

# 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:	2022-03-01
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 3. januar 2022 til 6. februar 2022 og omfatter dermed kun klapping af materialer fra Svælget syd for Middelgrunden.

Klapping af materiale startede op den 6. januar 2022, og der er frem til den 6. februar i alt klappet 58.080 m<sup>3</sup> svarende til ca. 77.400 tons på klappads 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 klapping ikke anledning til dage med klappforbud.

## 2 Oversigt af klappmængder

Gravearbejdet i hindcast perioden blev udført med:

- Ajax R (Spandkædemaskine) med 24 timer drift

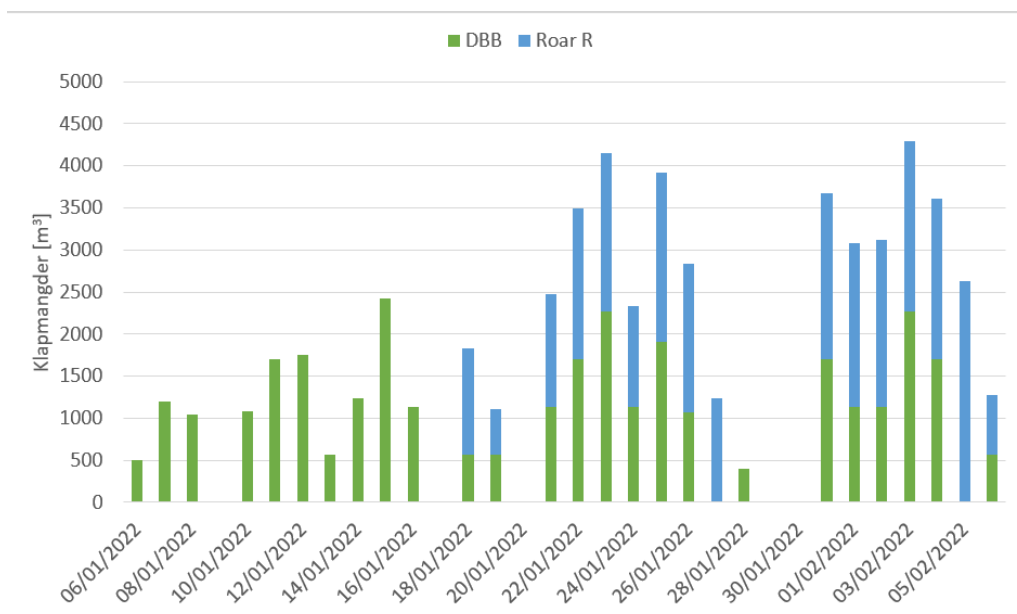
Klapping:

- DBB splitpram 01 med 700 m<sup>3</sup> lastkapacitet
- DBB splitpram 02 med 700 m<sup>3</sup> lastkapacitet
- Rohde Nielsen Roar splitpram med 950 m<sup>3</sup> lastkapacitet

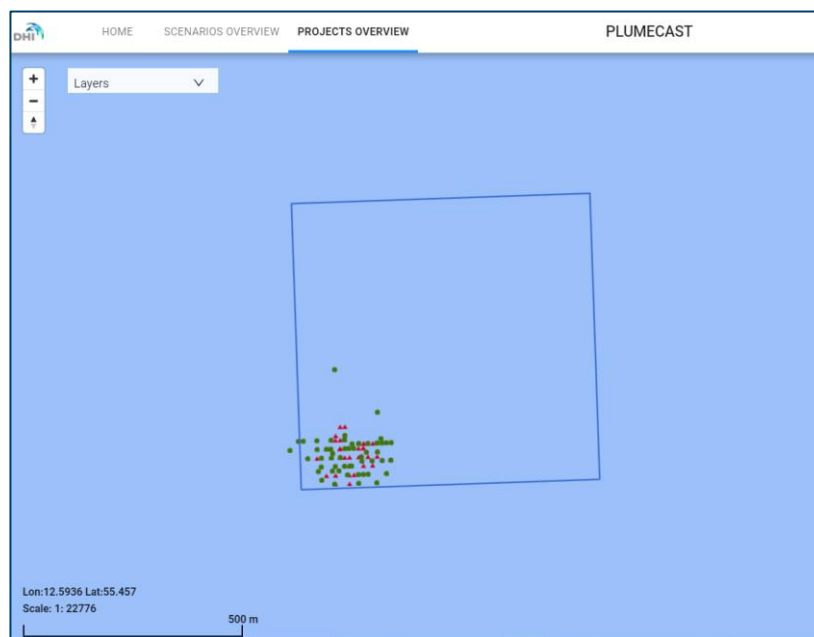
Generelt lastes prammene med en mindre last end den ovenfor opgivne kapacitet.

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 klappingspositioner i hindcast perioden. Grønne markører er for DBB splitprammene og de røde markører er for Roar R. Ifølge de opgivne koordinater er en af klappingerne foretaget lige udenfor det definerede klappadsområde, mens en anden er foretaget på grænsen. Alle klappinger er foretaget i klappadsens sydvestlige sektor. At en klapping er angivet som værende udenfor klappadsområdet, kan skyldes at fartøjet driver mens der klappes og at positionen først er registreret efter at klappmaterialet er tømt.



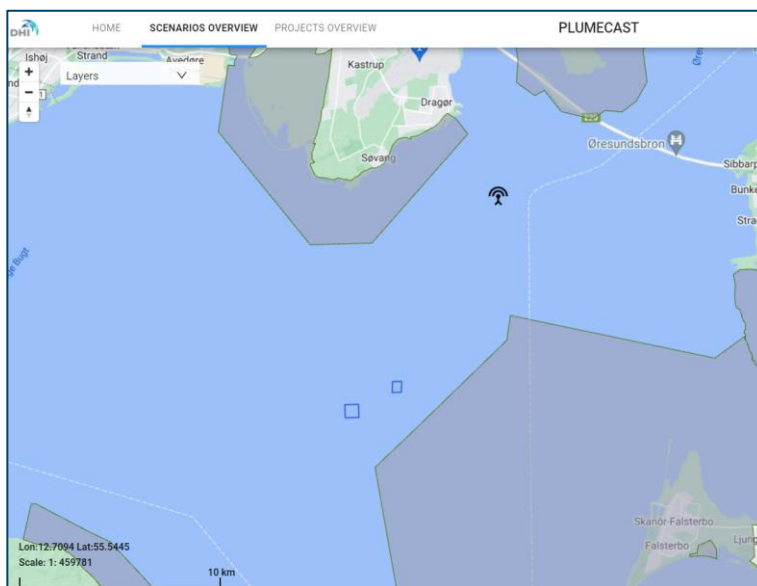
Figur 1 Oversigt over daglige klapmængder i hindcast perioden.



