

---

# RAPPORT

---

AVERNAKKE

## Udvidelse af Avernakke Pier i Nyborg havn – Spildmodellering

PROJEKTNUMMER 23.0701.18



VERSION: 0

11-10-2022

### HAVNE & GEOTEKNIK

Udarbejdet af: BUJO

Kontrolleret af: LOPT

## **Forord**

ADP A/S ønsker at etablere en ny supplerende kajplads ved den eksisterende anlægspier ved Avernakke, således at der kan anløbe 2 skibe ad gangen med dybgang på 9 m. Den supplerende kajplads etableres ved at udbygge den eksisterende pier.

Den eneste bruger af pieren er virksomheden Koppers Denmark A/S, der benytter den til ind- og udslibning af tjæreprodukter, der via rørsystemer transporteres til destillationsanlæg beliggende på havnen ca. 300 m fra pieren. anlæg.

Koppers har gennem de seneste år øget produktionskapaciteten og samtidig er udviklingen gået i retning af større tankskibe. En del af de tankskibe, der lægger til kaj på Avernakke terminalen i Nyborg, er i dag dobbelt så store som for bare 5 år siden – en udvikling, der kræver mere vanddybde og en længere kaj.

Havneudvidelsen kræver, at der udarbejdes en miljøkonsekvensvurdering. Da gennemførelsen af projektet udelukkende foregår indenfor dækkende værker, er Trafikstyrelsen den ansvarlige myndighed for projektet.

Denne rapport er et bilag til Miljøkonsekvensvurderingen der udarbejdes af SWECO Danmark A/S. Formålet med miljøkonsekvensvurderingen af havneudvidelsen er at vurdere de påvirkninger af miljøet, som projektet vil medføre. Miljøkonsekvensrapporten skal give myndighederne et godt beslutningsgrundlag, inden de afgør, om projektet skal realiseres.

I nærværende rapport beskrives påvirkning fra uddybningsarbejderne ved Avernakke samt klappning af opgravet sediment. En numerisk model er opstillet til simulering af spild.

## Indholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>Indledning</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Hydrodynamisk model</b>	<b>3</b>
2.1	Modellering af strøm	3
2.2	Vanddybder	3
2.3	Beregningsnet	5
2.4	Randbetingelser	7
2.5	Kalibrering og eftervisning af modellen	8
<b>3</b>	<b>Spildmodel</b>	<b>10</b>
3.1	Input parametre til spildmodellering	10
3.1.1	Jordtype og spildprocent	11
3.2	Udgravning og klapping	12
3.3	Uddybnings- og klapprocessen	12
<b>4</b>	<b>Resultater fra modellen</b>	<b>14</b>
4.1	Strømningsforhold	14
4.1.1	Vandudskiftning Holckenhavn Fjord	14
4.1.2	Kystmorfologi	18
4.1.3	Strømningsforhold omkring kajen	18
4.2	Maksimale sedimentkoncentrationer	22
4.3	Spredningens tidlige synlighed	23
4.3.1	Supplerende plots for vurdering af påvirkningen på den marine flora og fauna i de nære kystvande	29
4.4	Aflejring af sediment	32
<b>5</b>	<b>Konklusion</b>	<b>35</b>
<b>6</b>	<b>Referencer</b>	<b>36</b>
	<b>Bilag 1: Spildfane og Natura 2000 områder</b>	<b>37</b>
	<b>Bilag 2: Spildfane og Vandområdeplanernes kystvande</b>	<b>41</b>



## 1 Indledning

Nærværende rapport er en del af myndighedsgodkendelsen i forbindelse med udvidelsen af udskibningskajen i Nyborg Havn (Avernakke Terminalen). Der skal fjernes 56.200 m<sup>3</sup> jord for at uddybe havnen til den ønskede dybde.

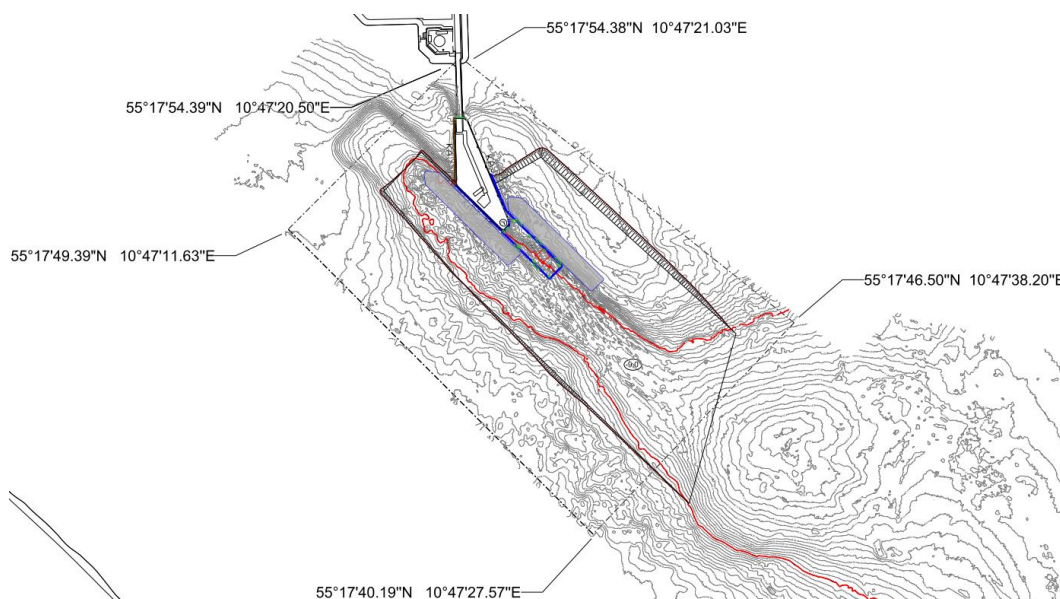
På Figur 1.1 ses markering af uddybningsområdet omkring udskibningspieren. Her skal der uddybes til -9 m i hele det markerede område. Mod sydvest er der dybere end mod nordøst, hvilket betyder mere materiale skal fjernes i den nordøstlige del.

Når jorden graves op på en pram, kan det give anledning til spild igennem vandsøjlen, som kan have miljøkonsekvenser for den marine flora og fauna i området.

Derudover skal materialet klappes på en anden lokalitet, hvor det også giver anledning til et spild igennem vandsøjlen. Klapppladsens placering og uddybningsområdet kan ses på Figur 1.2, som dækker hele modelområdet for den opsatte numeriske MIKE3-model.

Rapporten klarlægger, hvordan MIKE3 FM MT-modellen estimerer spildet samt spredningen af det, i forbindelse med opgravningen og klappning af materialet. De fine partikler fra kohæsionsjorden der spildes, bæres af strømningerne i vandet og kan potentielt spredes til store dele af området i Storebælt.

Slutteligt vil resultater fra spildmodelleringen blive præsenteret og vurderet.



**Figur 1.1: Viser uddybningsområdet omkring udskibningspieren, hvor der er angivet hjørnekoordinater og der er angivet skråninger, hvilket giver et indtryk af hvor der skal uddybes.**



**Figur 1.2:** Viser hvor materialet fra uddybningen ved udskibningspiere skal klappes. Koordinaterne for center af klapplads K\_033\_02 er (652868 E, 6114260 N). Center-koordinaterne for uddybningsområdet er (613630 E, 6129311 N).

## 2 Hydrodynamisk model

I dette afsnit beskrives den hydrodynamiske modelopsætning, der er grundlag for spildsimuleringerne.

### 2.1 Modelling af strøm

Den anvendte model er en strømmodel, som modellerer hvordan vandet strømmer i domænet indenfor de definerede rande. Det er randene i modellen der driver strømningerne i domænet.

Modellen er opbygget som en 3D-model i MIKE3 FM. Modellen kan dermed tage hensyn til at spredningen sker over dybden. Modellen er beskrevet nærmere i dokumentet [https://manuals.mikepoweredbydhi.help/2017/Coast\\_and\\_Sea/MIKE\\_FM\\_HD\\_3D.pdf](https://manuals.mikepoweredbydhi.help/2017/Coast_and_Sea/MIKE_FM_HD_3D.pdf).

Der er i modellen ikke medtaget effekten fra bølger på strøm og senere sedimentspredning. En eventuel effekt fra bølger ville primært være aktuel omkring brydningszonen. Det vurderes, at nærværende studie primært foregår uden for brydningszonen.

### 2.2 Vanddybder

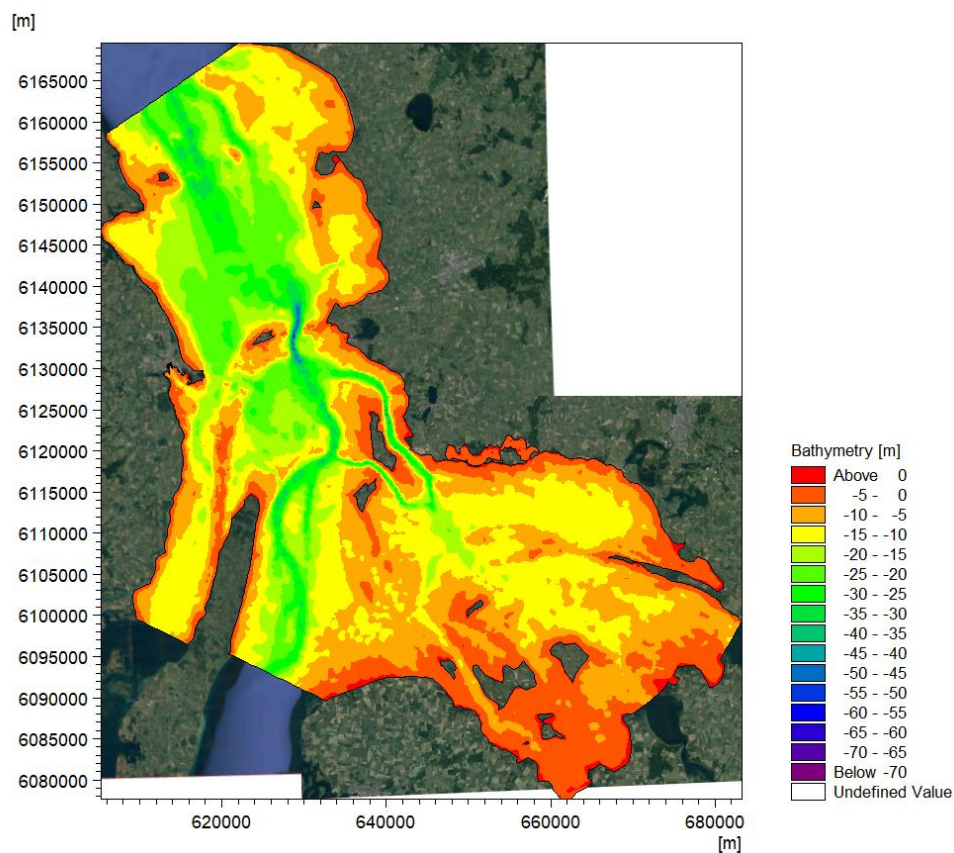
Vanddybderne i modellen er baseret på MIKE C-MAP (fra DHI), som indeholder xyz-datapunkter for næsten hele verden. Der er hentet en punktsky for modelområdet og den er læst ind i modellen. Denne punktsky er holdt op imod Krak's søkort (Krak til søs, 2021), hvor der er lavet nogle tilføjelser til dybde data for bl.a. sejlrenden under Storebæltsbroen.

Fra Den Danske Havnelods (Geodatastyrelsen, 2021) er der udtrukket data for dybderne i Nyborg Marina, da data fra C-MAP ikke havde tilstrækkelig opløsning i dette område, samtidig med Nyborg Marina ønskes højt opløst for at kortlægge om den silter til, når udgravningen finder sted.

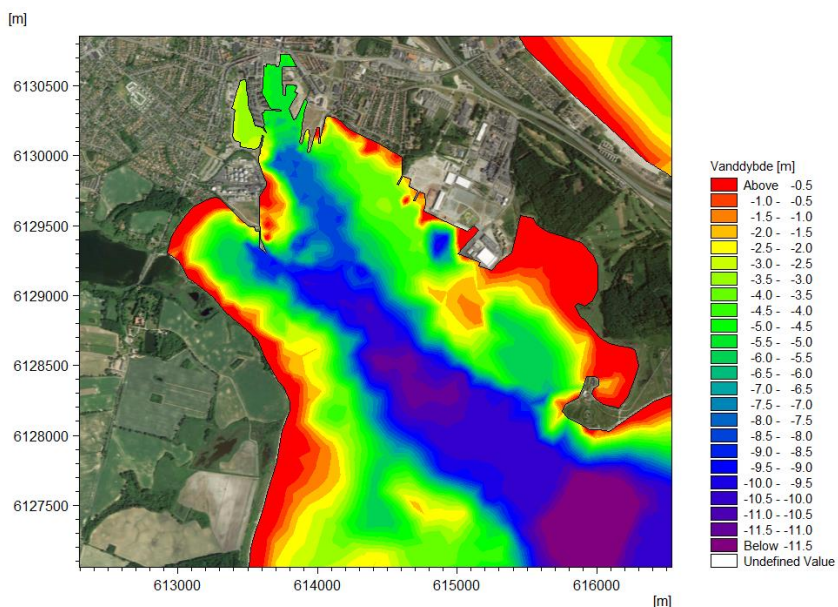
Når alle punkter er indlæst, interpoleres der mellem punkterne, for at etablere grundlaget for modellens bundkonturer. På Figur 2.1 ses vanddybderne i den hydrodynamiske model.

Figur 2.2 viser et "zoom in" af vanddybderne inde omkring udskibningskajen i Nyborg, i Nyborg Havn og Nyborg Marina. Her ses det, at der i modellen er uddybet til 5 m inde i Nyborg Havn og 3 m inde i Nyborg Marina.

Derudover er det sikret, at der for hele indsejlingen til udskibningskajen er en minimumsdybde på 9 m, som angivet i den Danske Havnelods.

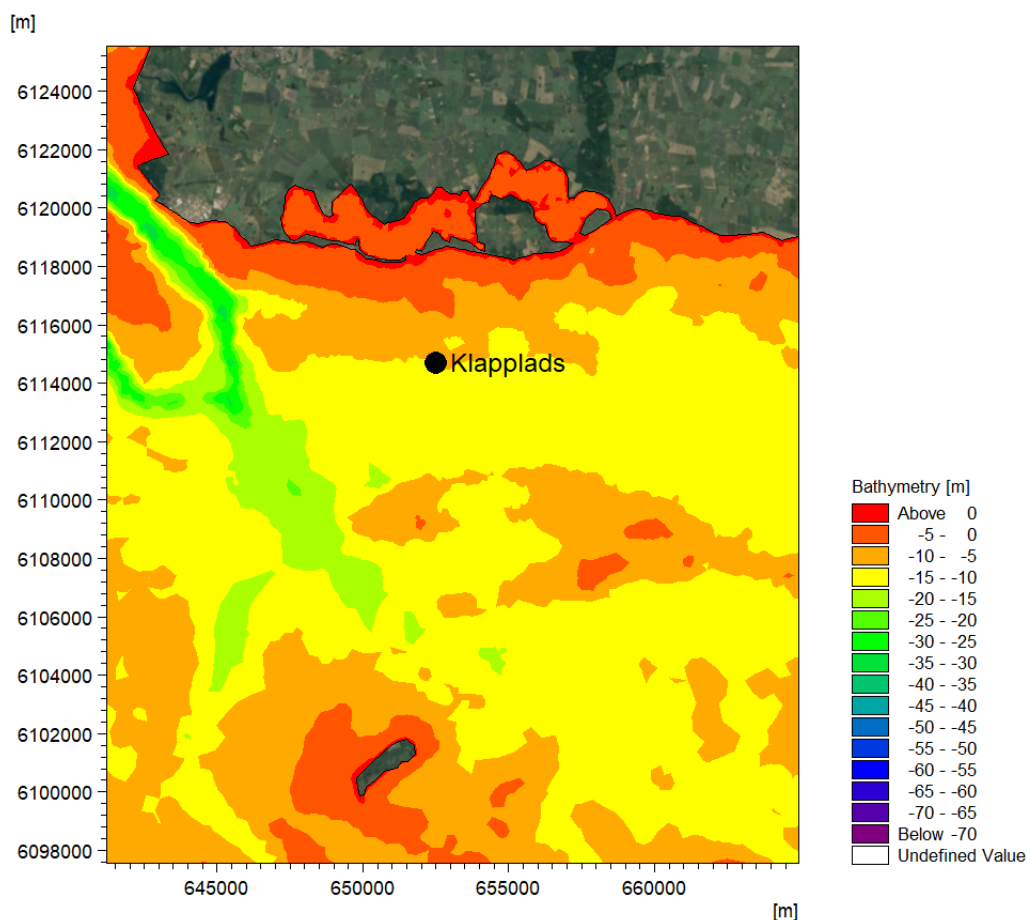


Figur 2.1: Vanddybder for den hydrodynamiske model.



Figur 2.2: Vanddybder for den hydrodynamiske model for området omkring Nyborg Marina.





