faktor kan derfor ikke bruges direkte til at omsætte den målte turbiditet på de fem faste stationer. Det kan dog konstateres, at en omsætningsfaktor på 1,68 er indenfor det spænd, man normalt ville forvente.



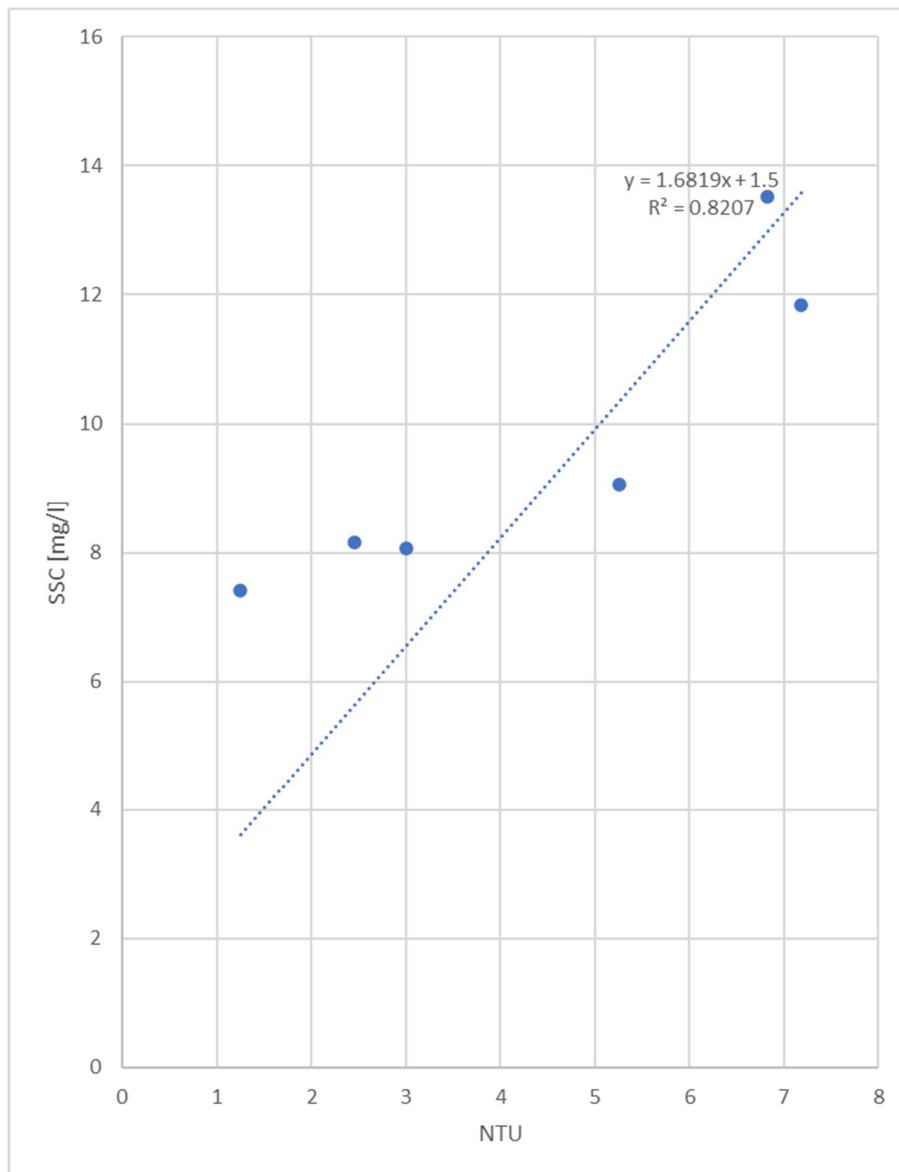
Figur 38 Målt strømprofil og strømretning på klaptidspunktet.

K_010_02_0_005_22-01-18_095610_lynetteascii_ASC
18-Jan-2022 14:19:45 - 18-Jan-2022 14:25:36



Figur 39 Målt backscatter. De gule farver indikerer området med suspenderet sediment fra klapningen.