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

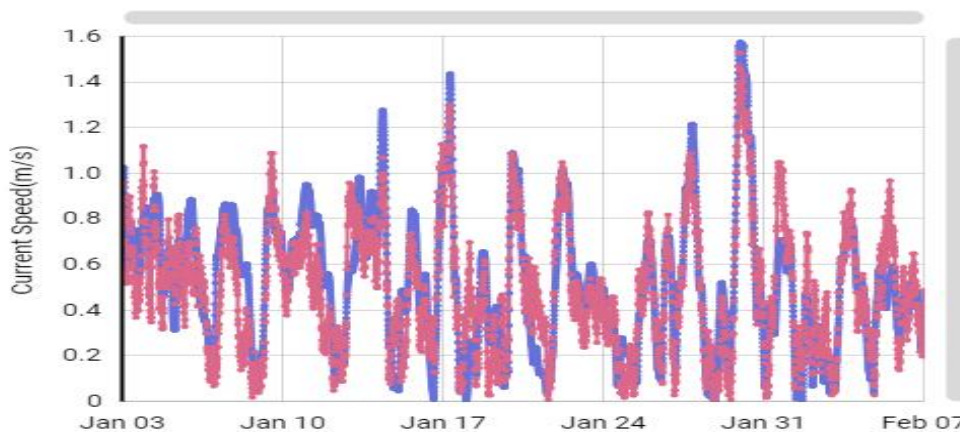
## 2.1 HD-model evaluering

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

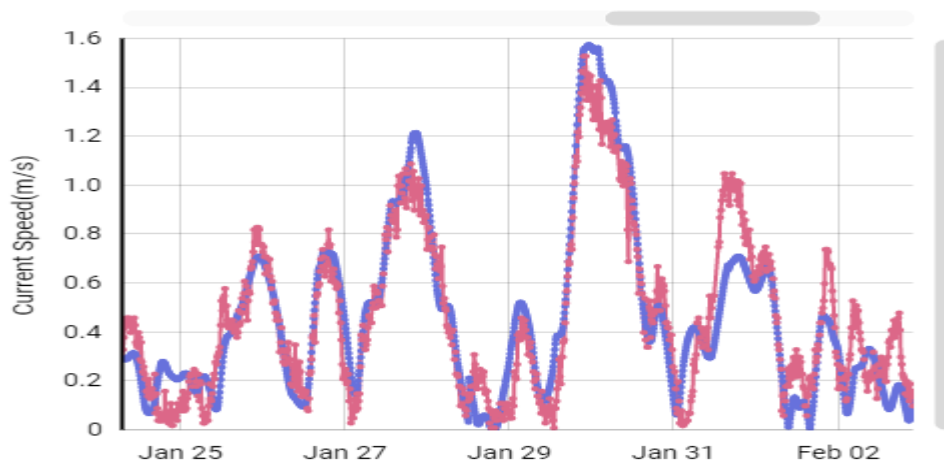


Figur 3 Positionen af strømbøjen ved Drogden Fyr (sort markør).

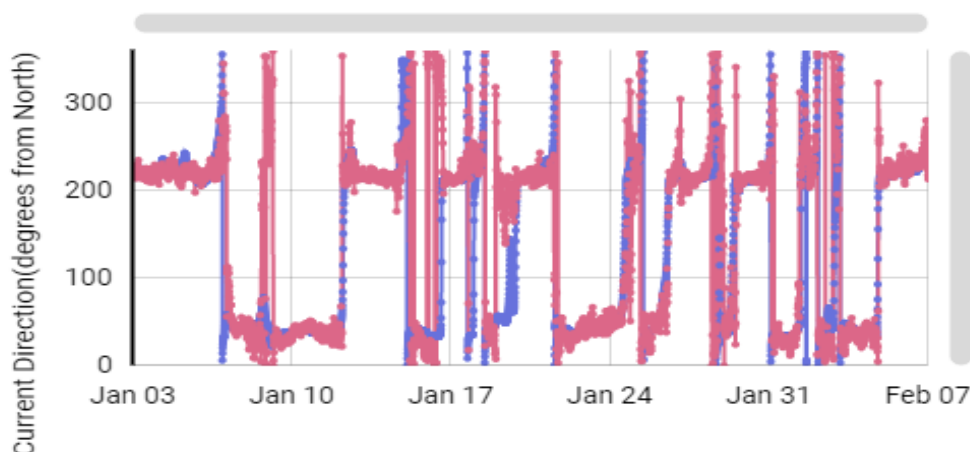
En sammenligning af målte og modellerede strømhastigheder tæt på vandoverfladen i hele hindcast perioden (3. januar – 6. februar) er vist i Figur 4. Den fuldt optrukne blå kurve viser den modellerede strøm, mens den stiplede røde kurve viser den målte strøm. Figur 5 viser et udsnit af Figur 4 i den uge,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

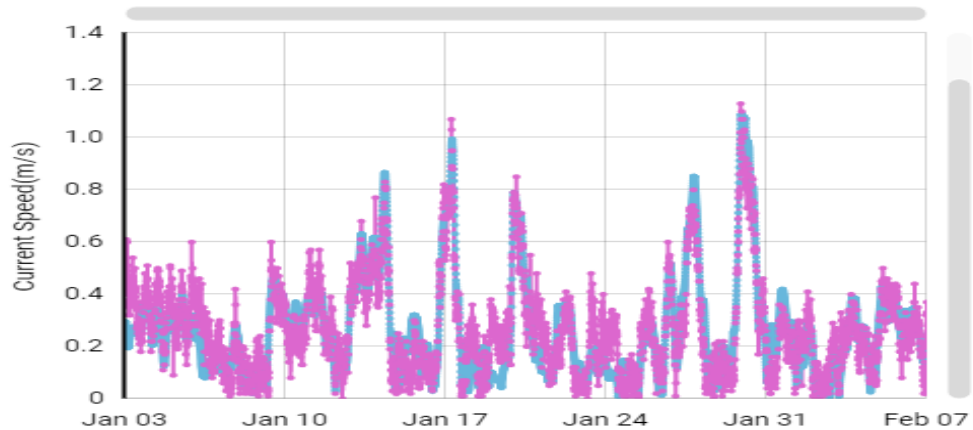


Figur 5 Strømhastighed tæt på havoverfladen ved Drogden Fyr. Blå: Model, Rød: Målinger – eksempel periode 25. januar – 2.februar.