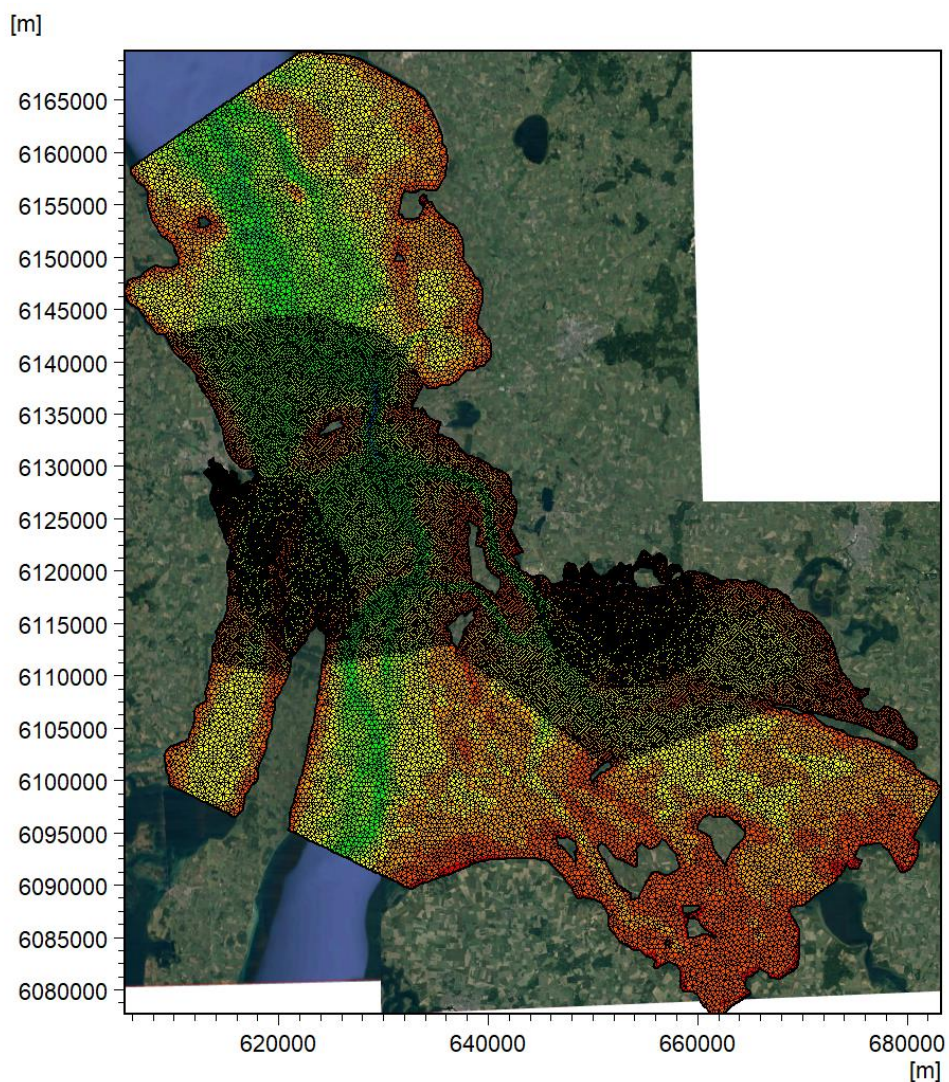
Figur 2.3: Vanddybder omkring klappladsen markeret med en sort udfyldt cirkel på figuren.

Figur 2.3 viser vanddybderne omkring klappladsen, hvor materialet fra uddybningen skal klappes. Samtidig ses vanddybderne bag forlandsøerne Glenø og Østerfed m.fl., hvor der er antaget en vanddybde på -1 m (i mangel af præcis opmåling).

## 2.3 Beregningsnet

På Figur 2.4 ses beregningsnettet for hele den hydrodynamiske model. Dette net er opbygget af triangulære beregningselementer i hele domænet med 7 lag i dybden. De 7 lag er ligeligt fordelt ned igennem dybden, hvilket betyder, at der er længere mellem lagene i de dybe områder sammenlignet med de mere lavvandede områder. Der er lavet en graduering i størrelsen af de triangulære beregningselementer i modellen, hvilket betyder, at der er lavet højere opløsning omkring uddybningsområdet samt klappladsen.

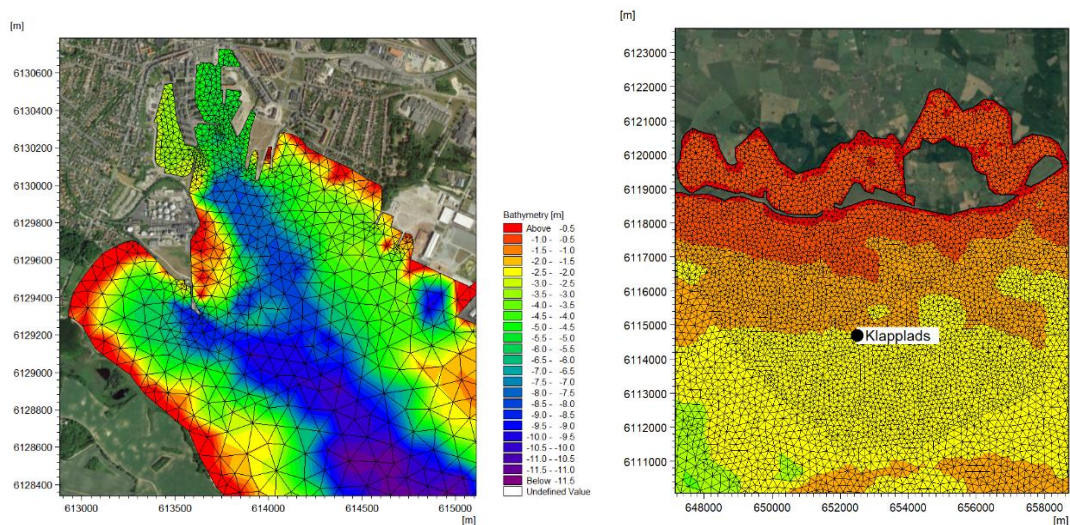
Derudover er beregningsnettet højere opløst, hvor der forventes store strømningshastigheder.



**Figur 2.4: Beregningsnet for hele den hydrodynamisk model.**

På Figur 2.5 ses beregningsnettet inde i Nyborg Havn og Marina. Her ses det, at beregningsnettet er højt opløst omkring indsejlingerne til de to områder, samt at der er højt opløst omkring kajen, hvor der skal uddybes i forbindelse med projektet.

På Figur 2.5 ses ligeledes beregningsnettet omkring klapplassen og inde i det lavvandede område mellem Glenø og Østerfed og Sjælland. Inde i det lavvandede område er der et Natura 2000 område og derfor er det fint opløst ved munden og inde i selve området, for at kunne estimere om noget af spildet fra klappingen finder derind.



**Figur 2.5: Beregningsnet for Avernakke Havn og Nyborg Marina samt indsejlingen til havneområdet vist til venstre og området omkring klappladsen til højre.**

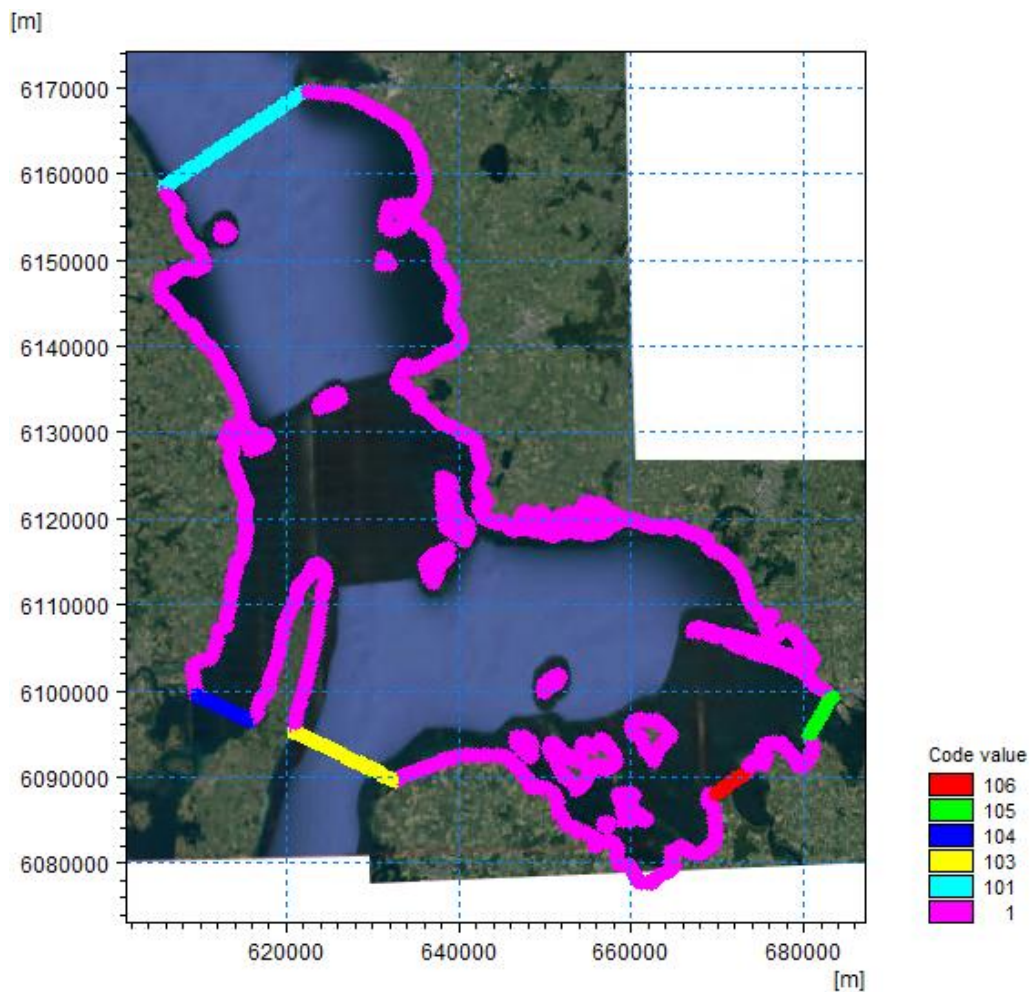
## 2.4 Randbetingelser

Randene på den hydrodynamiske model er markeret på Figur 2.6. Her er rand 1 markeret med den magenta farve og definerer grænserne op til land, her er der ingen strømninger ind og ud af domænet. Randene 101, 103, 104, 105 og 106 er alle åbne rande kun med påførte vandstandsændringer, som er udtrukket fra nærliggende vandstandsmålere.

De vandstande der er sat på randene er for 101 Ballen Havn, 103, 105 og 106 Bandholm Havn, og for 104 er det Slipshavn. For Slipshavn er vandstandsændringerne reduceret med 30%, som en del af kalibreringen af vandstanden ved Slipshavn i modellen med måledata. Vandstandsændringerne ved randene giver anledning til strømninger i domænet og disse strømninger antages at være repræsentative for domænet i perioden, hvis vandstandene ved Slipshavn nær Nyborg Havn i modellen stemmer overens med det målte data fra DMI for stationen. Dette uddybes i afsnit 2.5.

Den blå rand 104 mellem Langeland og Fyn er i modellen snævret ind til et tværsnitsareal der svarer til det samlede tværsnitsareal af indsnævringen mellem hhv. Tåsinge og Langeland samt Langeland og Fyn for at sikre at modellens validitet. Det samme er gjort på den røde rand 106, hvor tværsnitsarealet her er snævret ind så det svarer til indsnævringen ved Guldborgsund.

Dette er gjort, da tværsnittene bag randen er meget mindre end selve randen, hvilket betyder, at der i modellen således bliver ledt meget mere vand igennem randen end baglandet kan videreføre, og dette gav anledning til urealistisk høje strømningshastigheder ind og ud af domænet.



Figur 2.6: Modelrande, hvor værdien 1 markerer landrande og 101, 103, 104, 105 og 106 er rande med vandstandsmåledata på.

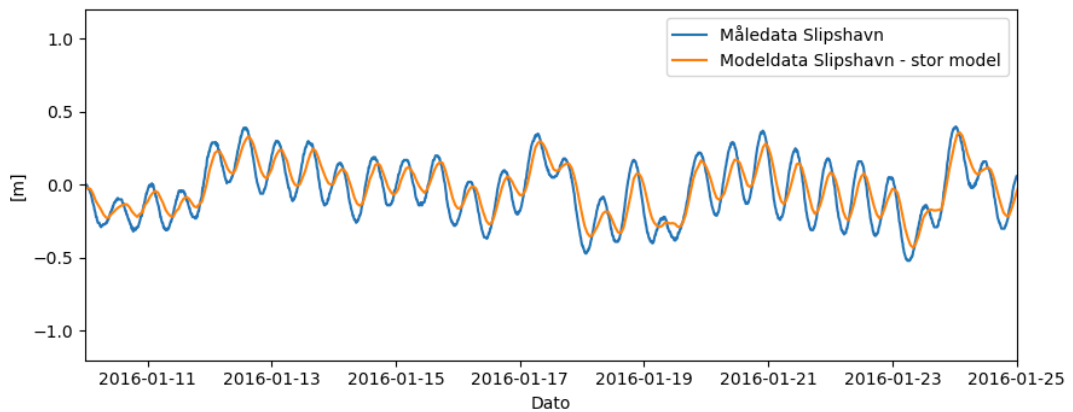
## 2.5 Kalibrering og eftervisning af modellen

Som verifikation af modellens genererede vandstand er denne sammenlignet med en vandstandsmåler ved Slipshavn, som ligger tæt på Nyborg Havn og udskibningskajen. Placeringen af vandstandsmåleren kan ses på Figur 2.7.

På Figur 2.8 ses vandstanden for målestationen ved Slipshavn sammenlignet med vandstanden i modellen. Det ses, at modellen generelt er i overensstemmelse med de målte data. Der ses dog en tendens til, at model data har en lille smule lavere amplituder end den målte data. Dette kan betyde at strømningerne i modellen underestimeres en smule, da det er vandstandsændringerne der driver strømningerne. Da forskellene er små, vurderes det, at forskellene ikke vil have en betydelig indflydelse på strømningerne.



Figur 2.7: Her ses lokationen for vandstandsmåleren i Slipshavn. Koordinaterne i decimalgrader er (55.2878 N, 10.8264 E).



Figur 2.8: Vandstanden for lokationen for vandstandsmåleren ved Slipshavn (55.2878 N, 10.8264 E), her er både plottet målt data og data fra modellen.

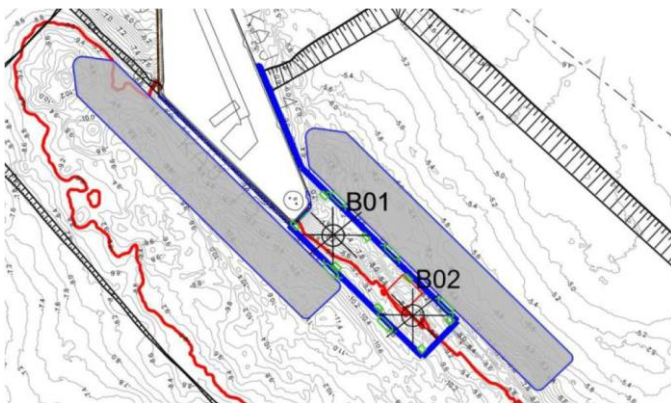
### 3 Spildmodel

Spildet fra uddybningen stammer fra den del af jorden, som er kohæsionsjord. Kohæsionsjord er bestående af små fine partikler, som har lille bundfældningshastighed og dermed er lang tid om at bundfælde sig. I denne model estimeres omfanget af spredningen af kohæsionsjorden, som skal danne grundlag for en del af en miljøkonsekvensvurdering for den marine flora og fauna omkring Storebælt og Det Sydsjællandske Øhav. Der er relativt store strømningshastigheder nogle steder i Storebælt, hvilket kan give en stor spredning af sediment i bæltet og omegn.

#### 3.1 Input parametre til spildmodellering

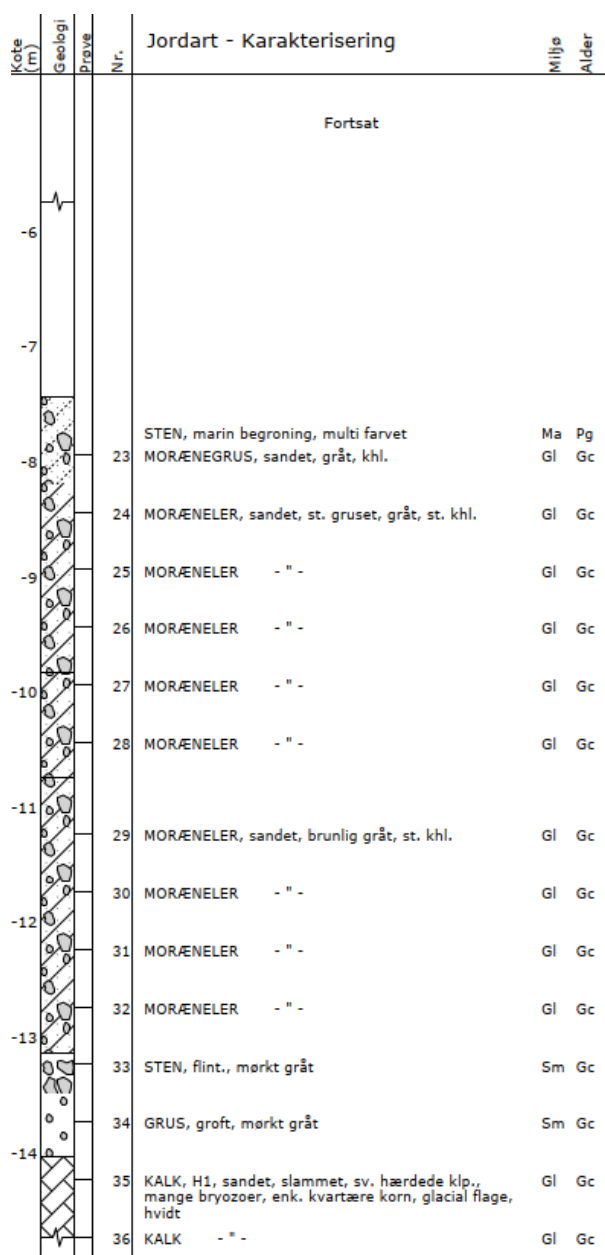
I dette afsnit beskrives de input parametre der er brugt til at lave spildmodelleringen i Storebælt fra både spildet i forbindelse med udgravningen i havnen og kløpning i Smålandsfarvandet.