Ved hjælp af backscattertransektet kan den spatiale udbredelse af de forhøjede sedimentkoncentrationer bestemmes. Ved integration af det målte strøm- og sedimentkoncentrationsprofiler er sedimentfluxen fra klapskyen estimeret til blot 47 kg/time. En så lille sedimentflux betyder i praksis at klaptabet ved denne klapning praktisk talt var nul. Det må afvente yderligere analyser af transektmålinger før det kan afgøres, hvor repræsentativ den udførte transektmåling er for klapsildet. Men det er forventeligt at klaptabet med materiale fra Svælget vil være lille, den forventede sammensætning taget i betragtning.

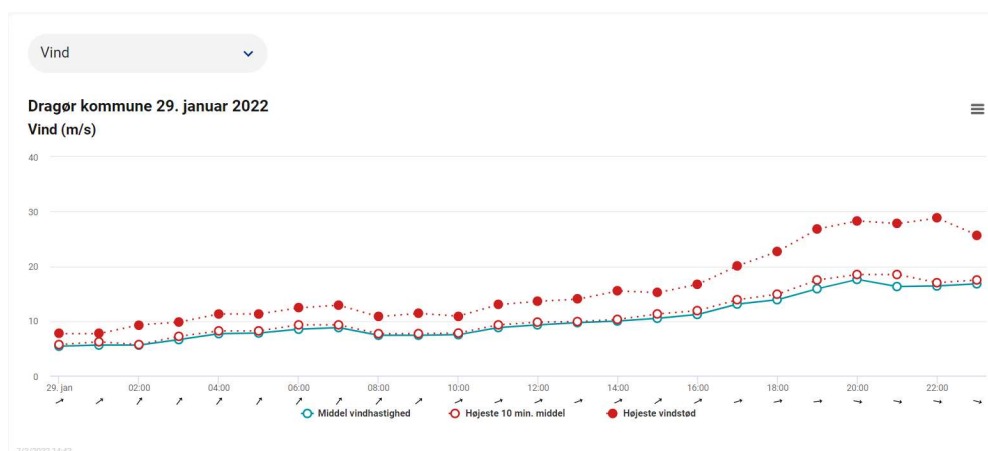


Figur 40 Etablering af relation mellem turbiditet (NTU) og sedimentkoncentration (mg/l).

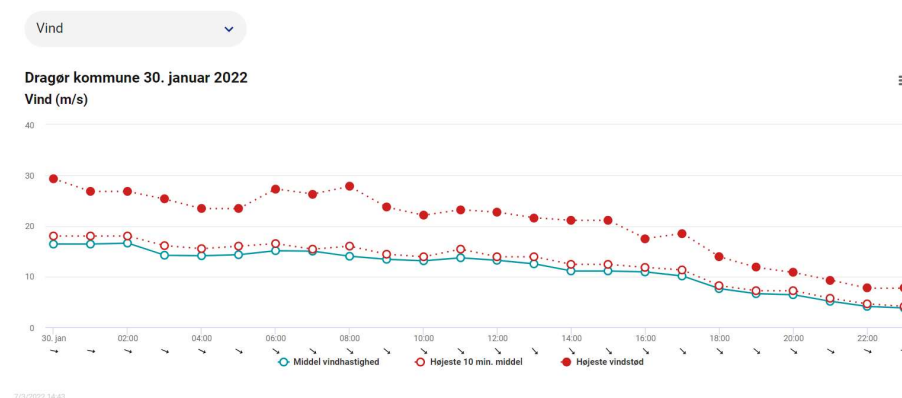
6 Tolkning af den registrerede turbiditet i hindcast perioden

Der er på de 5 turbiditetsstationer i flere perioder målt et ganske højt turbiditetsniveau. Spørgsmål er, hvad der er årsagen til dette. Materialet som er blevet klappet i hindcast perioden adskiller sig ikke væsentligt fra materialet i den naturlige havbund i området omkring klapplassen. Sedimentdynamikken på klapplassen må derfor forventes at være den samme som i områderne uden for klapplassen og vil dermed ikke føre til ændringer i det naturligt forekommende baggrundsniveau.

Stormen Malik passerede området d. 29-30. januar. Vindmålinger fra Dragør viser, at middelvinden i Dragør ikke levede op til definitionen for en storm, men at perioden med kraftig vind var ganske langvarig, jf. Figur 41 og Figur 42. Det skal dog bemærkes at vinden er kraftigere ude på åbent vand og dermed kraftigere end det der fremgår af vindinformationen fra Dragør. Stormens relativt lange varighed har givet gode muligheder for, at bølgerne har kunnet virke eksponerende i lang tid og dermed hvirvle store mængder materiale op i vandsøjlen.