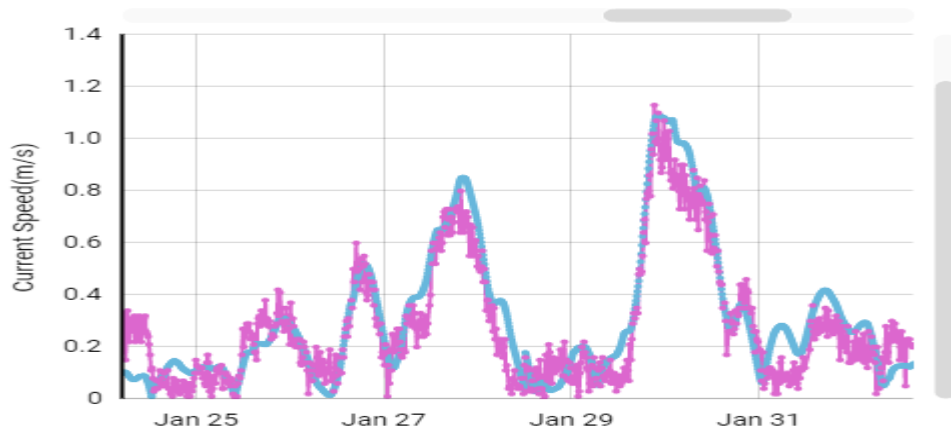


Figur 6 Strømretninger tæt på havoverfladen ved Drogden Fyr. Blå: Model, Rød: Målinger.

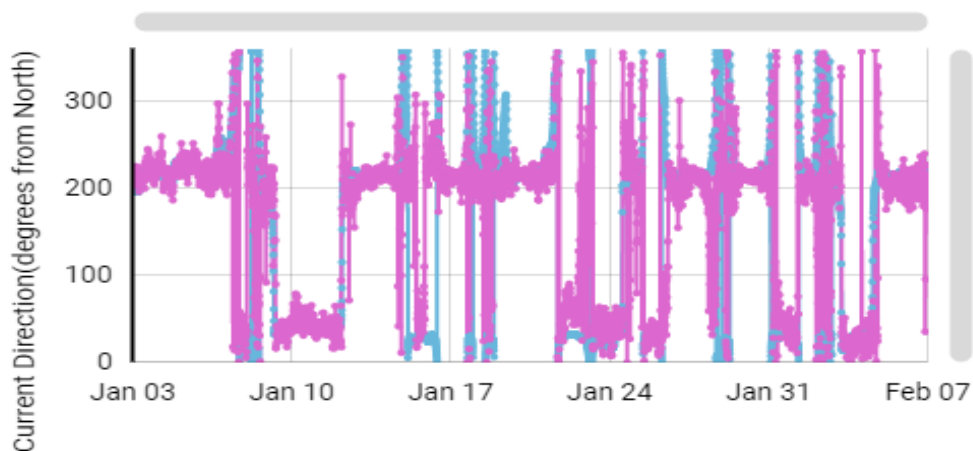
En tilsvarende sammenligning af målte og modellerede strømhastigheder tæt på havbunden i hele hindcast perioden er vist i Figur 7. Den fuldt optrukne lyseblå kurve viser den modellerede strøm, mens den stiplede lyserøde kurve viser den målte strøm. Figur 8 viser et udsnit af Figur 7 i den uge i løbet 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 klappadsområdet 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 klappinger 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 skyggevirksomhedseffekter 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

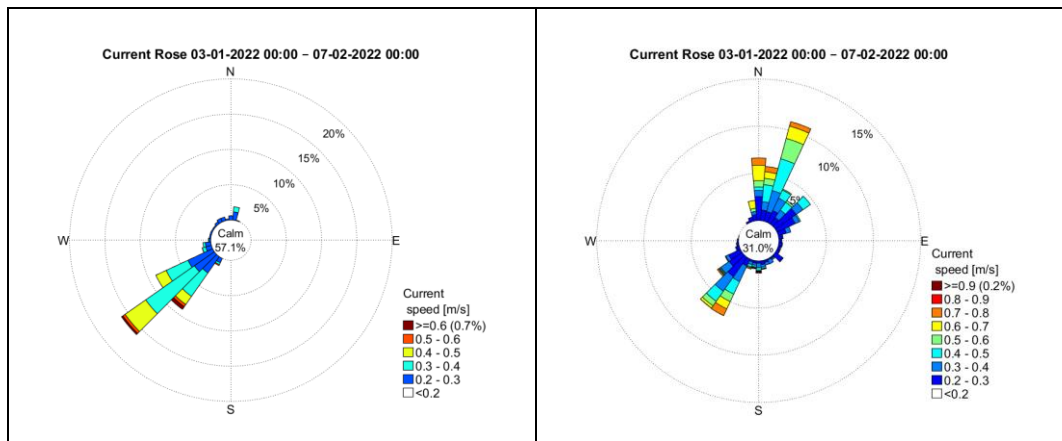
Strømforholdene nær ved havbunden har betydning for hvordan materialet i de enkelte klappinger spredes, men i endnu højere grad betydning for, hvornår tidligere klappet materiale vil blive re-suspenderet og potentielt blive spredt væk fra klapplassområdet. Hvis klappmaterialet er af samme beskaffenhed som den eksisterende havbund, vil klappmaterialet ikke føre til ændringer i den 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 er blevet klappet, samt over hvor stort et område det er blevet spredt i forbindelse med de foretagne klappinger.

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.