På Figur 3.1 ses den planlagte udvidelse af pieren og placeringen af de geotekniske borer B01 og B02.



**Figur 3.1: Planlagt udvidelse af Pieren markeret med blå linjer og markeringer for hvor der er foretaget geotekniske borer B01 og B02.**

Et udsnit af boreprofilen for boring B01 kan ses på Figur 3.2, hvor det fremgår, at der primært er sandet moræneler ned til dybden kote -9, hvor der uddybes til.



Figur 3.2 Viser et udsnit af boreprofilet for boring B01 i de dybder der er relevante for spildmodellen.

Boring B02 starter først ved kote -9 og er ikke medtaget i nærværende rapport, da den planlagte uddybning er til kote -9.

### 3.1.1 Jordtype og spildprocent

Afgravningsmaterialet fra uddybningen består i meget høj grad af moræneler, derudover er der truffet sandet moræneler og grus. Det er dog moræneler, der er dominerende, og den er i prøverne beskrevet til at have de samme egenskaber, som det moræneler der

blev opgravet i forbindelse med uddybninger og afgravninger ved Øresundsbroens anlæg. Her blev der lavet en omfangsrig monitoring af spild og baseret herpå fandt man en spildprocent på 5%. Denne værdi anvendes i nærværende simulering. I forbindelse med klappingen anvendes ligeledes en estimeret spildprocent på 5%.

Afgravningsmaterialet er antaget at have en rumvægt på 1750 kg/m<sup>3</sup> og den del af sedimentet, som spildes, har en estimeret bundfældningshastighed på 0.0006 m/s.

Sandfraktioner medtages ikke i simuleringen, da de antages at bundfælde sig meget hurtigt i forbindelse med opgravningen.

### 3.2 Udgravning og klapping

Udgravningen i havnen skal ske ved anvendelse af en gravemaskine med miljøgrab for at minimere spildet. En miljøgrab lukker omkring det materiale der bliver gravet op fra havbunden, når det løftes op igennem vandsøjlen, og det er derfor med til at minimere spildet.

Uddybningen af havnen foretages i døgndrift med en gravehastighed på 1000 m<sup>3</sup>/dag og den samlede mængde der skal opgraves er 56.200 m<sup>3</sup>. Dette betyder der skal graves i omkring 56 dage, altså ca. 2 måneder. Materialet, der graves væk inde i havnen, skal klappes på klappads K\_033\_02, som ses markeret på Figur 1.2.

Udgravningen samt klappingen forventes foretaget i det sene efterår og ind i vinteren, da det vurderes uden for vækstsæsonen for ålegræs. Det er valgt at bruge et referenceår svarende til 2015/16. Nærmere er det bestemt, at gravearbejdet og klappingen sker fra d. 10. november og 56 dage frem til d. 5. januar, hvor modellen simulerer resten af januar ud, således spredningen af det suspenderede stof kan følges efter udgravningen er foretaget.

### 3.3 Uddybnings- og klapprocessen

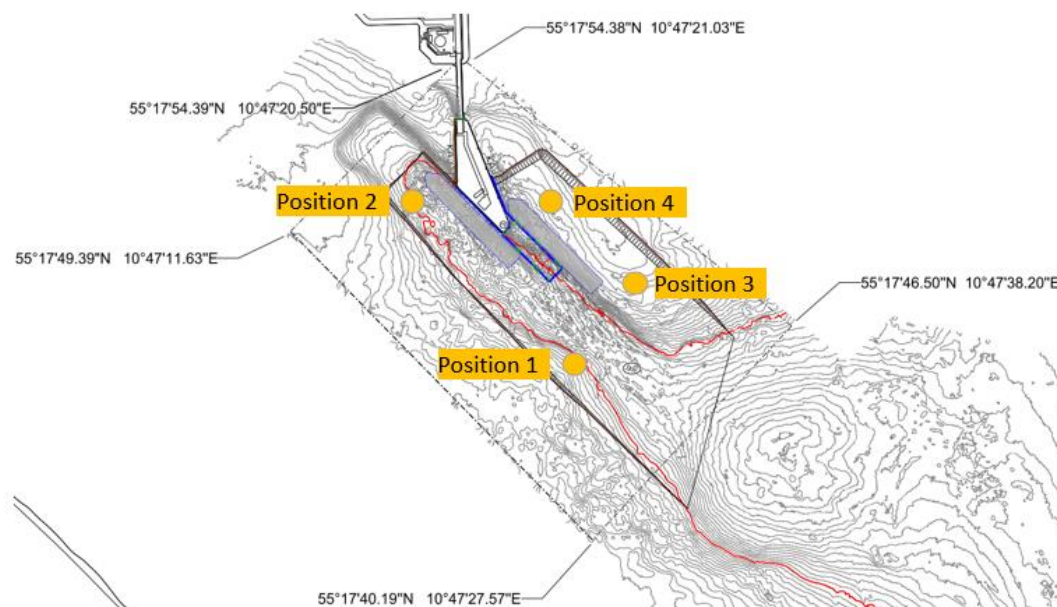
I MIKE3 FM MT skal det defineres, hvordan uddybnings – og klapprocessen forløber. For uddybningen er perioden valgt, som beskrevet i afsnit 3.2. Selve uddybningen kommer til at forløbe i døgndrift, med en gravehastighed på 1000 m<sup>3</sup>/døgn, for at sikre en uddybningsproces der er skånsom og minimerer spildet. Der graves med en miljøgrab, hvilket betyder der kun sker spild i forbindelse med, at grabben lukker omkring materialet helt nede ved havbunden. Efter materialet er i grabben, lukker den omkring det og der spildes ikke noget materiale, når grabben hæves op igennem vandsøjlen.

Uddybningsprocessen er i modellen angivet som udgravning ved fire positioner indenfor det angivne område på Figur 1.1. Der uddybes modelteknisk på de fire positioner som angivet på Figur 3.3. Da der skal uddybes mere i den nordøstlige del af uddybningsområdet end i den sydvestlige uddybes i modellen i længere tid i dette område. Den står mere specifikt i position 1 og 2 i hhv. 10% og 10% af tiden, i position 3 30% af tiden og position 4 50% af tiden.

Klappingen af materialet skal ske på klappads K\_033\_02, som beskrevet i afsnit 3.2 og placeringen kan ses på Figur 1.2 og koordinaterne for center af klappadsen er angivet i



figurteksten. Det antages, at der bruges to klappramme med en kapacitet på 1000 m<sup>3</sup> hver. Dette betyder, at mens der på den ene klappram sejles materiale til klapppladsen og klappes, kan den anden klappram aftage materialet fra uddybningen. Det antages, at en runde hvor der sejles til klappplads, klappes og sejles tilbage til udskibningspiere ikke tager mere en 24 timer. I modellen klappes der derfor en gang i døgnet midt imellem de fire hjørnekoordinater for klapppladsen.



**Figur 3.3:** Viser i hvilke positioner graveren står i løbet af uddybningsprocessen. Koordinaterne for positionerne er i UTM-32 som følger: Position 1(613700 E, 6129190 N), position 2(613550 E, 6129321 N), position 3(613758 E, 6129266 N) og position 4(613674 E, 6129330 N).

## 4 Resultater fra modellen

I dette afsnit præsenteres resultaterne fra sedimentspredningen fra uddybningen ved udskibningspieren i Avernakke. Sedimentspredningen vises som "Suspended sediment concentration", hvilket kan oversættes til opslæmmet sedimentkoncentration (hvilket altså betyder, hvor meget opslæmmet materiale der er i vandsøjlen).

Der er nogle kritiske niveauer for mængden af opslæmmet materiale, som har betydning for den marine flora og fauna og de er på hhv. 2, 10 og 15 mg/L. Det er nærmere specificeret i (Banedanmark m.fl., 2014) hvilke konsekvenser koncentrationerne har.

### 4.1 Strømningsforhold

I dette afsnit redegøres der for strømningsforholdene omkring udskibningskajen og munden ved Holckenhavn fjord. Da modellen præsenteret i afsnit 2 ikke inkluderer Holckenhavn Fjord er der udarbejdet en mindre lokal model, hvor resultaterne herfra er præsenteret i nærværende afsnit.

#### 4.1.1 Vandudskiftning Holckenhavn Fjord

Holckenhavn Fjord, der ligger tæt på projektområdet, kan ses på Figur 4.1. Udmundningen af Holckenhavn Fjord ligger i en afstand af ca. 600 m vest for uddybningsområdet for Avernakke Pieren.



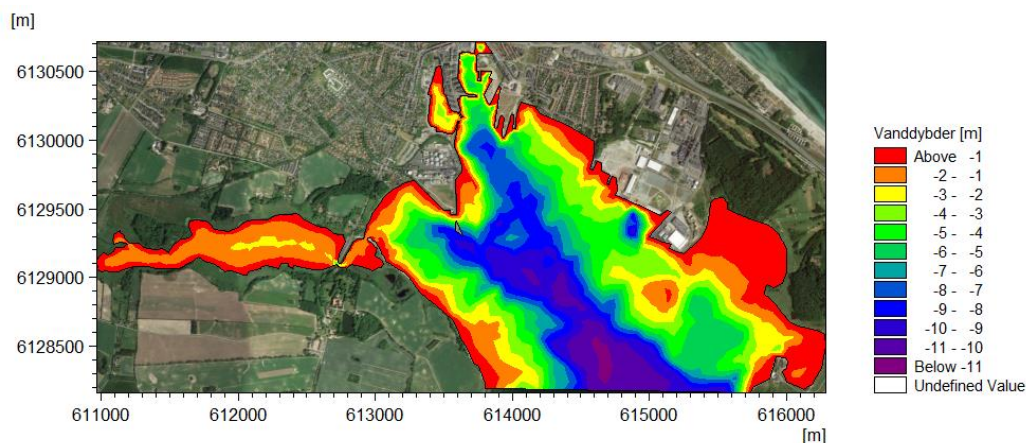
Figur 4.1: Viser et udsnit af Holckenhavn Fjord fra (HIP, 2021), hvor Vindinge Å løber til ved den turkise markering længst mod vest på figuren.

Længst mod vest på Figur 4.1 markeret med turkis farve er tilløbet fra Vindinge Å, som i det sene efterår og vintermånederne, hvor uddybning sker, har en middelvandføring på månedsbasis som anvist i Tabel 4.1 (<https://hip.dataforsyningen.dk/>).

Måned	Vandføring [m <sup>3</sup> /s]
November	1,085
December	1,699
Januar	2,537

Tabel 4.1: Viser middelvandføringen på månedsbasis for Vindinge Å i det sene efterår samt vintermånederne.

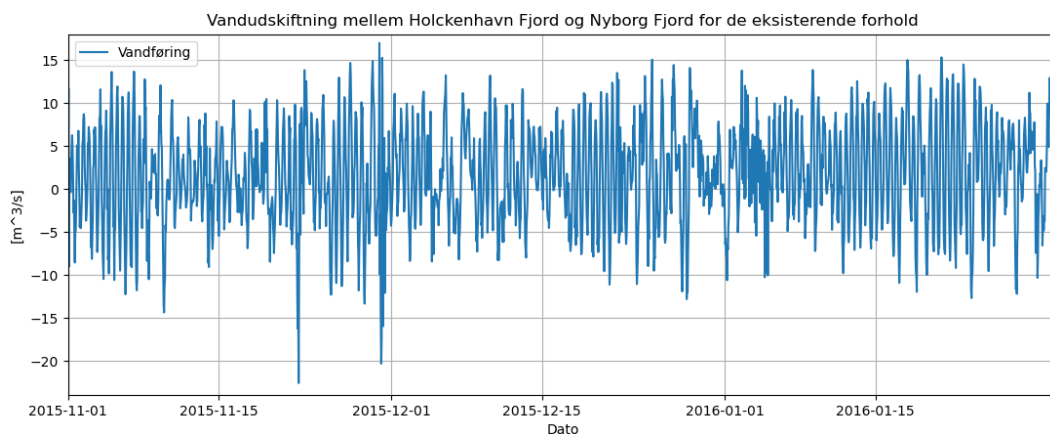
Dette er et væsentligt bidrag til Holckenhavn Fjord og gør, at den primære strøm vil være udadgående fra Holckenhavn Fjord til Nyborg Fjord. For at bestemme vandudvekslingen mellem Holckenhavn Fjord og Nyborg Fjord er der opsat en lokal hydrodynamisk numerisk model for området. Udstrækningen af modellen kan ses på Figur 4.2.



**Figur 4.2: Viser udstrækningen og vanddybder for den lokale model for vandudskiftning**

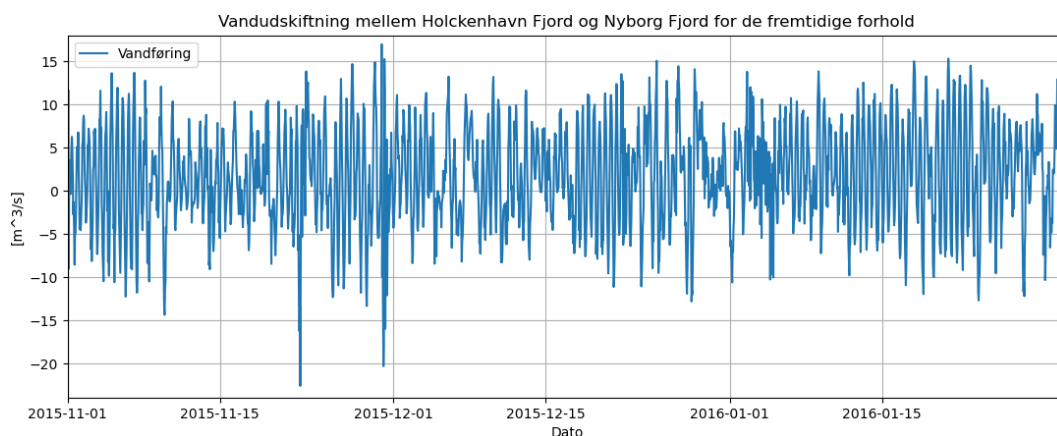
På randen af modellen mod syd er der påsat vandstandsdata fra den hydrodynamiske model beskrevet i afsnit 2 i nærværende notat. Ved at have vandstands- og strømningsdata fra den store hydrodynamiske model på randen i den lokale model inkluderes på den måde vandstandsvariationer fra både tidevand og skiftende vejrforhold.

Der er udarbejdet en modelgeometri for både de eksisterende og fremtidige forhold for udskeppingspiere i Avernakke, for at kunne kvantificere at der ikke er nogen påvirkning af vandudskiftningen. På Figur 4.3 ses vandudskiftningen mellem Holckenhavn Fjord og Nyborg Fjord i den hydrodynamiske model, hvor den eksisterende havnegeometri er indtegnet.



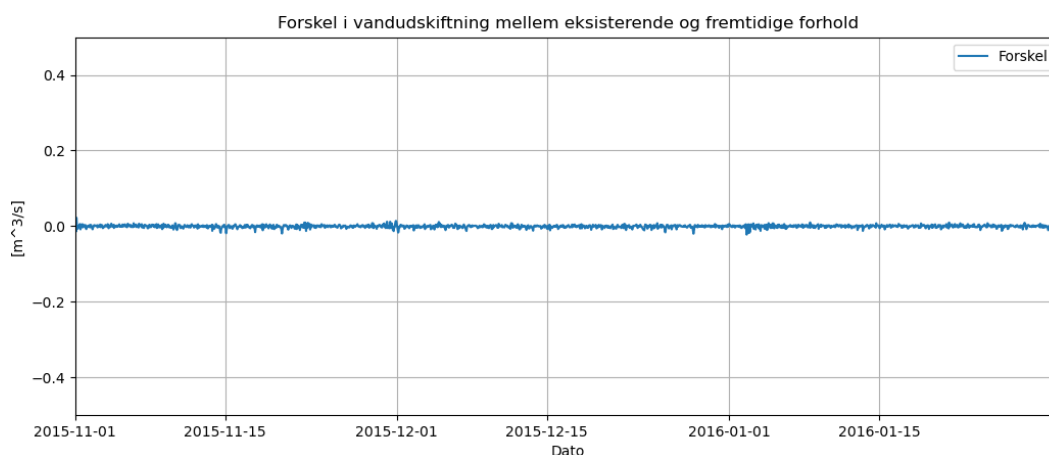
**Figur 4.3: Viser vandudskiftningen mellem Holckenhavn Fjord og Nyborg Fjord for den eksisterende geometri af pieren i Avernakke.**

På Figur 4.4 ses vandudskiftningen mellem Holckenhavn Fjord og Nyborg Fjord i den hydrodynamiske model, hvor den fremtidige havnegeometri er indtegnet.



