

Bilag 6

Sedimentspredning i Kolding
Fjord


Marina City

12. februar 2019

Indhold

1	Indledning	5
2	Metodebeskrivelse	5
3	Data	5
3.1	Hydrografiske data	5
3.2	Sedimentkarakteristika	13
4	Generel hydrografisk beskrivelse	17
4.1	Valg af periode	17
4.2	Strømforhold	19
5	Uddybningsarbejdet	25
5.1	Gravemængder	25
5.2	Sedimentspild	26
5.3	Graveplan	26
6	Modellering af sedimentspredning	28
6.1	Opsætning af numerisk model	28
6.2	Beregning af lysdæmpning	35

6.3	Validering af model	36
7	Præsentation af modelresultater	40
7.1	Gravepladsen ved Kolding	40
7.2	Klappladsen i Lillebælt	69
8	Bibliografi	116



Projekt nr.: 227608
Dokument nr.: 1230341307
Version 6
Revision 1

Udarbejdet af SSC
Kontrolleret af JAD
Godkendt af BSJ

1 Indledning

Kolding Kommune planlægger at udvikle Marina City som en ny bydel på sydsiden af Kolding Fjord, som skal rumme et nyt og tiltrækkende bolig- og havnemiljø samt Danmarks mest attraktive marina. I den forbindelse skal der uddybes i havneområdet og i sejlrenden. Det opgravede materiale skal efterfølgende klappes på klapplassen Trelde Næs i den nordlige del af Lillebælt.

Kolding Havn er lokaliseret i bunden af Kolding Fjord. Området omkring gravestedet er karakteriseret ved et fladvandsområde med vanddybder på 1-4 m. Klapplassen er beliggende cirka 5,5 km øst for Trelde Næs, syd for udmundingen af Vejle Fjord. Klapplassens samlede areal udgør ca. 1 km².

Denne rapport redegør for de modeller, der ligger til grund for beregning af spredning af det uddybede materiale under graveprocessen og spredning af det sediment, der tabes i vandsøjlen under klapping, samt præsentation af modelresultaterne. Resultaterne bruges til at vurdere projektets påvirkning af havbund, flora og fauna.

2 Metodebeskrivelse

Til at vurdere spredningen og sedimenteringen af sedimentet, der spildes ved uddybningen og klapping, anvendes en koblet Mike21 FM model med HD (HydroDynamic) og MT (MudTransport) modulerne. Mike 21 FM er en 2-dimensional numerisk løser bestående af et fleksible beregningsnet (Flexible Mesh, FM). Modellerne beskrives nærmere i afsnit 6.

Valg af beregningsperioder, beskrevet i afsnit 4, er baseret på alle baggrundsdata præsenteret i afsnit 3. Modelberegningerne afhænger yderligere af selve uddybningsarbejdet og klappingen, præsenteret i afsnit 4.2. I sidste afsnit, afsnit 7, præsenteres modelresultaterne.

3 Data

Digitaliserede dybdekoturer fra søkort 158 dækkende hele Kolding Fjord og søkort 114 dækkende den nordlige del af Lillebælt inklusiv klapplassen [1] er benyttet til at producere et fyldestgørende beregningsnet. Yderligere er en tidsserie af vandstandsmålinger (dækkende hele beregningsperioden) ved Bogense og Assens leveret af DMI. Disse vandstandsmålinger er brugt som grænsebetingelser for vandoverfladen ved model-grænselinjerne. Derudover er vandstandsmålinger for Kolding Havn og Fredericia Havn benyttet til at validere modellen. Vindmålinger leveret af The European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), er anvendt som grænsebetingelse i form af en tidsserie dækkende hele beregningsperioden. I det næste præsenteres de hydrografiske data for Kolding Fjord og klapplassen samt sedimentkarakteristika for det opgravede sediment.

Alle koordinater i denne rapport er angivet i UTM 32.