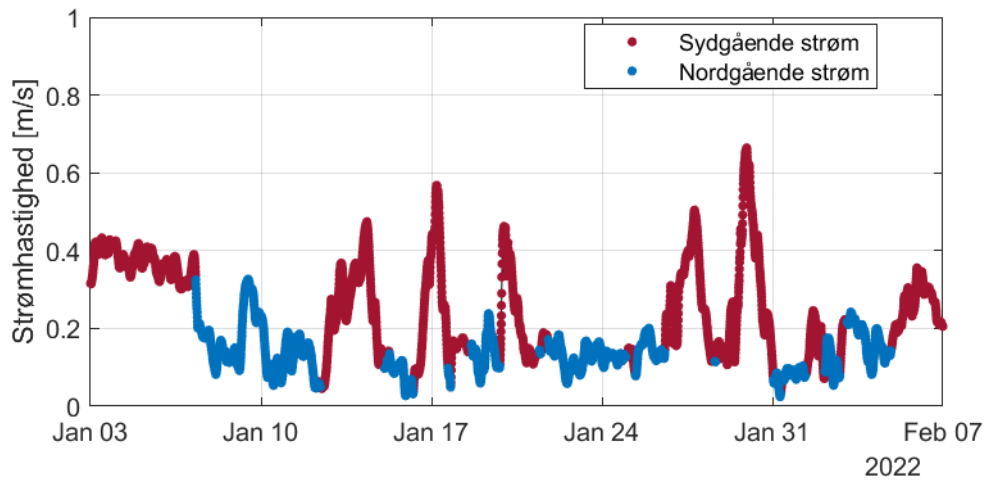
##### **Strømforhold ved klapplassen:**

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 rendernes topografi. I Figur 11 er der vist strømroser ved klapplassen 2 meter over havbundsniveau og ved havoverfladen. Det ses, at høje bundstrømshastigheder primært optræder i forbindelse med sydgående strøm. Re-suspensionshændelser vil derfor primært føre til en spredning i retning mod Østersøen. Ved overfladen optræder der i perioder høje strømshastigheder i både nordgående retning (nord-nordnordøst) og i sydgående retning (sydsydvest). Bemærk at der er anvendt forskellig skala i de to strømroseplot.

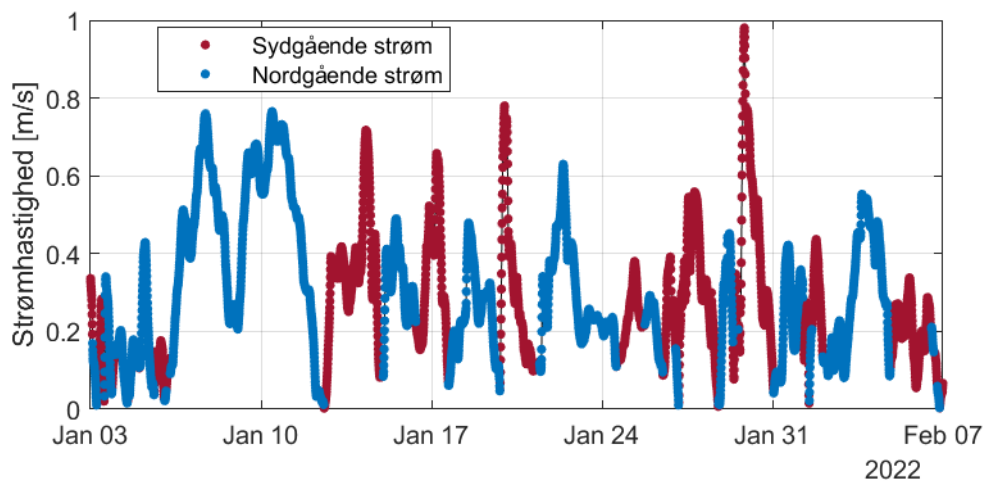
I Figur 11 og Figur 12 er der vist strømshastigheder 2 meter over havbundsniveau og ved vandoverfladen. Det ses, at der i perioder med lagdelt strømning er modsat rettet strømning ved havbund og vandoverflade. Den røde del af kurven indikerer forhold med sydgående strøm, mens den blå kurve indikerer forhold med nordgående strøm. Tilhørende 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 klappads. Højre: Rose plot for overfladestrøm ved klappads.

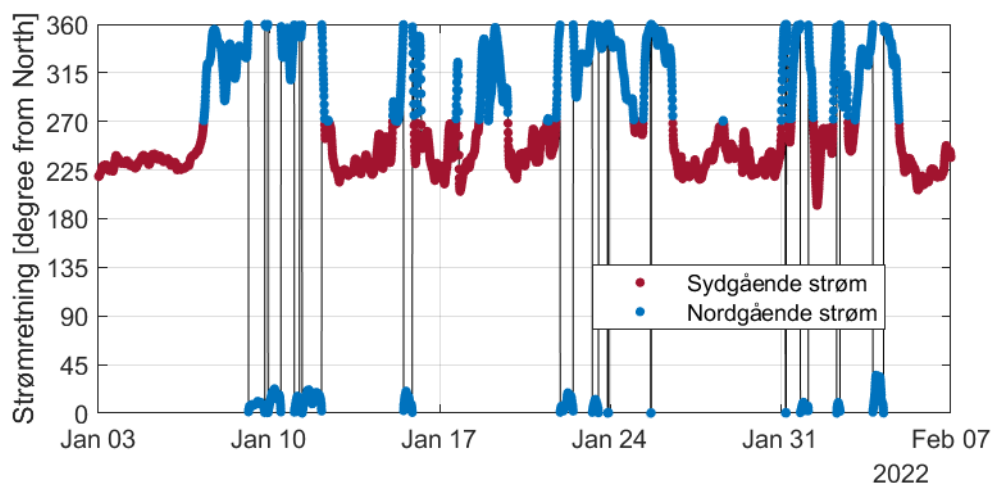


Figur 11 Bundstrømhastigheder 2 meter over havbund ved klappads.

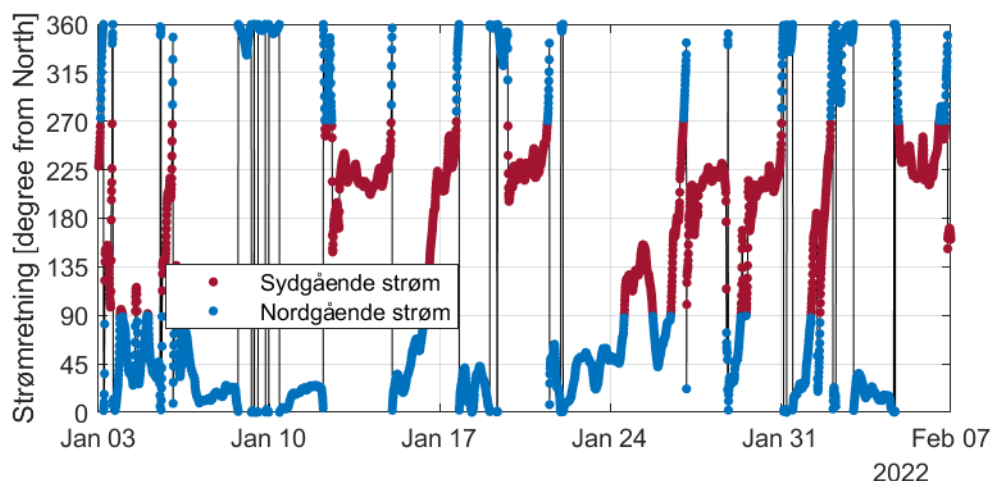


Figur 12 Overfladestrømhastigheder ved klappads.





Figur 13 Bundstrømretninger 2 meter over havbund ved klappøls.