**Figur 4.4:** Viser vandudskiftningen mellem Holckenhavn Fjord og Nyborg Fjord for den fremtidige geometri af pieren i Avernakke.

Forskellen på vandføringen mellem Holckenhavn Fjord og Nyborg Fjord for den eksisterende og fremtidige pier geometri kan ses på Figur 4.5. Det fremgår således, at ændringen i vandudskiftningen som følge af en ændring af geometrien af pieren er negligerbar.



**Figur 4.5:** Viser forskellen i vandudskiftningen mellem Holckenhavn Fjord og Nyborg Fjord for den eksisterende og fremtidige geometri af pieren i Avernakke.

### Vandudskiftning i Holckenhavn Fjord

For at vurdere om der sker en sedimentation i Holckenhavn Fjord som følge af uddybningsarbejdet ved pieren i Avernakke. Er der i den lokale model indlagt et snit imellem Holckenhavn Fjord og Nyborg Fjord, hvor hhv. den totale ind- og udstrømning er bestemt.

I Tabel 4.2 ses vandudvekslingen mellem Holckenhavn Fjord og Nyborg Fjord. Disse ind og udstrømninger bruges til at estimere hvor meget sedimentation der sker i Holckenhavn Fjord.

Strømning	[mio. m <sup>3</sup> ]
Indstrømning til Holckenhavn Fjord	7,8
Udstrømning fra Vindinge Å	7,4
Udstrømning fra Holckenhavn Fjord	15,2

**Tabel 4.2: Viser vandudskiftningen mellem Holckenhavn Fjord og Nyborg Fjord i de 55 dage uddybningen er planlagt til at foregå i.**

Som følge af vandskiftet mellem Nyborg Fjord og Holckenhavn Fjord ved skiftende tidevand vil opslæmmede finkornet sediment kunne føres ind i Holckenhavn Fjord. Nord og øst for pieren vil sedimentkoncentrationerne i Nyborg Fjord under anlægsarbejdet generelt variere med koncentrationer i intervallet 2 – 200 mg/l, se Figur 4.14, og med koncentrationer over 50 mg/l i ca. 5 uger af anlægsperioden, jf. Figur 4.21. Indstrømning til Holckenhavn Fjord under stigende vandstand vil ske 2 gange i døgnet og tilsvarende vil udstrømning ske 2 gange i døgnet. Vandudvekslingen mellem Holckenhavn Fjord og Nyborg Fjord er estimeret i den hydrodynamisk numerisk model. Som følge af tidevandet, vil opholdstiden for det indstrømmede vand svare til maksimalt halvdelen af anlægsperioden og i det tidsrum vil der i gennemsnit være den halve mængde af indstrømmet vand. Den mængde af sedimentet der potentielt vil bundfældes under højvande i Holckenhavn Fjord, vil være begrænset dels som følge af det finkornede sediments lave faldhastighed, strømhastigheden ved tidevandsskiftet og opholdstiden. Desuden vil sedimentationen begrænses ved opblanding med det udstrømmende ferskvand fra Vindinge Å, som betyder, at flokkuleringsraten reduceres ved den lavere saltholdighed.

Bidraget med ferskvand til fjorden i vintermånederne svarer til min. 49 % af det tilstrømmende vand, hhv. tidevand fra fjorden og ferskvand fra åen.

Tilførsel af ferskvand fra åen vil i løbet af de 6 timer fra ebbe til flod være ca. 67.000 m<sup>3</sup>, hvilket er ca. 3 gange større end tidevandsvoluminet af Holckenhavn Fjord på 20.000 m<sup>3</sup>. Det betyder, at der over en højvandsperiode selv ved stigende vandstand i Nyborg Fjord vil være en netto udstrømning fra Holckenhavn Fjord til Nyborg Fjord. Det betyder, at der kan forventes opstuvning af ferskvand fra Vindinge Å i Holckenhavn Fjord i takt med det stigende højvande i Nyborg Fjord. Det vurderes derfor, at indstrømning af tidevand vil være begrænset, fordi indstrømningen til fjorden er begrænset af sluget under vejdæmningen.

Påvirkning af Holckenhavn Fjord vurderes samlet at være lille. Der vil kunne forekomme indtrængning af opslæmmede sediment med tidevandet, men på grund af de forholdsvis lave sedimentkoncentrationer, sedimentationsraten og opholdstiden vurderes, at hovedparten af sedimentet vil blive transporteret ud af fjorden igen ved ebbe og som følge af ferskvandstilstrømningen fra Vindinge Å. Det vurderes at der vil kunne

forekomme en ubetydelig aflejring af sediment i fjordens bredzone, hvor der er lavvandet og stille vand som følge af vegetation.

#### 4.1.2 Kystmorfologi

Odden tæt ved Holckenhavn Havn kan ses på Figur 4.6, som er et øjebliksbillede fra miljøportalens arealinformation ([arealinformation.miljoportal.dk](http://arealinformation.miljoportal.dk)) i foråret år 2021. Odden er en meget dynamisk struktur og varierer meget i form over tid. På Figur 4.6 ses geometrien af odden påtegnet i udvalgte øjebliksbilleder fra 2016 (sort), 2018 (grøn), 2020 (rød) og gul (2021). Udover de 4 øjebliksbilleder kan oddens geometri variere meget, også over kortere tid, og i særdeleshed ændre form i forbindelse med en ekstrem vejrhændelse.

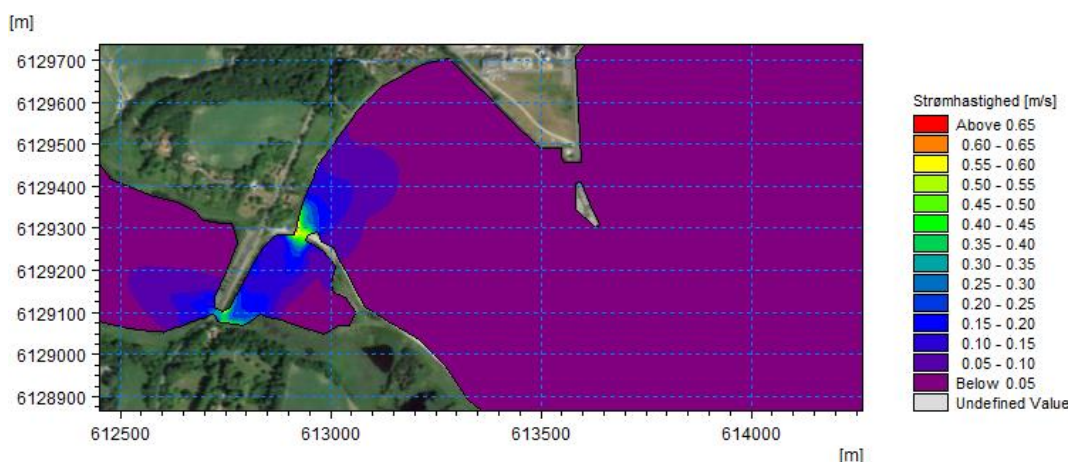


Figur 4.6: Øjebliksbillede af odden ved Holckenhavn Havn, hvor tidligere udformninger af odden er tegnet på. 2016(sort), 2018(grøn), 2020(rød) og gul(2021).

#### 4.1.3 Strømningsforhold omkring kajen

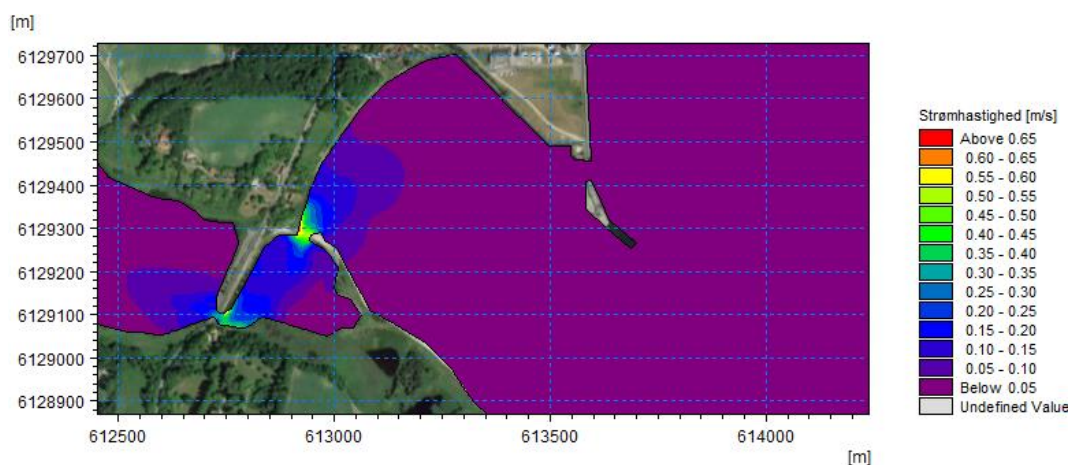
I dette afsnit vises det hvordan strømningsforholdene omkring udskibningskajen er i den lokale hydrodynamiske model. Der vises maksimale strømhastigheder i Nyborg og Holckenhavn Fjord for både den eksisterende pier-geometri såvel som for fremtidige geometri.

På Figur 4.7 ses et plot af de maksimale strømningshastigheder i Nyborg Fjord, Holckenhavn Fjord og omkring udskibningskajen med geometrien som den er i dag. Her ses det, at den maksimale strømningshastighed i langt størstedelen af Nyborg Fjord er under 0,05 m/s for simuleringsperioden 1. november til 31. januar.



**Figur 4.7:** Viser den maksimale strømningshastighed i Nyborg Fjord, Holckenhavn Fjord og omkring udskibningskajen for den nuværende geometri af udskibningskajen.

På Figur 4.8 ses et plot af de maksimale strømhastigheder i Nyborg Fjord og omkring udskibningskajen med den fremtidige geometri. Strømbilledet er ændret i ringe grad som følge af ændringen af geometrien af udskibningspieren og har neglignel betydning for strømningerne i området.

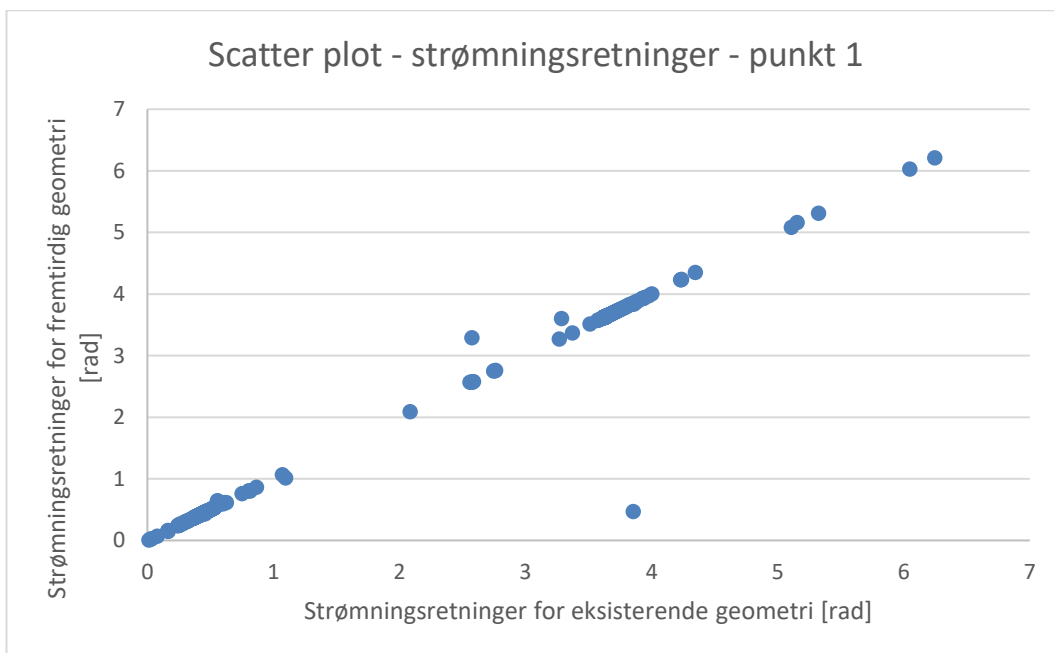


**Figur 4.8:** Viser den maksimale strømningshastighed i Nyborg Fjord og omkring udskibningskajen for den fremtidige geometri af udskibningskajen.

På Figur 4.10, Figur 4.11 og Figur 4.12 ses scatter plots for strømningshastighederne i de 3 indtegnede punkter på Figur 4.9. Det fremgår af figurerne, at strømningerne i mange tilfælde er præcis det samme i modellen med den eksisterende pier-geometri såvel som i modellen med den fremtidige pier-geometri. På Figur 4.12 ses der en større spredning på punkterne i scatter plottet end for de to andre figurer, og dette kan skyldes de meget små strømningshastigheder i punktet. De punkter der ligger langs de to akser hhv. x og y er reelt strømninger i samme retning, da retningen ligger omkring 6,14 rad eller 0 rad.

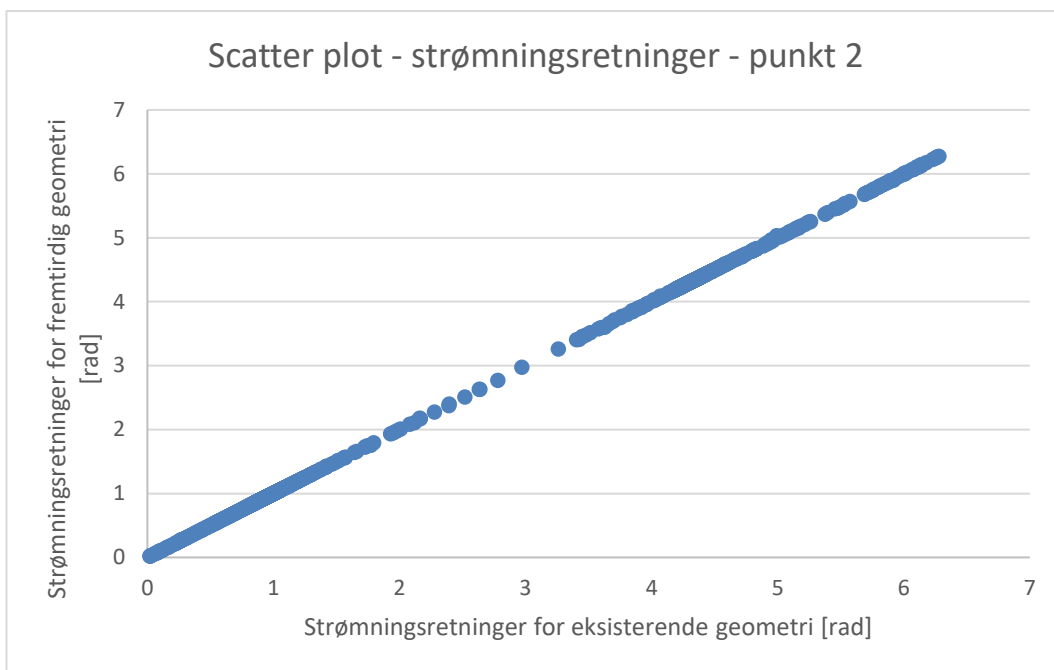


Figur 4.9: Viser de tre punkter, hvor der er udtrukket strømingsretningsdata.

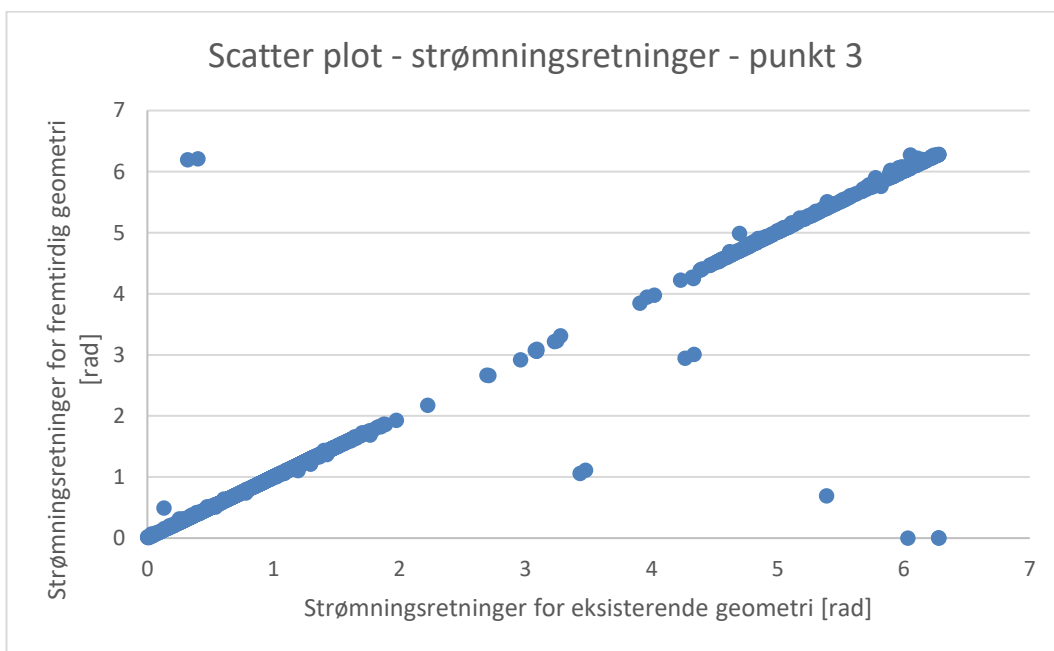


Figur 4.10: Viser et scatterplot af strømingsretningerne for den eksisterende pier-geometri plottet op imod strømingsretningerne for den nye pier-geometri i punkt 1.