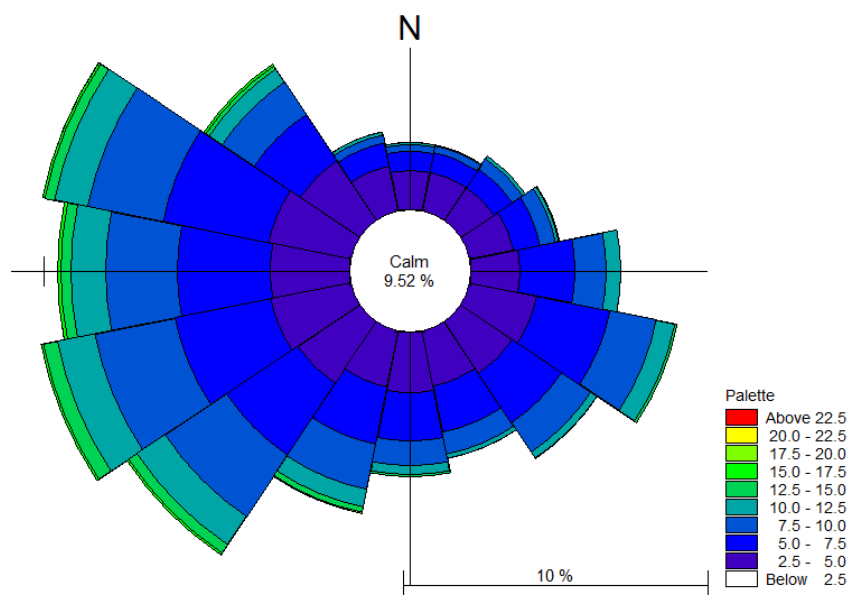
3.1 Hydrografiske data

3.1.1 Vind

I Figur 3.1 ses en vindrose for Kolding Havn baseret på 37 års data (1979-2016). Målingen er et øjebliksbillede af vinden med frekvens på 6 timer. Analyser viser

dog, at over lange perioder stemmer dette godt overens med middelvinddata. Det ses, at vinden kommer fra vestlig retning i mere end 50 % af tiden.

Figur 3.1: Vindrose (m/s) for Kolding Havn baseret op 37 års data (1979-2016) [ECMWF]. Rosen viser, hvilken retning vinden kommer fra.



Forekomst af vindretninger for Kolding Havn er angivet i Tabel 3.1 som funktion af måneder. Vindretninger fra N til V-NV (195° -255°) forekommer oftest i vinterhalvåret, mens retninger fra V til V-SV (255° -315°) oftest forekommer i sommermånederne.

Tabel 3.1: Vindretningernes forekomst i procent som funktion af måned.

MÅNED/ RETNING	S	S-SØ	Ø-SØ	Ø	Ø-NØ	N-NØ	N	N-NV	V-NV	V	V-SV	S-SV	SUM
Jan	0.3	0.4	0.4	0.5	0.8	0.6	0.8	1.0	1.5	1.2	0.8	0.4	8.7
Feb	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.6	0.5	0.8	1.2	1.1	0.7	0.4	7.7
Mar	0.3	0.3	0.4	0.8	0.9	0.6	0.6	0.8	1.1	1.2	1.0	0.5	8.5
Apr	0.4	0.4	0.5	0.9	0.9	0.5	0.5	0.7	0.9	0.9	1.1	0.6	8.2
Maj	0.3	0.3	0.5	0.9	0.9	0.5	0.4	0.6	1.0	1.2	1.3	0.6	8.5
Jun	0.3	0.2	0.2	0.5	0.6	0.4	0.4	0.7	1.0	1.5	1.9	0.5	8.2
Jul	0.2	0.2	0.2	0.6	0.7	0.4	0.4	0.7	1.2	1.6	1.8	0.4	8.5
Aug	0.3	0.2	0.2	0.4	0.8	0.5	0.4	0.9	1.2	1.4	1.6	0.4	8.5
Sep	0.3	0.2	0.3	0.5	0.8	0.6	0.6	0.8	1.2	1.2	1.2	0.5	8.2
Okt	0.2	0.2	0.3	0.5	0.9	0.8	0.8	1.1	1.3	1.0	0.9	0.4	8.5
Nov	0.3	0.4	0.3	0.5	0.8	0.7	0.8	1.1	1.1	1.0	0.8	0.4	8.2