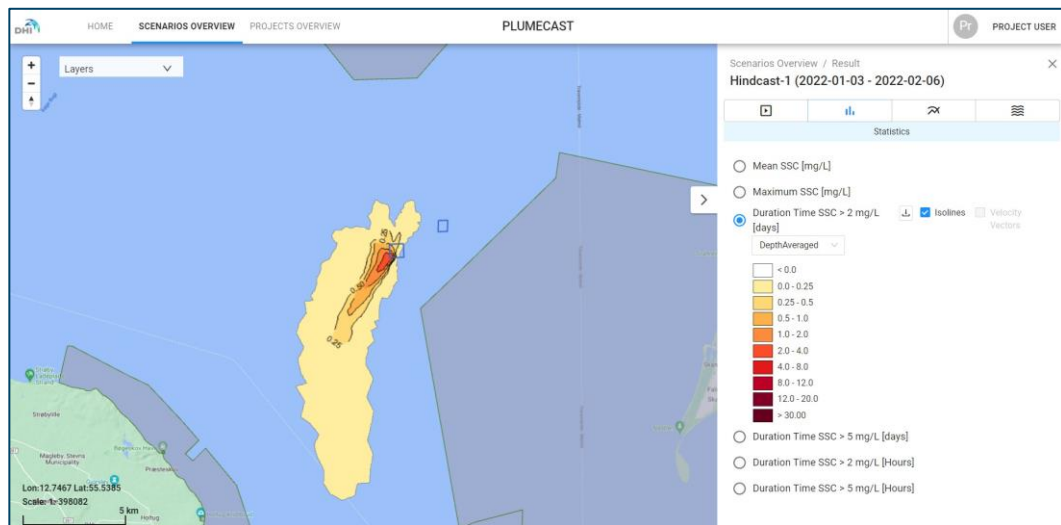
Figur 14 Overfaldestrømretninger ved klappøls.

### 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.

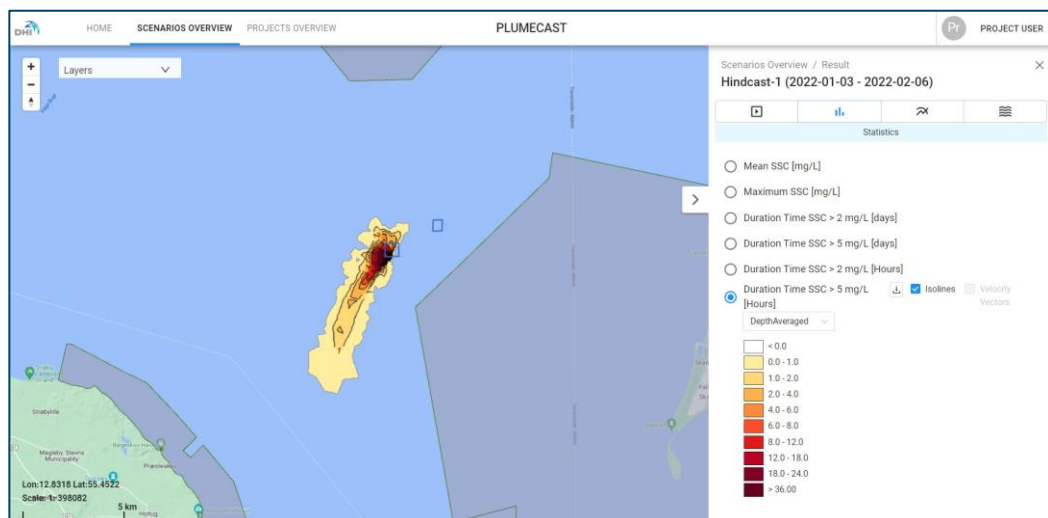
På baggrund af de udførte klappinger frem til den 6. februar, er den akkumulerede overskridelsesvarighed af en dybdemidlet koncentration på 2 mg/l beregnet. De beregnede koncentrationer indeholder ikke et bidrag fra den naturlige baggrundskoncentration og er dermed udelukkende relateret til effekten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



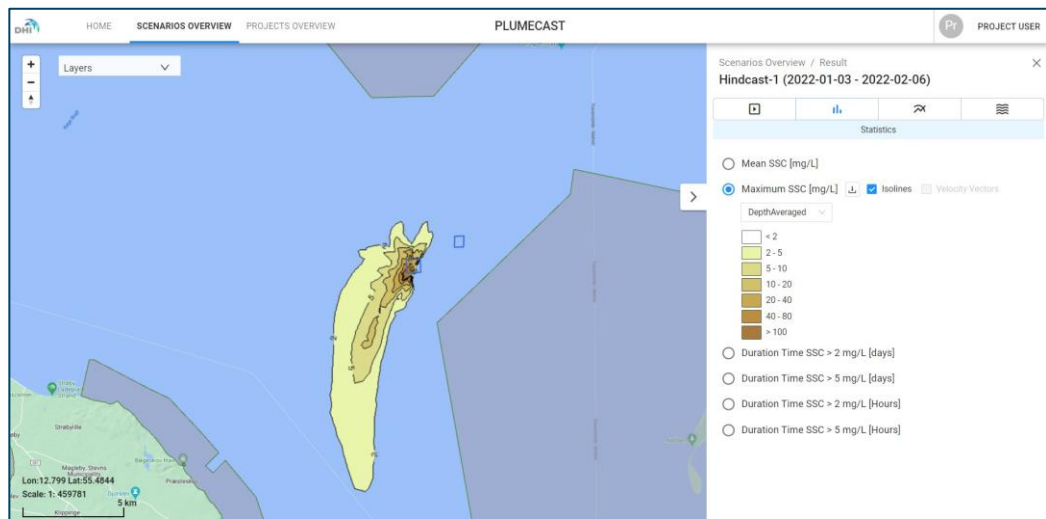
Figur 15 Akkumuleret overskridelsesvarighed af dybdemidlet SSC på 2 mg/l.