**Figur 4.11:** Viser et scatterplot af strømningretningerne for den eksisterende pier-geometri plottet op imod strømningretningerne for den nye pier-geometri i punkt 2.

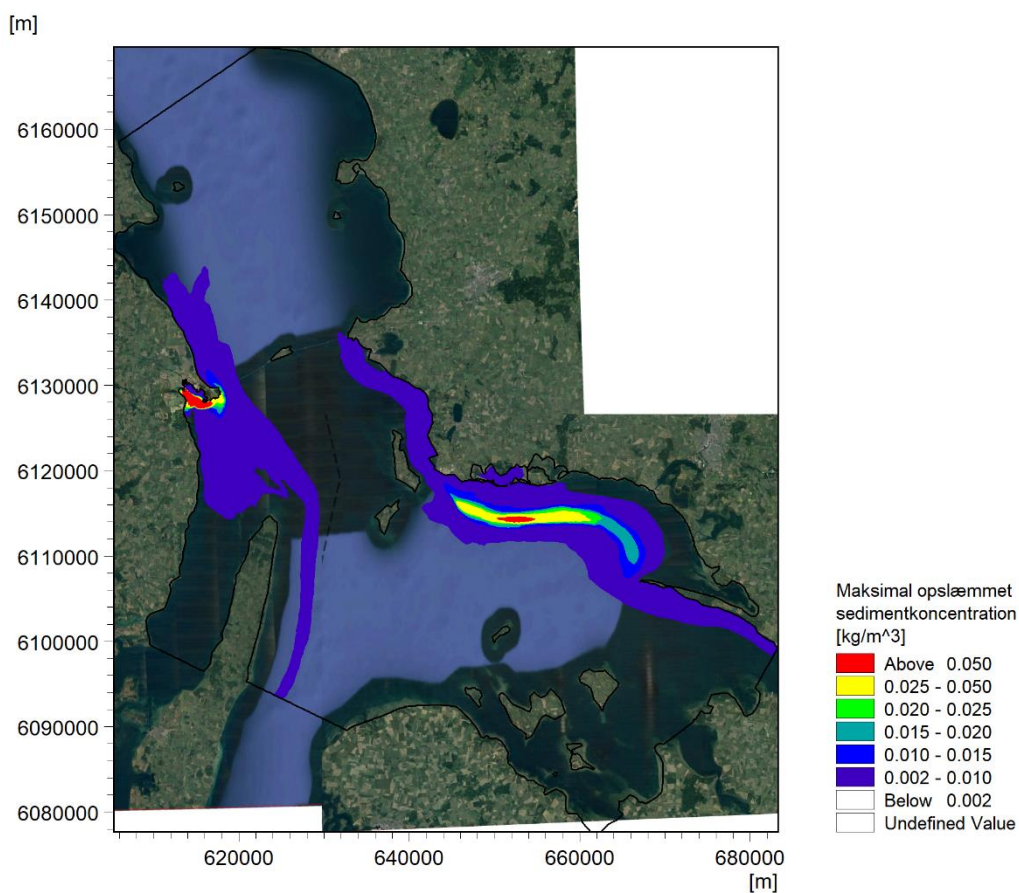


**Figur 4.12:** Viser et scatterplot af strømningretningerne for den eksisterende pier-geometri plottet op imod strømningretningerne for den nye pier-geometri i punkt 3.

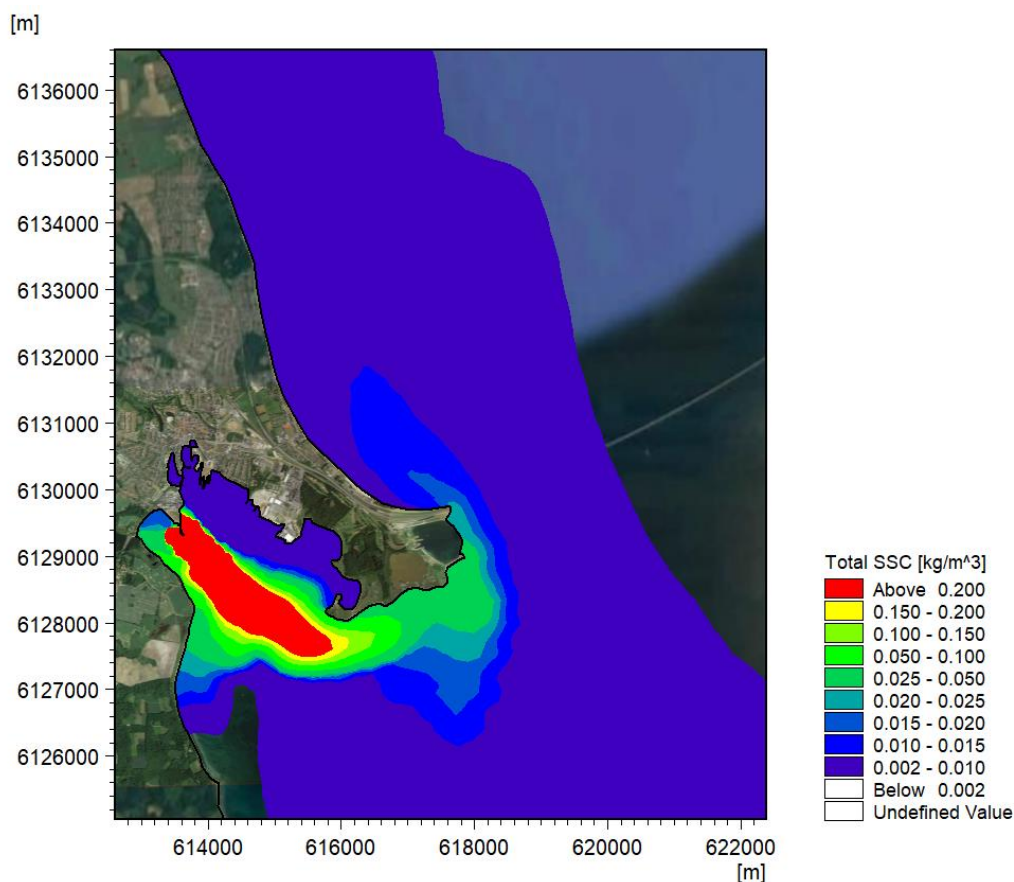
På baggrund af resultaterne for strømninger i Nyborg Fjord fra den hydrodynamiske model vurderes det, at der ikke vil forekomme væsentlige ændringer i strømningerne fra den ønskede ændring af udskibningskajens geometri.

#### 4.2 Maksimale sedimentkoncentrationer

På Figur 4.13 ses den maksimale koncentration af opslæmmet sediment til alle punkter i modellen i løbet af simuleringen. Det vil sige tid ikke er medtaget i denne figur, og det vides ud fra denne figur derfor ikke hvor lang tid koncentrationen optræder. Dette plot giver blot en idé om udstrækningen af spildfanen fra både uddybning og klappning. I afsnit 4.3 præsenteres plots hvor tidsaspekt inkluderes.



Figur 4.13: Ses den maksimale opslæmmede sedimentkoncentration.

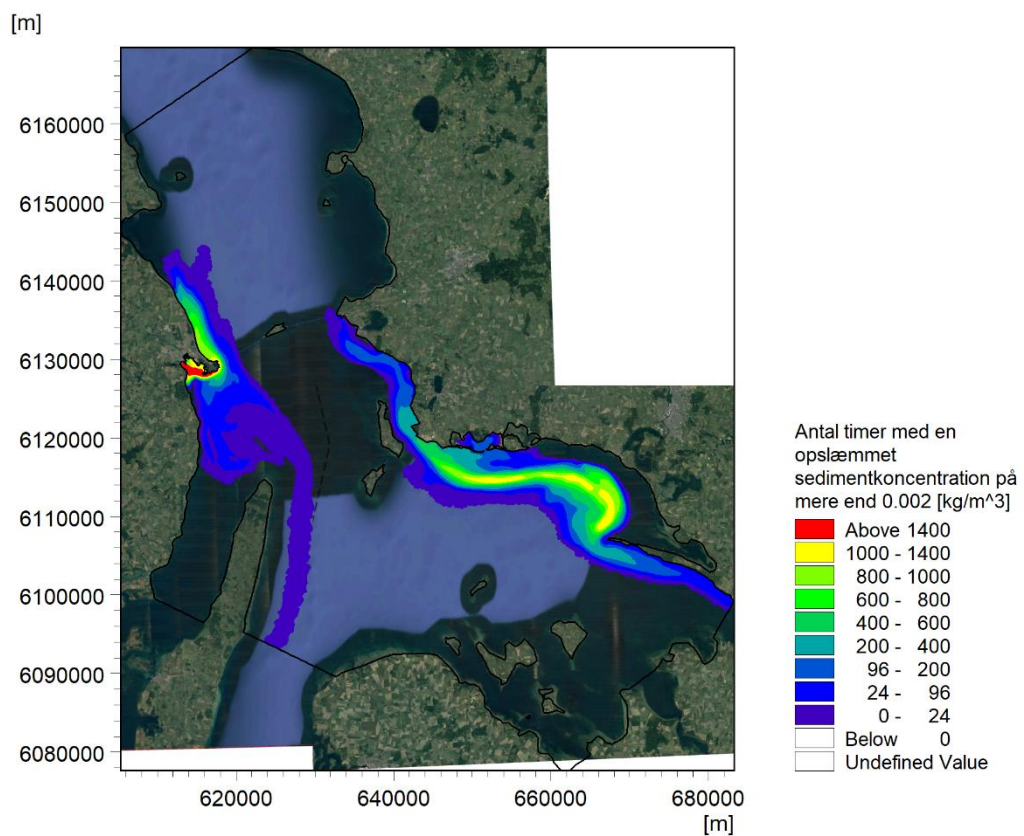


Figur 4.14: Viser et zoom af Figur 4.13 på området omkring Nyborg Fjord og ud for Knudshoved.

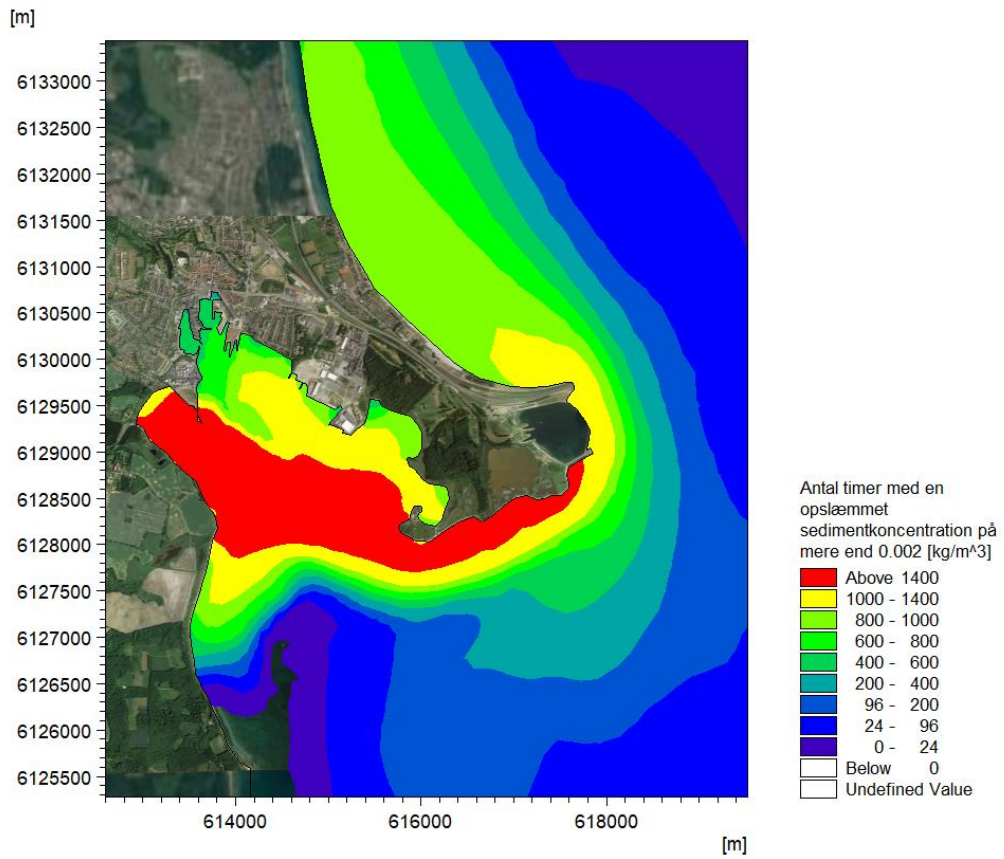
### 4.3 Spredningens tidlige synlighed

Dette afsnit indeholder figurer der viser hvor mange timer værdien for opløst sedimentkoncentration overskrider hhv. 2, 10 og 15 mg/l. På figurerne er det markeret med farver, hvor mange timer værdien for opløst sedimentkoncentration overskrider de særligt kritiske niveauer, altså er der for hvert (x,y) koordinat summeret op hvor mange hændelser der er observeret med en koncentration over 2, 10 og 15 mg/l. Da modellen regner i tidsskridt af en time, vil den værdi der er observeret være en middelbetragtning over en times simuleringsperiode. Modellen er opbygget af beregningsceller, hvor der er 7 celler i dybden, her er det vigtigt at fremhæve, at der i vandsøjlen kun skal én observation på mere end hhv. 2, 10 og 15 mg/l for at give udslag i summeringen af antallet af observationer over hhv. 2, 10 og 15 mg/l.

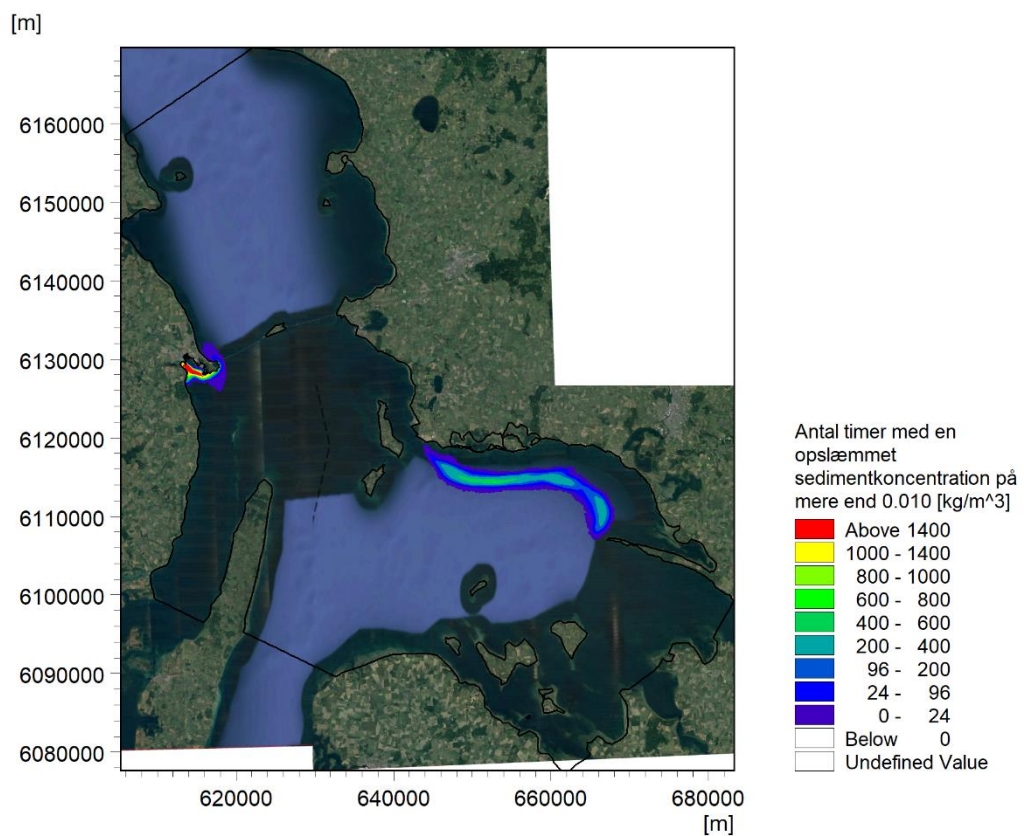
Det datasæt, som figurerne er baseret på, er en simuleringsperiode på 2208 timer svarende til 3 måneder.