Dec	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6	0.5	0.7	1.1	1.4	1.2	0.8	0.4	8.5
Sum	3.7	3.6	4.4	7.2	9.3	6.7	6.7	10.3	14.1	14.4	14.0	5.6	100.0

3.1.2 Vandføring

De hydrografiske forhold i Kolding Havn er vurderet i [2]. Kolding Fjord er generelt præget af lave strømhastigheder. Omkring Marina Syd er strømmen primært drevet af den vandføring, der kommer fra Kolding Å og dermed i østlig retning. Indadgående strøm kan dog opstå ved høj vandstand i Lillebælt.

I det følgende sammenholdes vandføringen fra Kolding Å med vandføringen i indre Kolding Fjord, som i dette projekt defineres som den inderste del af fjorden ud til en linje mellem Drejens Odde og Skarre Odde. I Figur 3.2 er grænsen mellem indre og ydre Kolding Fjord angivet med stiplet linje. Arealet af indre Kolding Fjord er opmålt til at være omkring 7 km².

Figur 3.2: Placering af målestationer i Kolding Fjord og Vejle Fjord samt på Trelde Næs klappads. I figuren er grænsen mellem indre og ydre Kolding Fjord også angivet med stiplet linje.



Vandføringen i Kolding Havn er baseret på målinger af vandstandsændringer i havnen Δh , leveret af DMI¹. Gennemsnitsvandføringen pr. måned udregnes som

$$Q_{fjord} = \frac{\sum_i^N \Delta h_i A}{N}, \quad (1)$$

hvor N er antallet af målinger pr. måned og $A = 7 \text{ km}^2$ er arealet af indre Kolding fjord.

Vandføringen, Q_a , i m³/s i Kolding Å er taget fra Danmarks Miljøportal [3], målestation St34000019. Målingerne er givet som middelvandføring pr. døgn.

¹ www.dmi.dk

Placeringen af målestationen er vist i Figur 3.2. Den gennemsnitlige vandføring pr. måned udregnes som

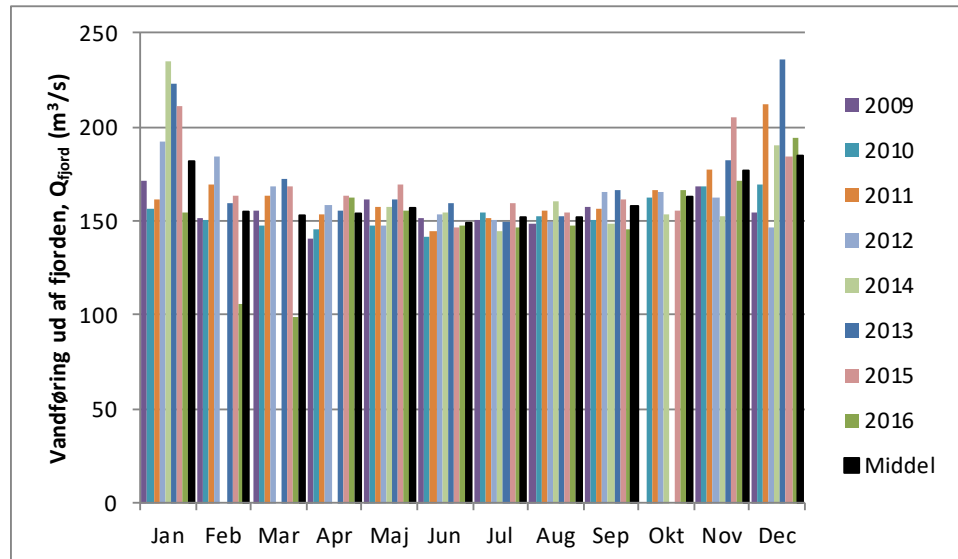
$$Q_{\bar{a}} = \frac{\sum_i^N Q_i}{N}. \quad (2)$$

I Figur 3.3 og Figur 3.4 ses gennemsnitsvandføringen pr. måned ud og ind af Kolding Fjord. Målingerne fra februar 2014 til april 2014 er ikke troværdige og er derfor ikke vist i figuren.