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 klapmateriale til omkringliggende vandområder

Afhængig af klapmaterialets karakter vil der være risiko for spredning af materiale til de omkringliggende vandområder, som følge af selve klappingen, men potentielt i endnu grad som følge af re-suspension af klappet materiale. Tabet af klapmateriale beregnes som den sedimentflux, der passerer de tre sorte linjer indikeret i Figur 18



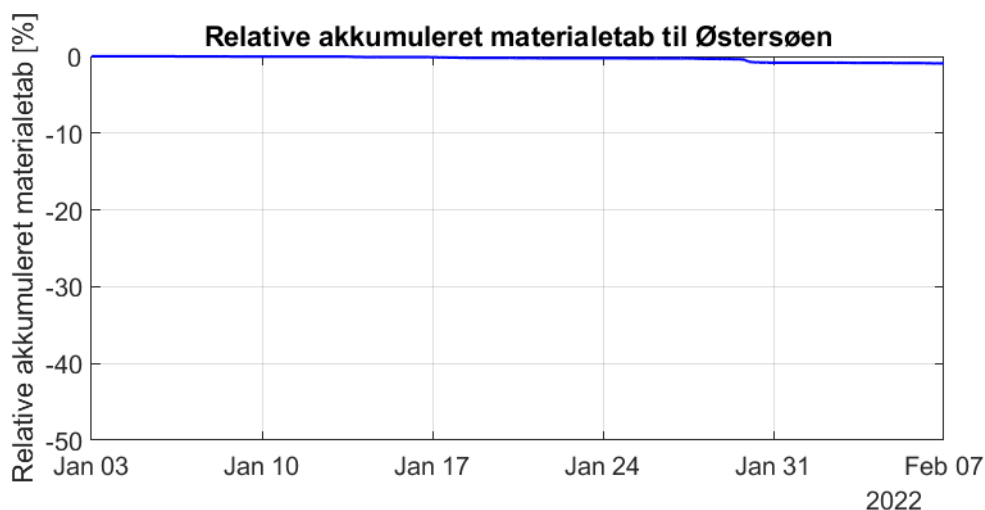
Figur 18 Placering af de tre tværsnit (Østersøen, Nordlige Øresund og Køge Bugt), hvorover sedimentfluxen beregnes.

Bundstrømmen ved klappladsen er hovedsagelig rettet mod sydvest. Der vil derfor være en overvejende tendens til, at klapmaterialet 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 d. 30. januar. Den samlede masse af sedimenter som forlader modelområdet i retning mod syd, er beregnet til 713 tons, som svarer til cirka 0,92% af klapmængden over hindcast perioden. I Figur 20 er klaptabet angivet som det relative tab i procent af den samlede klapmængde i hindcast perioden. Det ses, at tabet er ganske beskedent.



Figur 19 Akkumuleret materialetab til Østersøen.

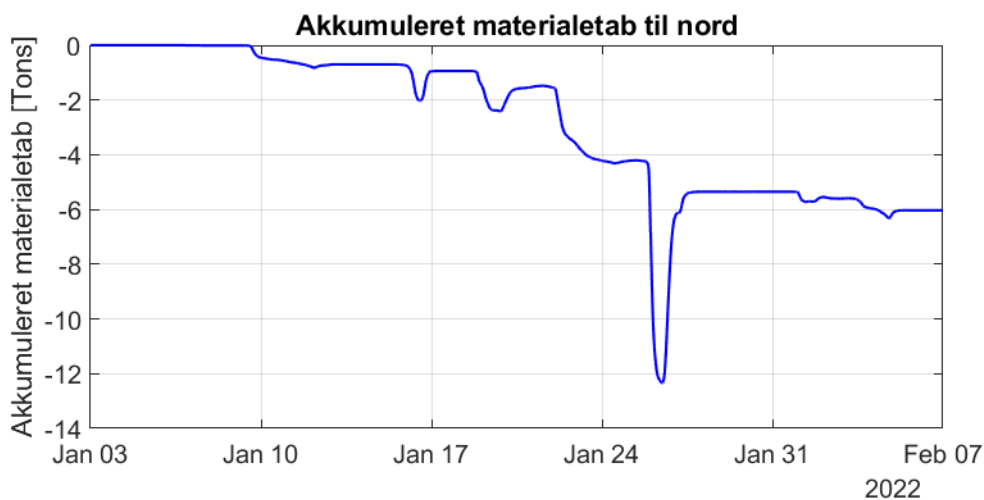


Figur 20 Relativt akkumuleret materialetab til Østersøen.

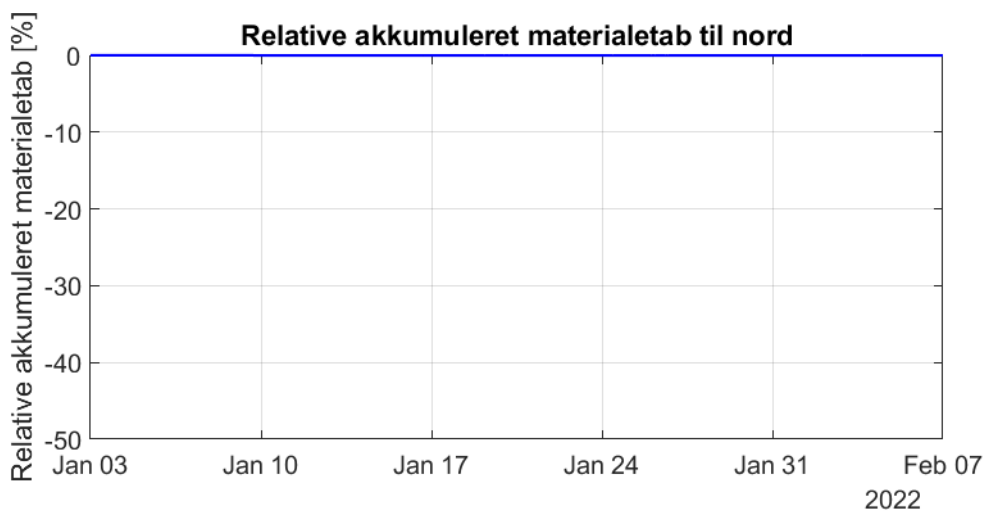
Hele hindcast perioden har overvejende været domineret af forhold med sydvestgående bundstrøm. Det akkumulerede sedimenttab til vandområdet beliggende nord for Drogden tærsklen (Øresund), er derfor ganske beskedent. Dels som følge af strømforholdene, men også som følge af at klapmaterialet i hindcast perioden har et 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 klappmængden i hindcast perioden. I Figur 22 er klaptabet angivet som det relative tab i procent af den samlede klappmængde i hindcast perioden. Det ses, at der nærmest ikke er et tab.