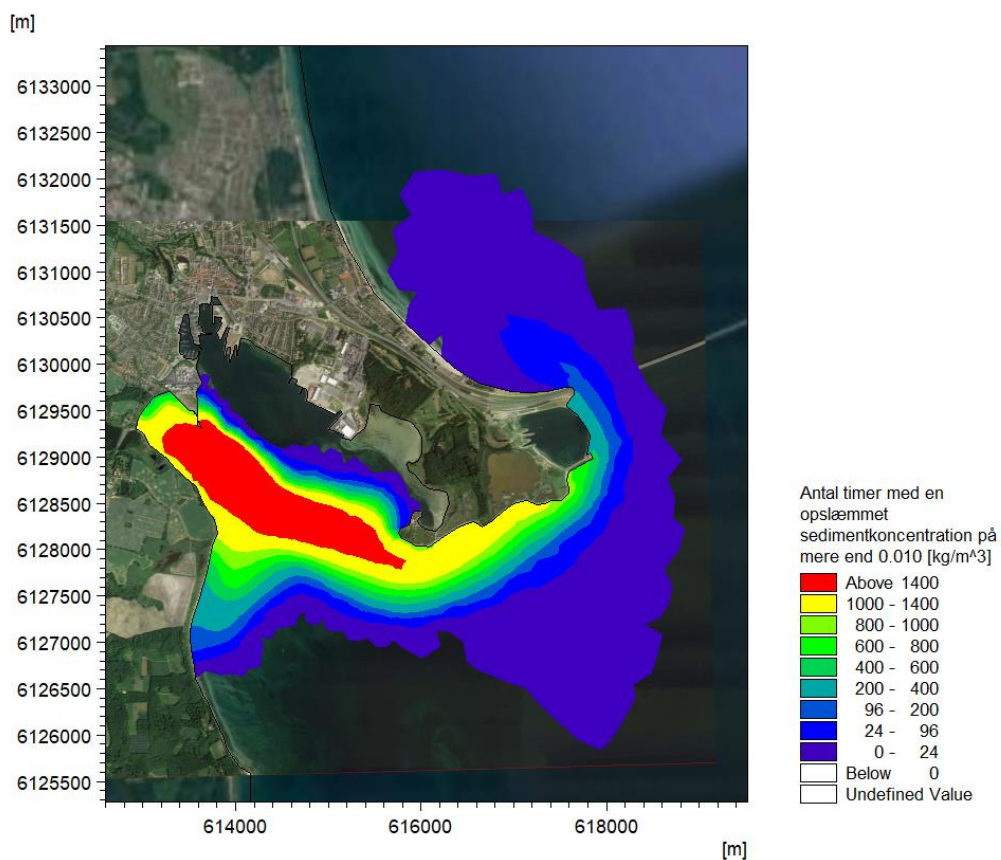
Figur 4.15: Viser antal timer med en opslæmmet sedimentkoncentration på mere end 0,002 kg/m<sup>3</sup>.



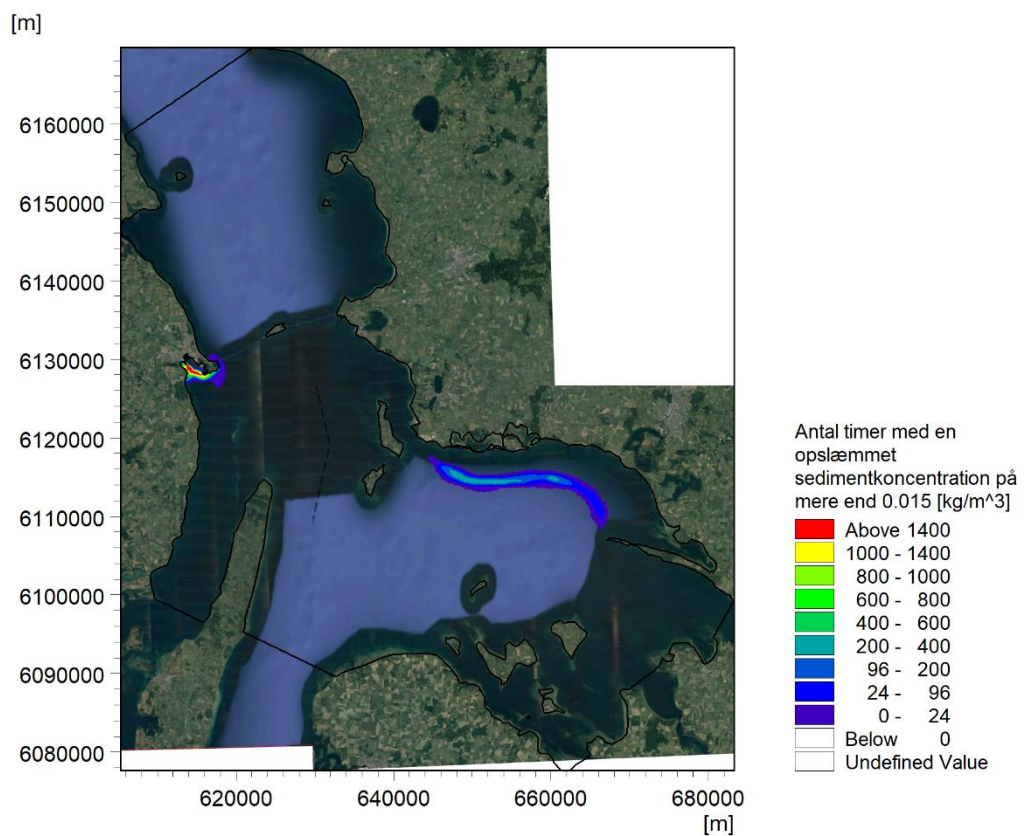
Figur 4.16: Et zoom in af Figur 4.15, og viser antal timer med en opslæmmet sedimentkoncentration på mere end 0,002 kg/m<sup>3</sup> for Nyborg Fjord om omkringliggende vande.



Figur 4.17: Viser antal timer med en opslæmmet sedimentkoncentration på mere end 0,010 kg/m<sup>3</sup>.

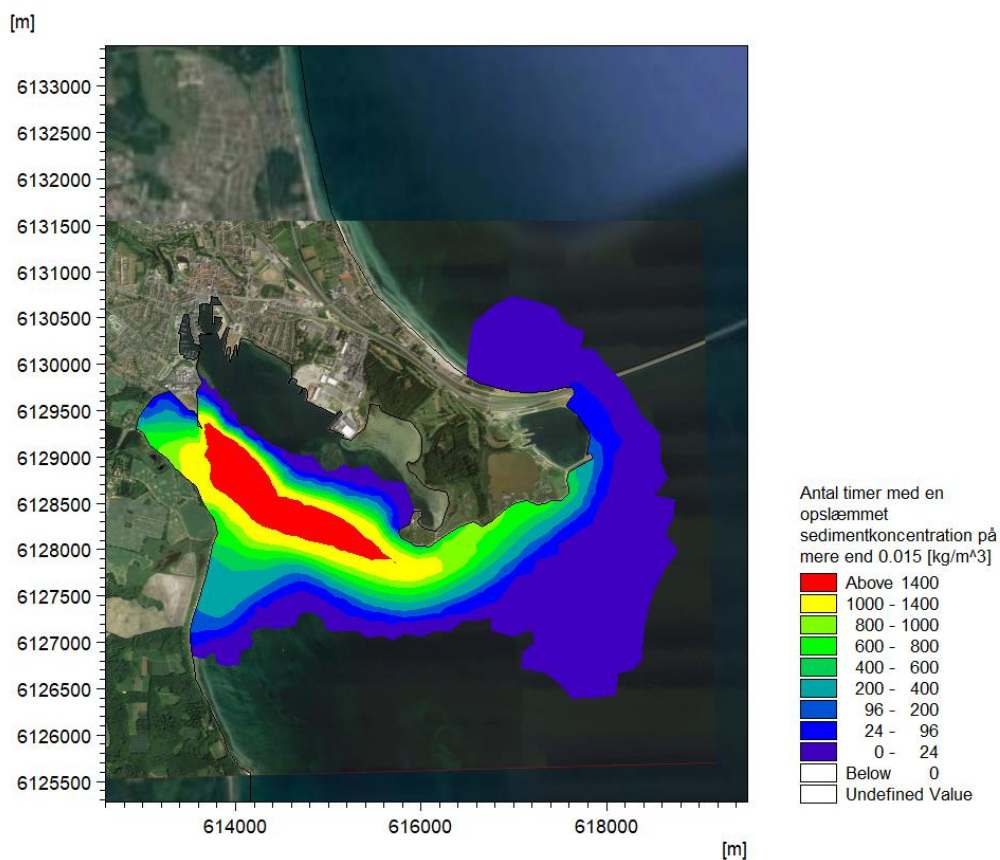


Figur 4.18: Et zoom in af Figur 4.17, og viser antal timer med en opslæmmet sedimentkoncentration på mere end 0,010 kg/m<sup>3</sup> for Nyborg Fjord om omkringliggende vande.



Figur 4.19: Viser antal timer med en opslæmmet sedimentkoncentration på mere end 0,015 kg/m<sup>3</sup>.

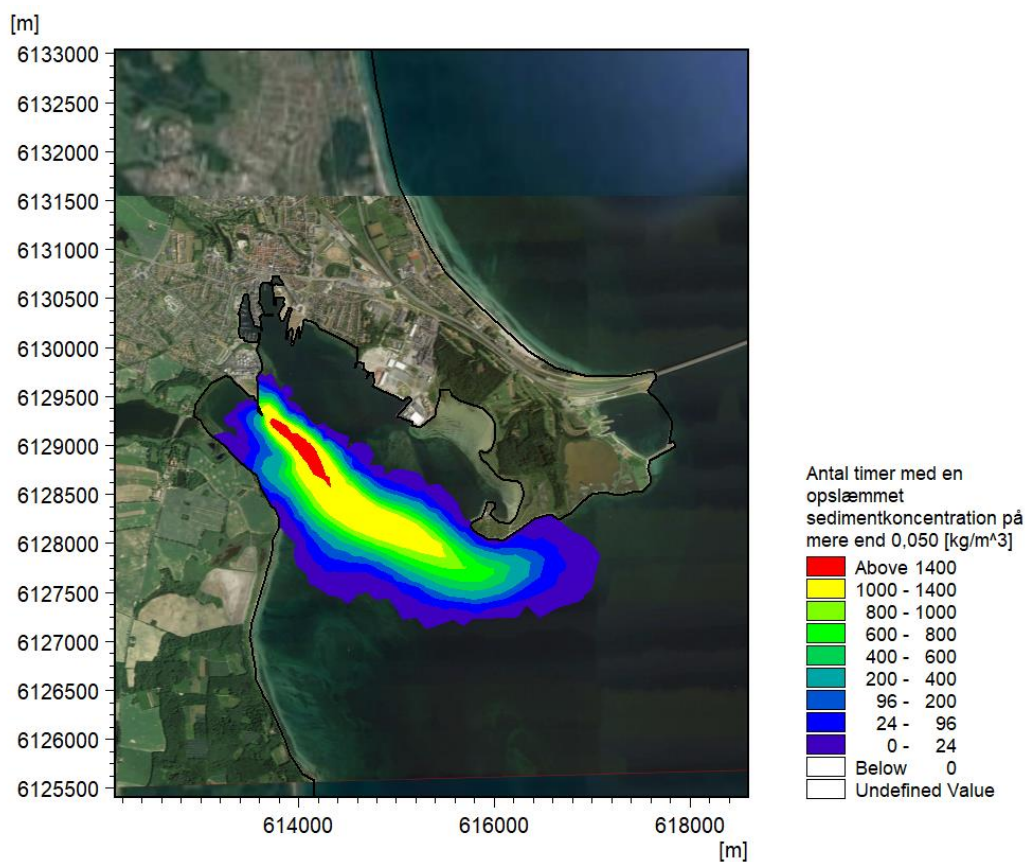




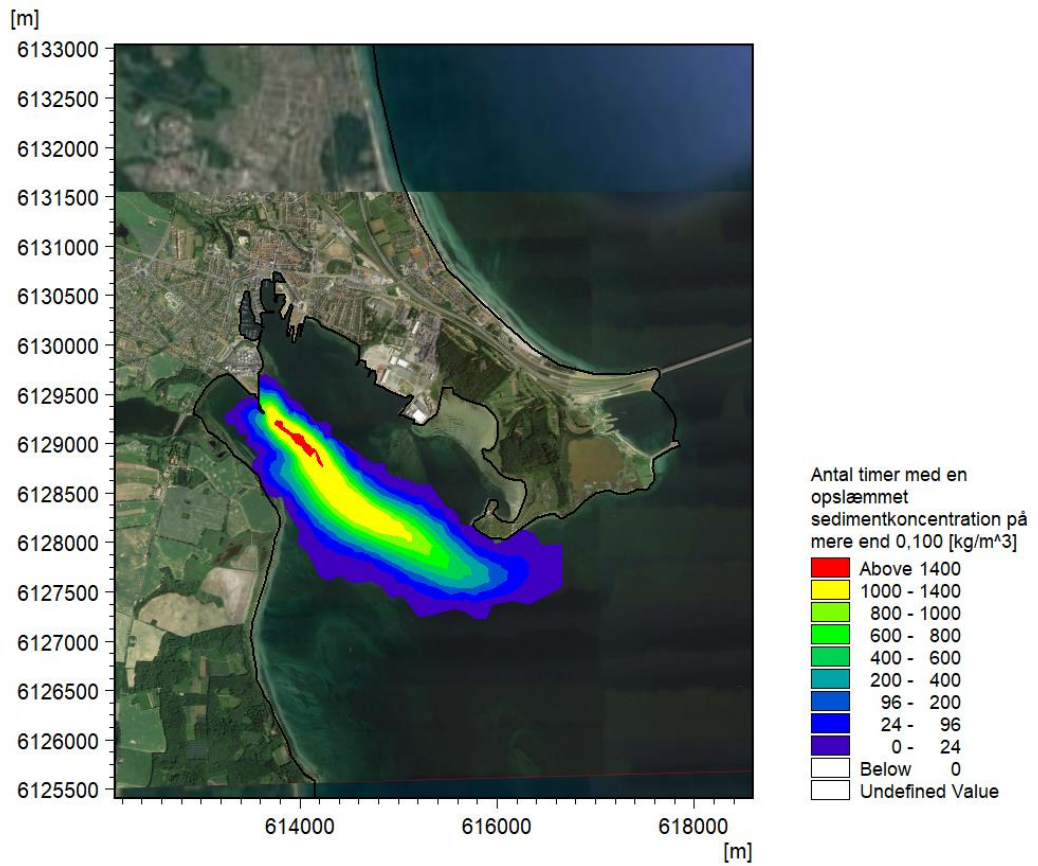
Figur 4.20: Et zoom in af Figur 4.19, og viser antal timer med en opslæmmet sedimentkoncentration på mere end 0,015 kg/m<sup>3</sup> for Nyborg Fjord om omkringliggende vande.

#### 4.3.1 Supplerende plots for vurdering af påvirkningen på den marine flora og fauna i de nære kystvande

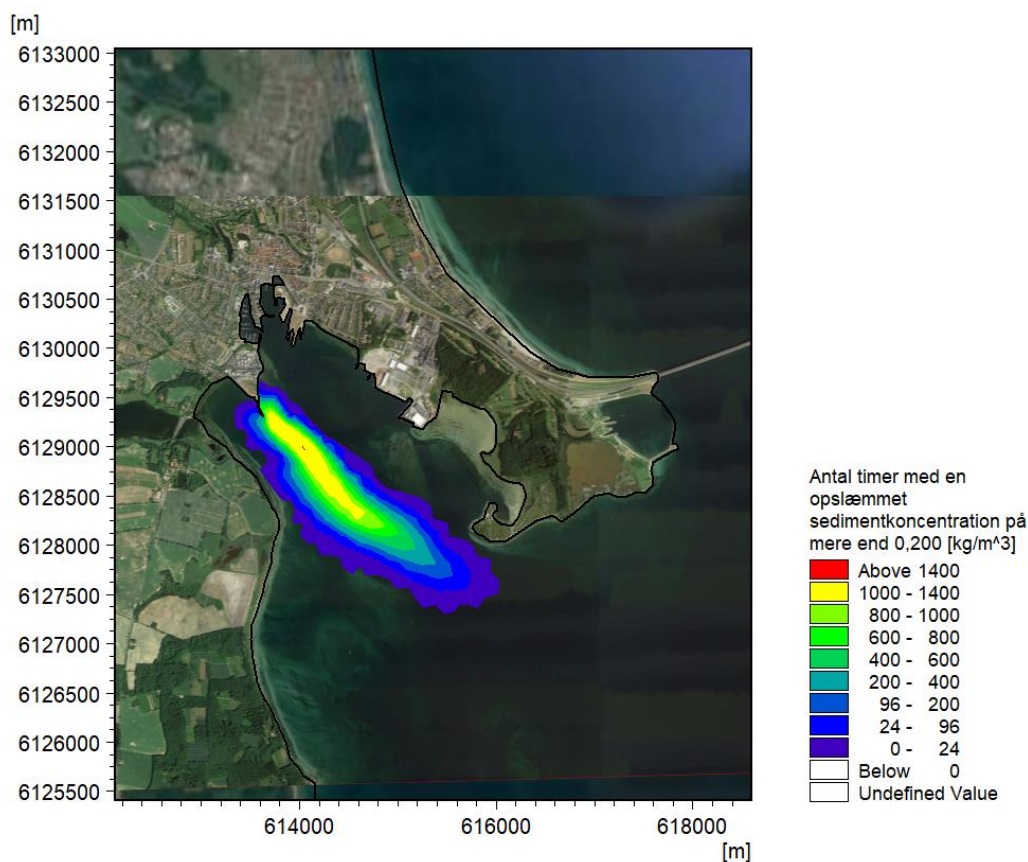
For at vurdere spildfanens påvirkningen af den marine flora og fauna i de nære kystvande; Nyborg Fjord, Storebælt SV, Storebælt NV. Er der i nærværende afsnit figurer der viser tidsperspektivet for højere koncentrationer af opslæmmet sedimentkoncentration end i foregående afsnit. På Figur 4.21, Figur 4.22 og Figur 4.23 ses antal timer med en opslæmmet sedimentkoncentration på mere end hhv. 50 mg, 100 mg og 200 mg.