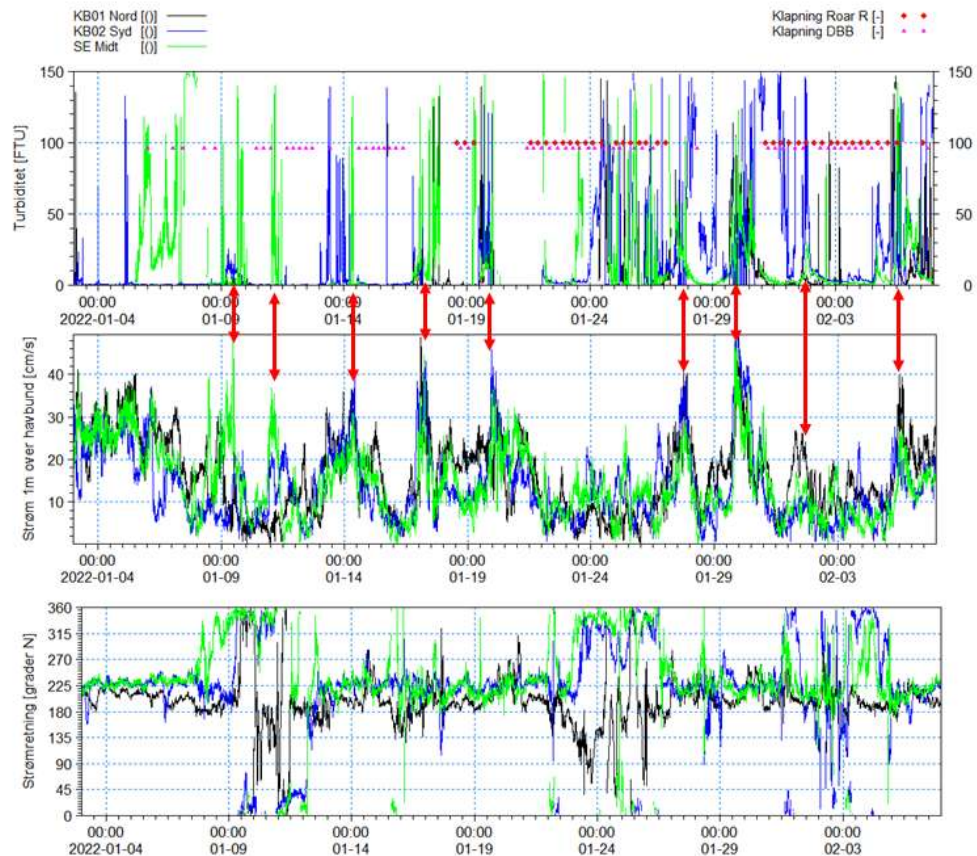
Figur 41 Målt vind ved Dragør 29. januar 2022, kilde DMI.



Figur 42 Målt vind ved Dragør 30. januar 2022, kilde DMI.

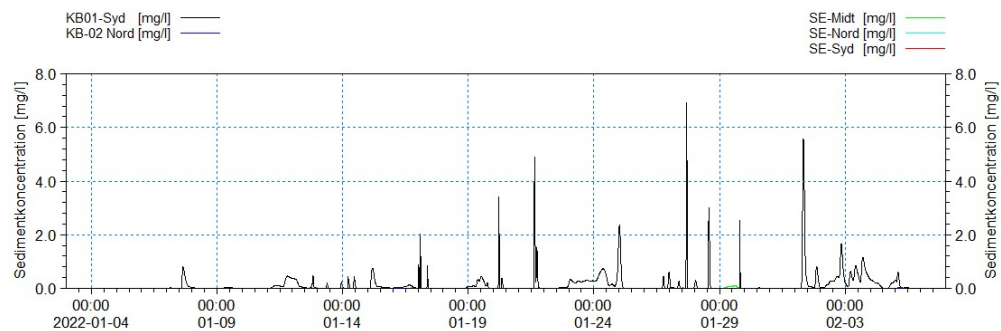
På stationerne DK01-Syd, DK02-Nord og SE-midt er der målt høj turbiditet i flere perioder forud for stormen Malik. I Figur 43 er der vist sammenhængen mellem målt turbiditet, bundstrømhastighed og bundstrømrretning. Det ses, at der er en sammenhæng mellem høje bundstrømhastigheder og turbiditet. Der er ikke en identificerbar sammenhæng mellem klappinger og turbiditetsniveauet ved de tre stationer. De målte høje turbiditetsniveauer må derfor relatere til re-suspension af det naturligt forekommende

havbunds sediment, idet der også registreres høje niveauer nord for klapplassen i perioder med sydgående strøm.