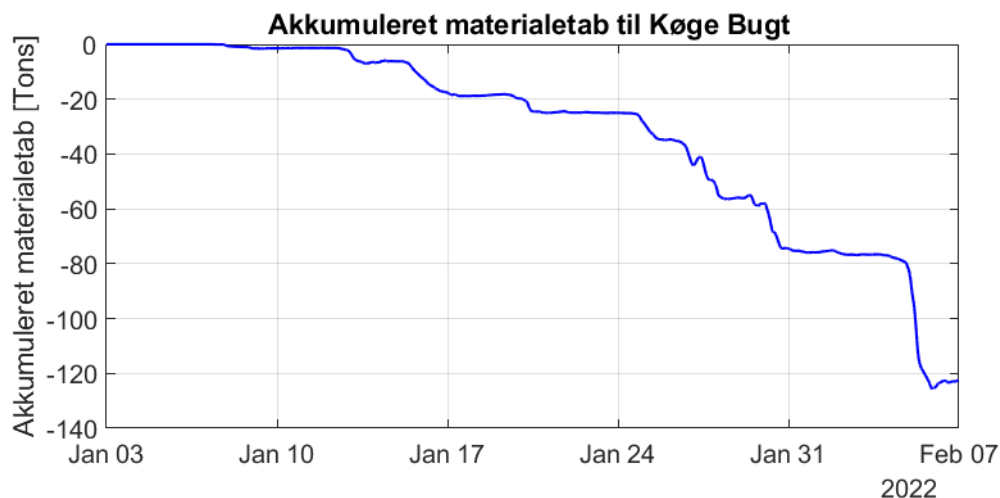


Figur 21 Akkumuleret materialetab til vandområdet nord for Drogdentskælen.



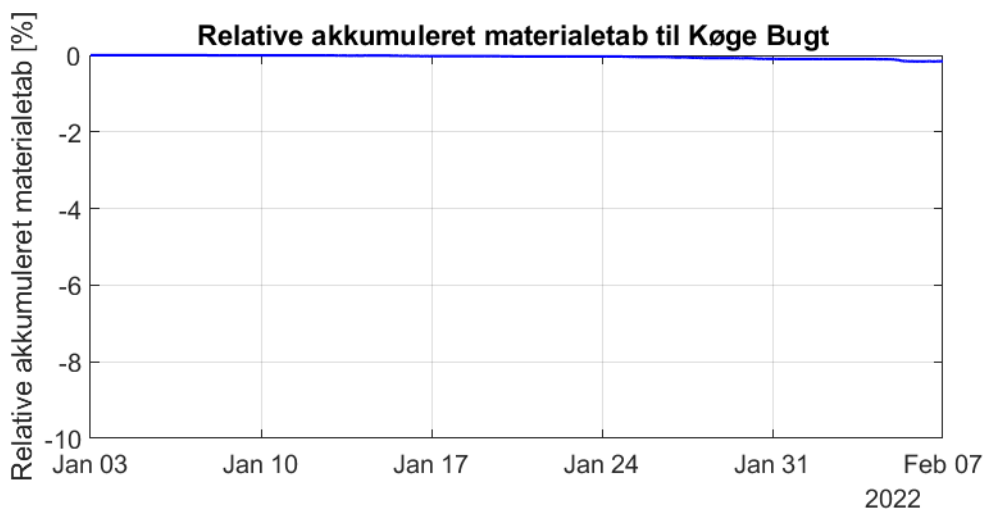
Figur 22 Relativt akkumuleret materialetab til vandområdet nord for Drogdentskælen.

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 klappmateriale 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 klappmængden i hindcast perioden, jf. Figur 24.



Figur 23 Akkumuleret materialetab til Køge Bugt

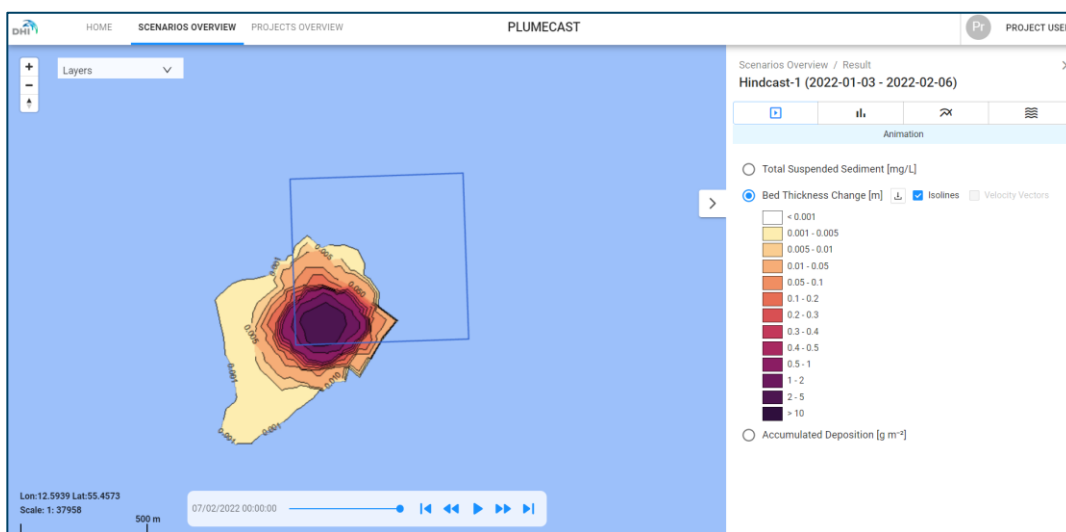
Samlet set er der fundet en ganske beskedne spredning af klapmateriale til de omkringliggende vandområder (1,09%), hvilket hænger sammen med at der i hindcast perioden kun er klappet materiale fra uddybningen af sejlrenden ved Svælget syd for Middelgrunden. Spredningen vil øges i takt med at der klappes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



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 aflejningskort 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. 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 Drogdentærsklen 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.

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

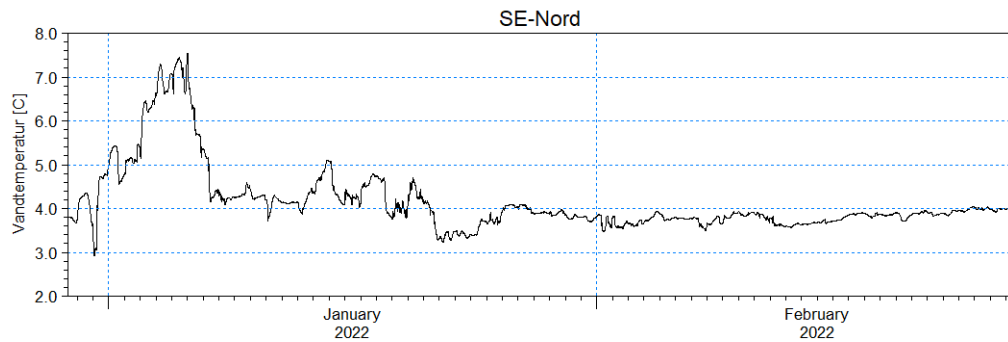
Figur 26 viser hvor i det sydlige Øresund at de fem turbiditetsstationer er placeret.