Figur 4.21: Viser antal timer med en opslæmmet sedimentkoncentration på mere end 0,050 kg/m<sup>3</sup>.



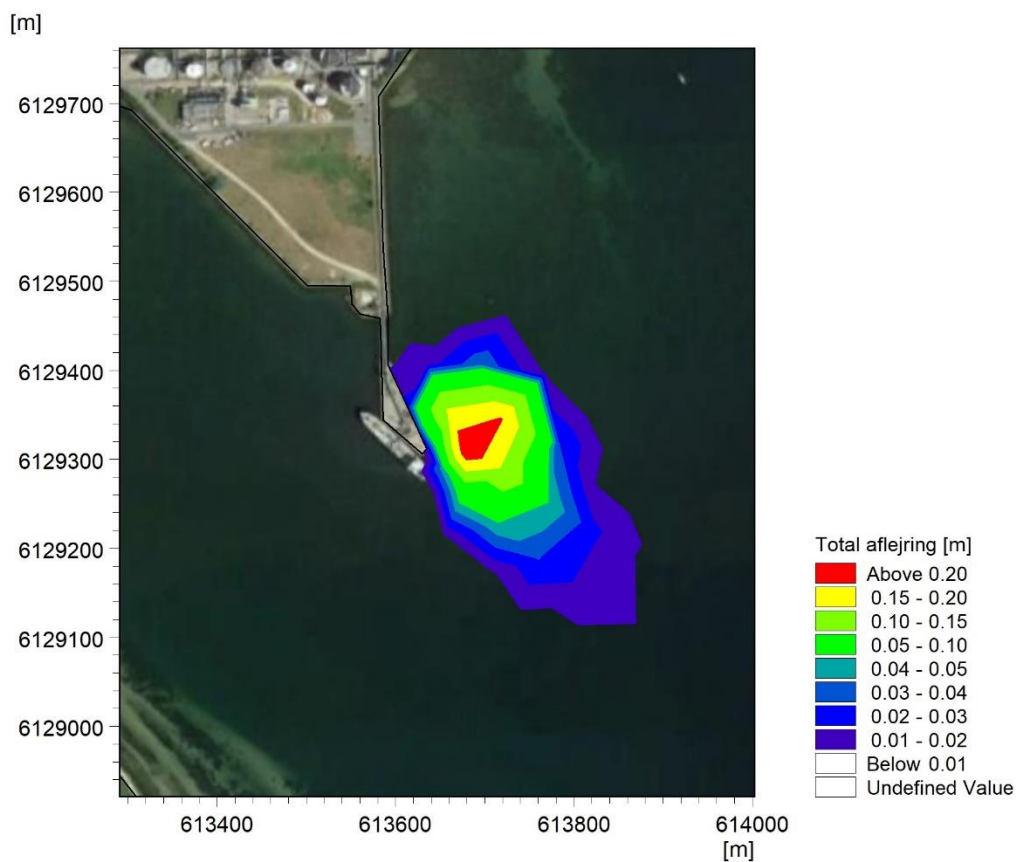
Figur 4.22: Viser antal timer med en opslæmmet sedimentkoncentration på mere end 0,100 kg/m<sup>3</sup>.



Figur 4.23: Viser antal timer med en opslæmmet sedimentkoncentration på mere end 0,200 kg/m<sup>3</sup>.

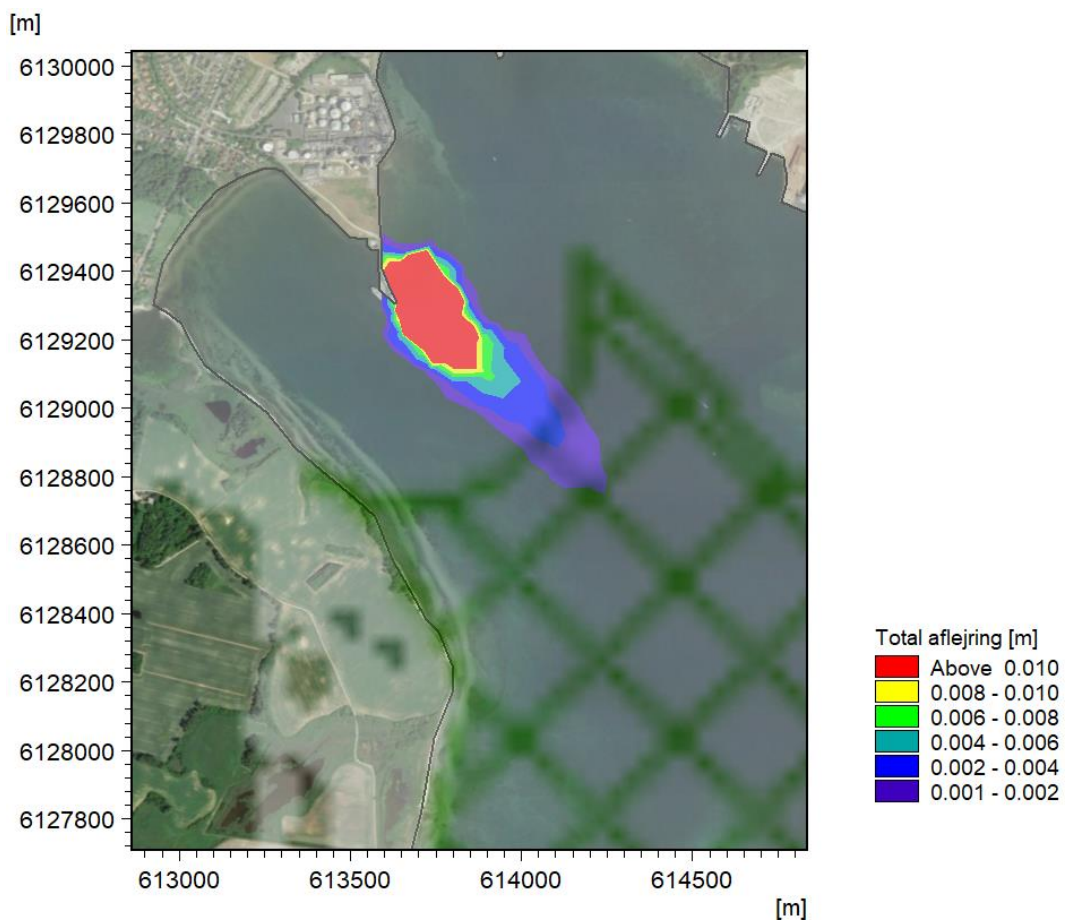
#### 4.4 Aflejring af sediment

I dette afsnit bliver det klarlagt hvor og hvor meget af det opslæmmede sediment der bundfældes. På Figur 4.24 ses den totale aflejring af det opslæmmede sediment omkring udskibningskajen, hvor uddybningen sker. Da der generelt er meget små strømningshastigheder omkring kajen, er der meget materiale der bundfælder sig lige omkring uddybningsområdet.



**Figur 4.24: Total aflejring af opslæmmet sediment.**

På Figur 4.25 er polygonen på Figur 4.25 markeret med den røde farve, hvilket vil sige inden for den er aflejringen af sediment mere end 0,01 m. Figur 4.25 viser udbredelsen af aflejringen af sediment fra uddybningen omkring pieren for tykkelser mellem 1 mm og 0.01 m.



Figur 4.25: Total aflejring af opslæmmet sediment.

## 5 Konklusion

Denne rapport har simuleret hydrodynamik og deraf spredning ifm. uddybning ved Avernakke og klapning syd for Glenø. På basis af analyserne konkluderes det:

- Der er generelt meget små strømhastigheder i projektområdet og det kommende projekt forventes ikke at påvirke disse. Bølgeforskel forventes ligeledes ikke ændret signifikant pga. uddybning og kajkonstruktion. Derfor forventes der ikke ændringer i kystmorfologiske forhold.
- Der er en insignifikant påvirkning af Holckenhavn Fjord grundet overordnet udstrømning fra å-udløb.
- Det er vist at sedimentfanen vil bevæge sig ud i Storebælt i forbindelse med uddybningen. Der vil være en påvirkning primært mod nord. I forbindelse med klappning vil spildfanen bevæge sig øst-vest fra klapplassen.
- Det er konservativt valgt ikke at medtage bølger i denne hydrodynamiske- og spildmodel.

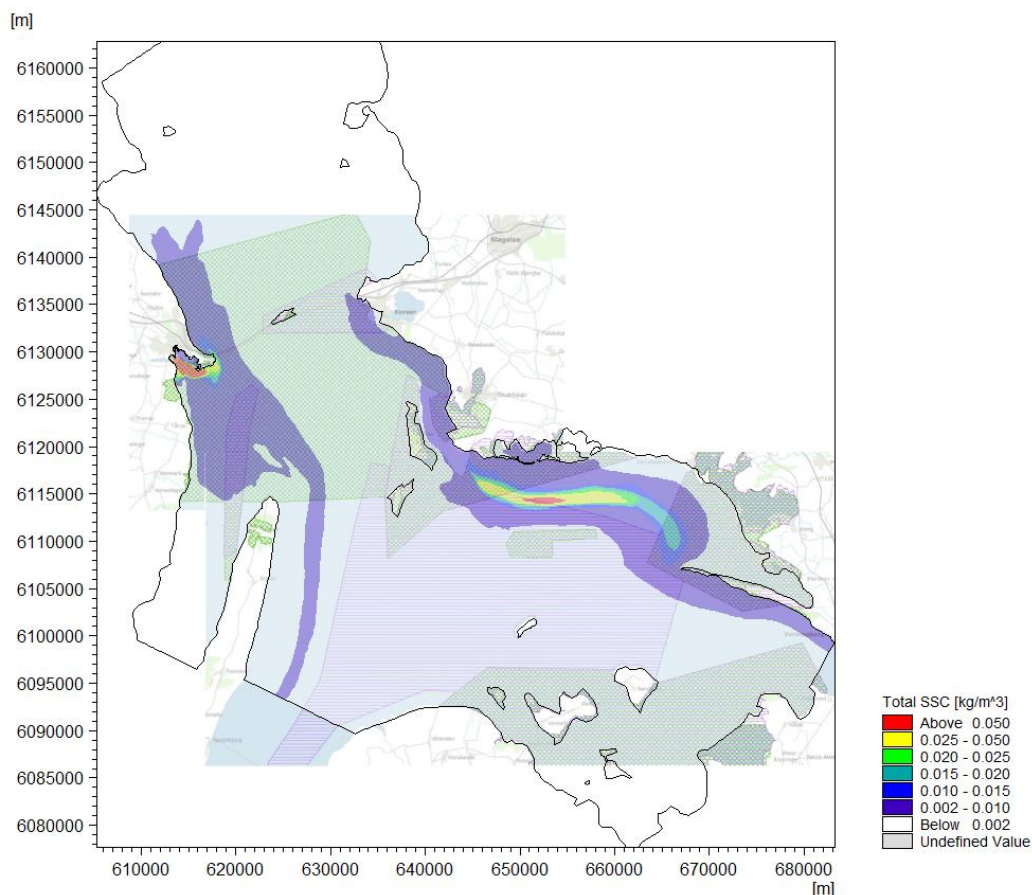
## 6 Referencer

Geodatastyrelsen. (03. 12 2021). <https://www.danskehavnelods.dk/>. Hentet fra <https://www.danskehavnelods.dk/#HID=232>

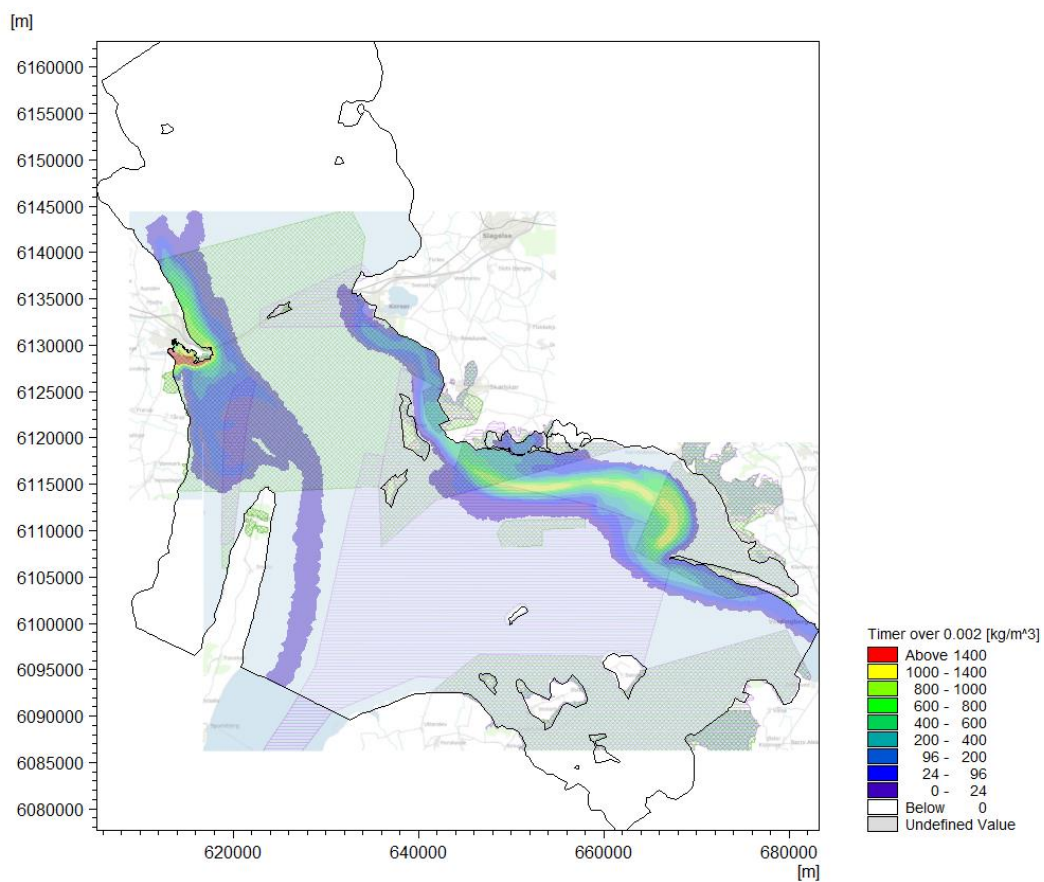


## Bilag 1: Spildfane og Natura 2000 områder

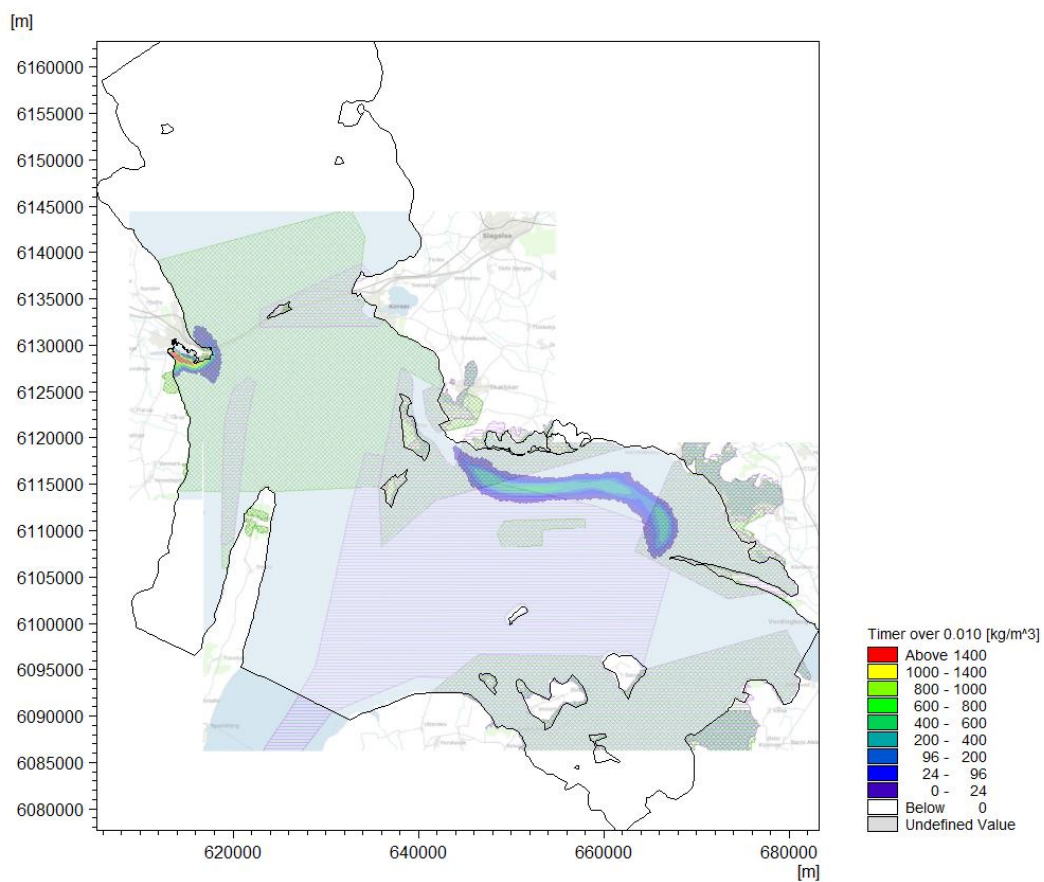
Dette bilag viser spildfanen fra spildsimuleringen plottet sammen med natura2000 områderne for fuglebeskyttelse og habitatområder markeret med hhv. magenta og grøn farve på Figur 0.1, Figur 0.2, Figur 0.3 og Figur 0.4. Figur 0.1 viser natura2000 områderne med spildfanen for den maksimale opløsnede sedimentkoncentration. På Figur 0.2, Figur 0.3 og Figur 0.4 ses natura2000 områderne for fuglebeskyttelse og habitatområder plottet med timeplots for koncentrationerne 2 mg/l, 10 mg/l og 15 mg/l. I afsnit 4.3 er det beskrevet hvordan timeplots skal læses.