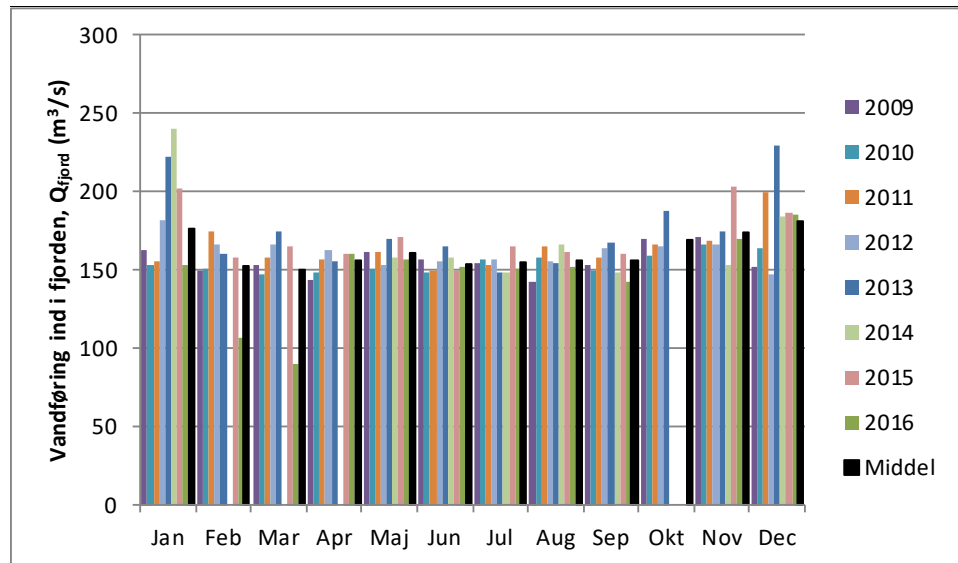
I Figur 3.5 ses gennemsnitsvandføringen pr. måned i Kolding Å. Da der kun findes målinger for både vandføring i Kolding Å og vandstand i Kolding Fjord i årene 2013, 2014 og 2016, så sammenlignes vandføringerne kun for disse år.

Det ses, at vandføringen i fjorden er cirka 40 gange større end vandføring fra Kolding Å. Vandføringen i åen er over dobbelt så stor i vintermånederne december, januar og februar sammenlignet med i sommermånederne juni, juli og august. I fjorden er der også en lille forskel mellem vinter og sommermåneder men ikke i samme størrelsesorden.

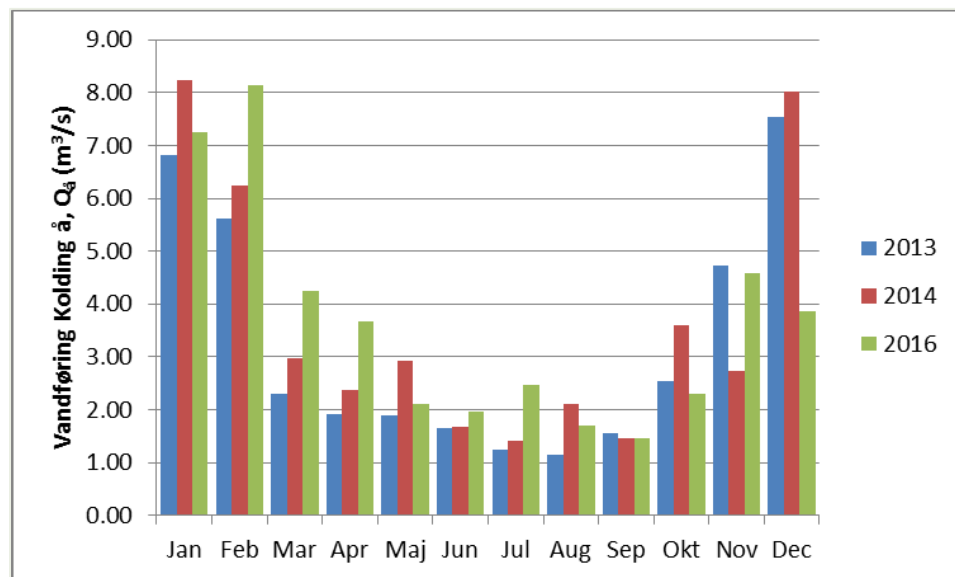
Figur 3.3 Vandføring ud af indre Kolding Fjord. (Middelværdier for perioden 2009-2016).