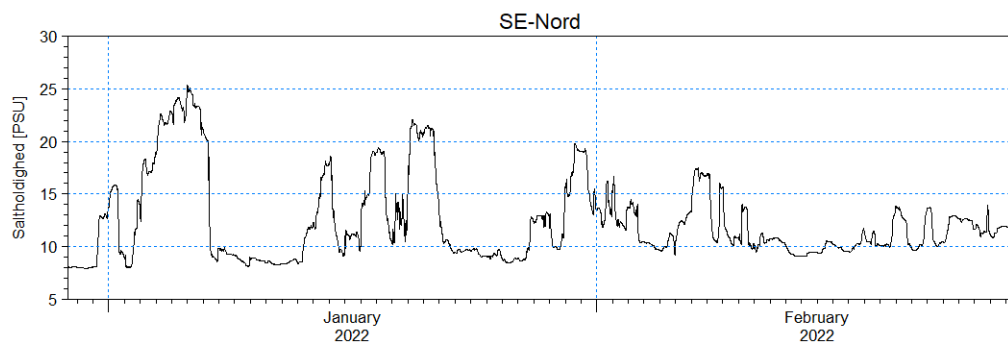
Figur 26 Oversigtskort visende de 5 turbiditetsstationers placeringer.

Turbiditetsmålingerne er endnu ikke blevet færdiganalyseret og kvalitetssikret, men forventes indeholdt i en opdateret version af denne hindcast rapport, som vil blive delt i forbindelse med TMG-mødet d. 9. marts. Nedenfor er der dog vist nogle foreløbige data af vandtemperatur, saltholdighed og turbiditet fra SE-Nord stationen.

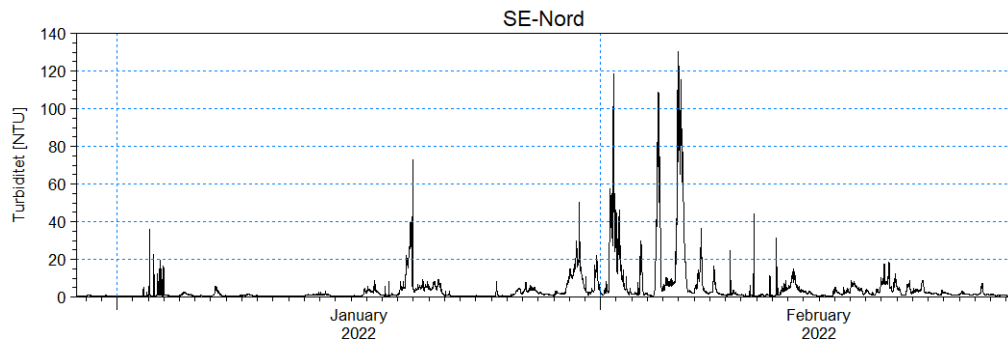




Figur 27 Målt vandtemperatur 1 meter over havbund ved SE-Nord.

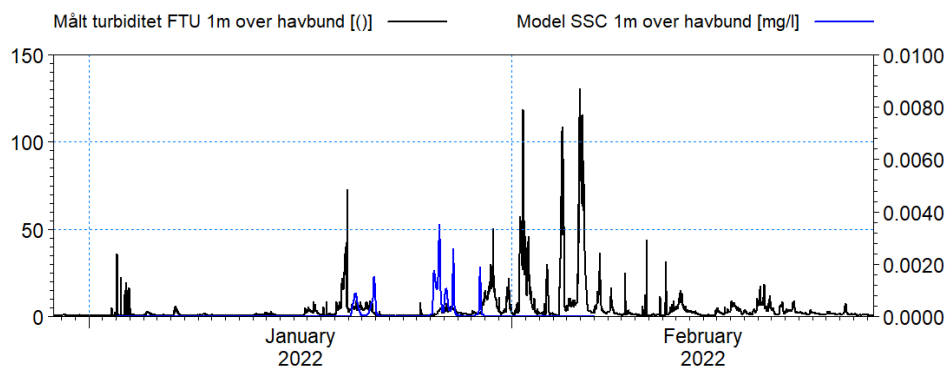


Figur 28 Målt saltholdighed 1 meter over havbund ved SE-Nord.



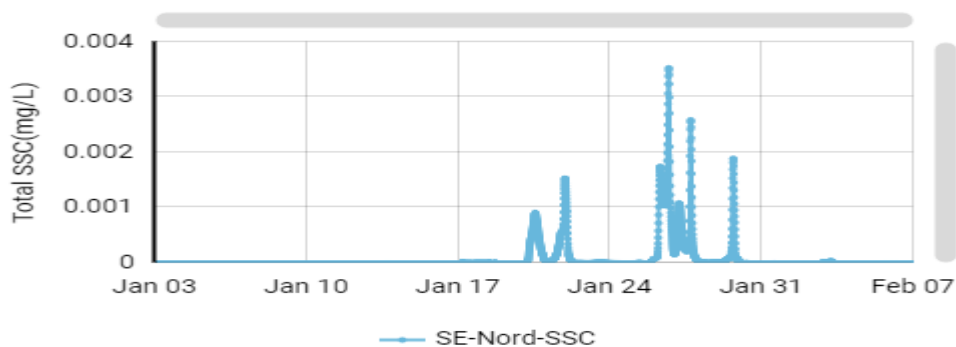
Figur 29 Målt turbiditet 1 meter over havbund ved Se-Nord.

Omsætningsfaktoren for omregning af turbiditet til sedimentkoncentration kendes ikke pt, men det ses, at der er en dynamik i den første del af februar. Den målte turbiditet på SE-Nord stationen er sammenholdt med den modellerede sedimentkoncentration udløst af klavningsaktiviteter, jf. Figur 30. Umiddelbart kan den målte dynamik ikke relateres til de i udførte klavningsaktiviteter. Udslagene i turbiditet kan muligvis relateres til skibsinduceret resuspension i kombination med de lokale strømforhold.



Figur 30 Målt turbiditet (FTU), og model SSC (mg/l) 1 meter over havbund ved SE-Nord.

I Figur 31 er sedimentkoncentrationen (udover baggrund) 1 meter over havbund på positionen for SE-Nord vist. Det ses, at der ikke optræder identificerbare bidrag fra klappingerne, da alle værdier er mindre end 0,005 mg/l.



Figur 31 Model SSC (mg/l) 1 meter over havbund ved SE-Nord.

## 5 Øvrige aktiviteter

Klapplassen 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 m<sup>3</sup>, svarende til cirka 8.160 tons tørstof. Klapping 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. 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.