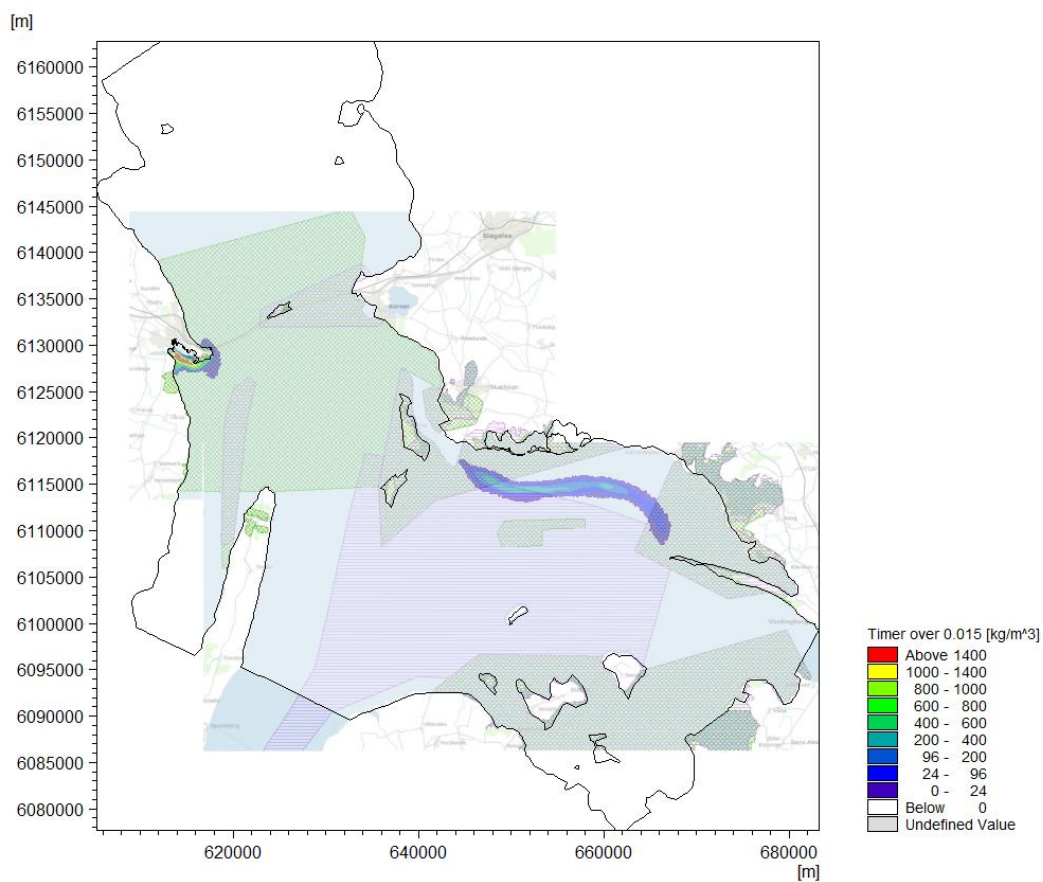
**Figur 0.1: Viser Natura 2000 områder i Storebælt og Smålandsfarvandet sammen med spildfanen for den maksimale koncentration af opløst sediment fra spildmodellen.**



Figur 0.2: Viser antal timer med en koncentration af opslæmmet materiale over 2 mg/l.



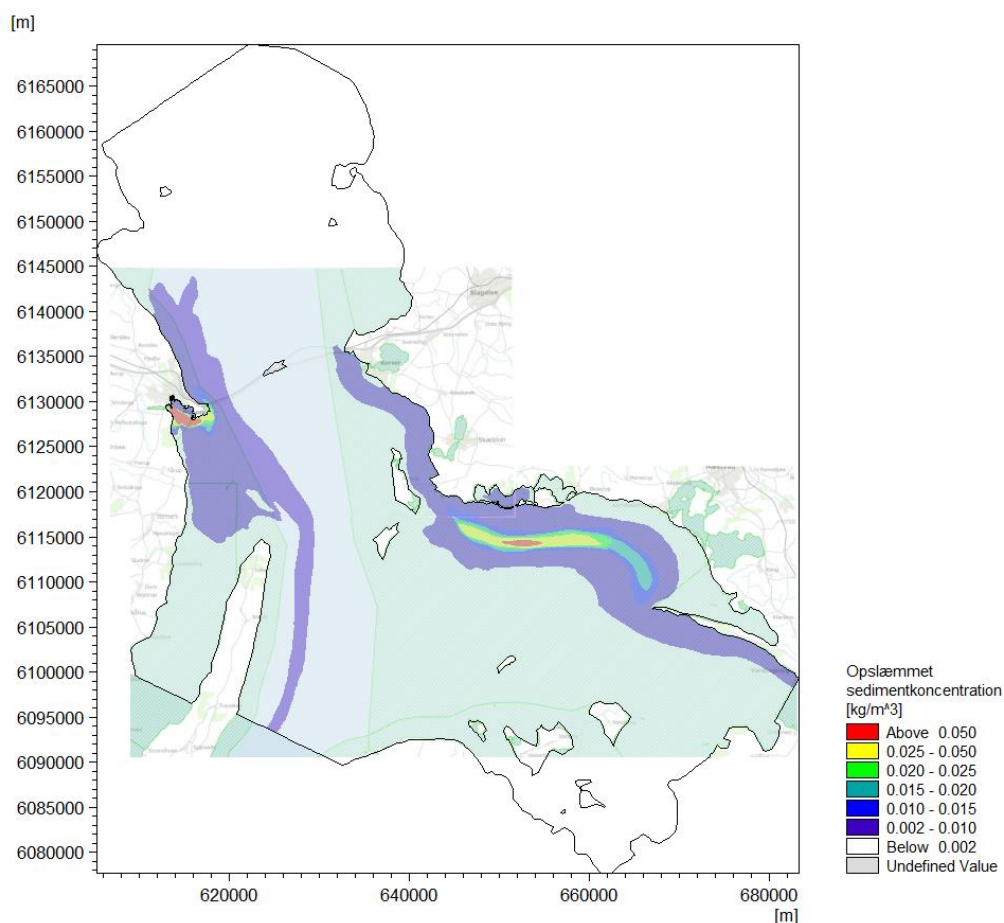
Figur 0.3: Viser antal timer med en koncentration af opslæmmet materiale over 10 mg/l.



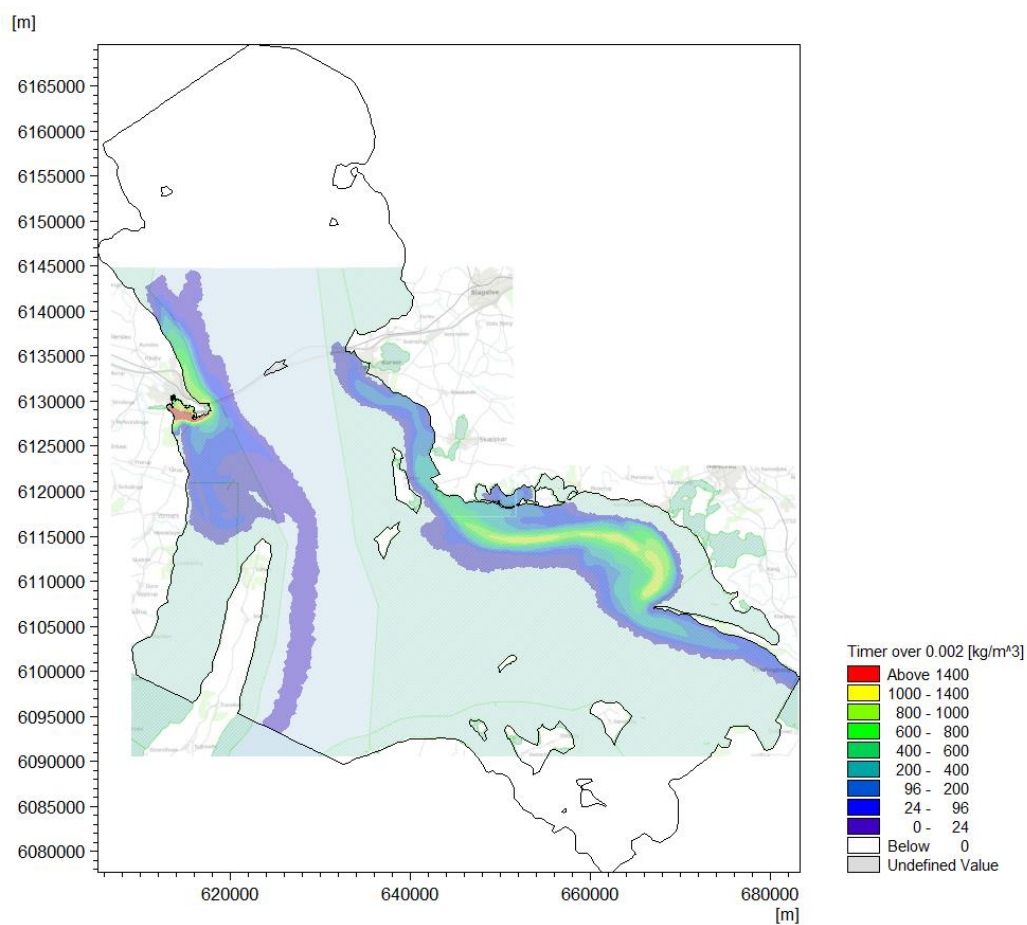
Figur 0.4: Viser antal timer med en koncentration af opslæmmed materiale over 15 mg/l.

## Bilag 2: Spildfane og Vandområdeplanernes kystvande

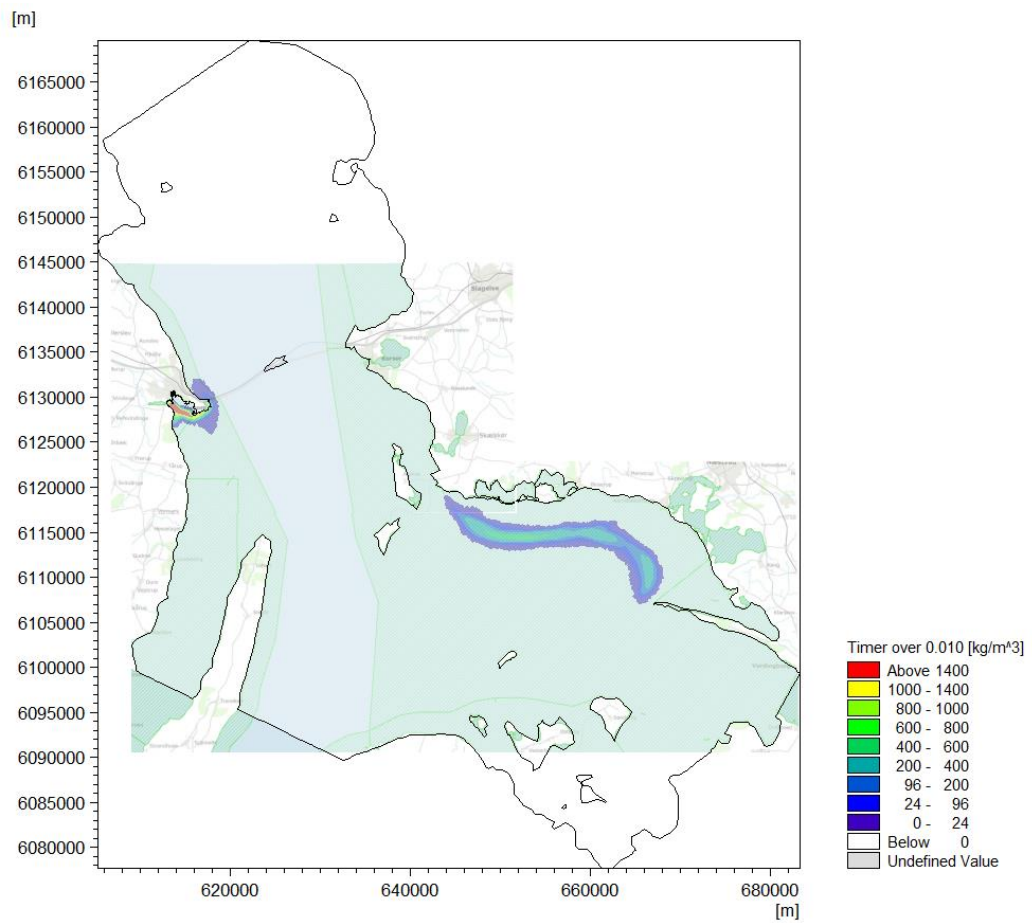
Dette bilag viser spildfanen fra spildsimuleringen plottet sammen med Vandområdeplanernes kystvande markeret med grøn på Figur 0.1, Figur 0.2, Figur 0.3 og Figur 0.4. Disse figurer skal bruges til at understøtte en konsekvensvurdering for de valgte naturområder. Figur 0.1 viser Vandområdeplanernes kystvande sammen med spildfanen for den maksimale opslæmmede sedimentkoncentration. På Figur 0.2, Figur 0.3 og Figur 0.4 ses Vandområdeplanernes kystvande plottet med timeplots for koncentrationerne 2 mg/l, 10 mg/l og 15 mg/l. I afsnit 4.3 er det beskrevet hvordan timeplots skal læses.



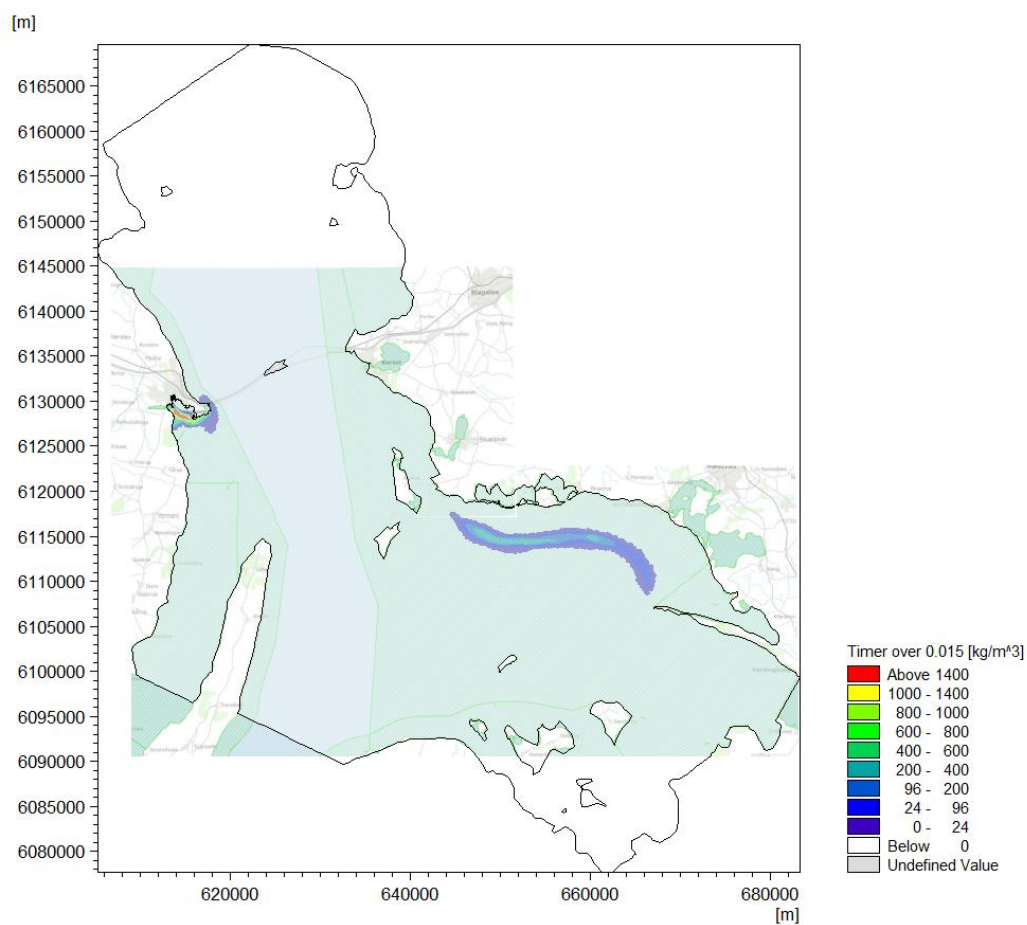
**Figur 0.1:** Viser vandområdeplanernes kystvande i Storebælt og Smålandsfarvandet sammen med spildfanen fra spildmodellen.



Figur 0.2: Viser antal timer med en koncentration af opslæmmet materiale over 2 mg/l.



Figur 0.3: Viser antal timer med en koncentration af opslæmmet materiale over 10 mg/l.



Figur 0.4: Viser antal timer med en koncentration af opslæmmet materiale over 15 mg/l.