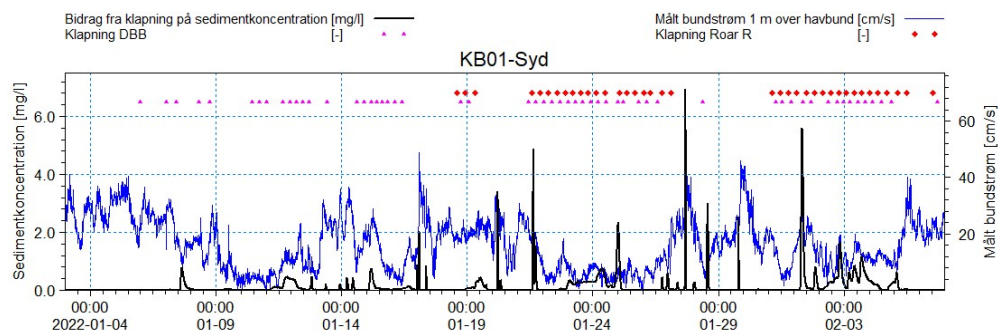
Figur 43 Sammenfald mellem høj turbiditet og kraftig bundstrøm, som forårsager re-suspension af det naturlige havbunds materiale.

Hindcast modellen ser alene på det fra klappingerne tilførte bidrag. Et bidrag som indtil videre er beskedent, da den kumulerede klappmængde er lille og med et lavt indhold af finkornet sediment. I Figur 44 er den modellerede sedimentkoncentration 1m over havbunds niveau i hver af de fem stationer plottet. Det ses, at der kun kan registreres et signal ved KB01-Syd, hvor der kortvarigt er fundet en sedimentkoncentration på op til 7 mg/l. På de øvrige stationer er påvirkningen under 0,5 mg/l.



Figur 44 Modellerede sedimentkoncentrationer udløst af klappning.

I Figur 45 er koncentrationsbidraget fra klapning sammenholdt med bundstrømmen ved station KB01-Syd. Det ses, at de høje sedimentkoncentrationer udløses i forbindelse med kraftig sydgående strøm, der udløser re-suspension af den finkornede del af klappmaterialet. Men niveauet afhænger også af, hvor stor en pulje med finkornet sediment fra tidligere klapninger, der er tilgængelig på klapppladsen og som kan frigives.



Figur 45 Sammenhæng mellem bundstrøm og bidrag fra klapning på sedimentkoncentration 1m over havbund.

Sammenholdt med den naturlige baggrundskoncentration er bidraget fra de udførte klapninger meget lille. I Natura 2000 områderne er bidraget ikke identificerbart og i området omkring klapppladsen er det kun i området sydvest for, at der kan identificeres et mindre bidrag, men som er meget lille i forhold til den observerede naturlige variation.

7 Øvrige aktiviteter

Klapppladsen har i hindcast perioden været benyttet af andre end By & Havn. Avedøre Havn har tilladelse til at klappe materiale stammende fra oprensning af havneområdet. I klaptilladelsen er der angivet, at der er et forventet behov i år (2022) på at klappe 10.500 m³, svarende til cirka 8.160 tons tørstof. Klappning og oprensning må ifølge tilladelsen kun finde sted i perioderne 1. januar – 28. februar og 1. juni – 31. juli. Det er uklart hvordan mængden vil blive fordelt i de to perioder, men der er konstateret klappaktiviteter i hindcast perioden og som ikke indgår i denne analyse. Da klappmaterialet stammer fra oprensning af centrale dele af havnen og området langs den sydvestlige dækmole, må materialet antages at være meget siltholdigt og mere mobilt end klappmaterialet fra Svælget. Klappmængderne fra Avedøre Hav er dog beskedne i forhold til klappmængderne fra uddybningen af sejlrenden og bundudskiftningen ved Lynetteholm.