Figur 3.4 Vandføring ind i indre Kolding Fjord (Middelværdier for perioden 2009-2016).



Figur 3.5 Vandføring i Kolding Å. Middelværdier pr. måned for årene 2013, 2014 og 2016.

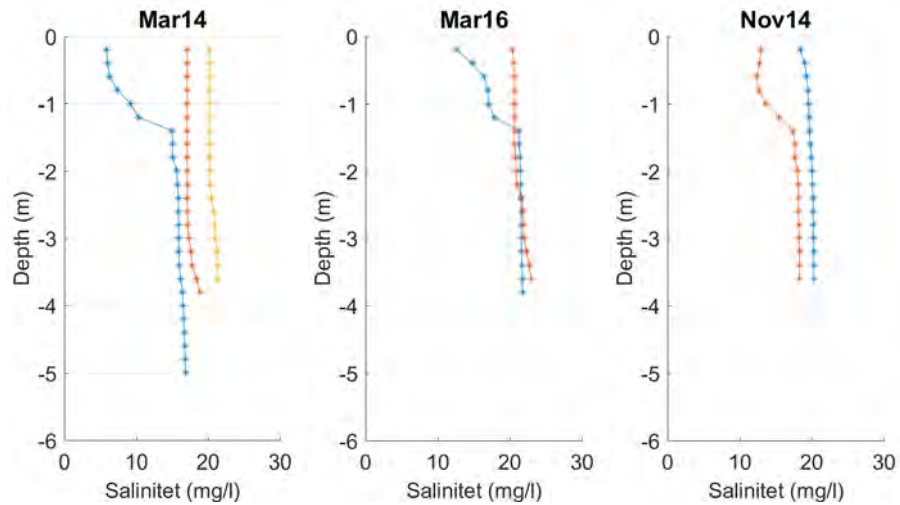


3.1.3 Profildata

Det er undersøgt, om der forekommer lagdeling i Kolding Fjord samt i Lillebælt. Profilmålingerne er taget fra Danmarks Miljøportal [3] målestation St956002 i Kolding Fjord og målestation St9510004 i Lillebælt. Målestationernes placering er vist i Figur 3.2.

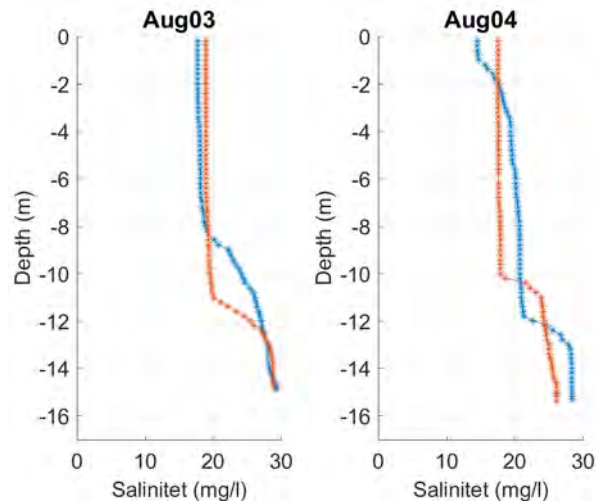
I Kolding Fjord kan der forekomme lagdeling som vist i Figur 3.6. Det er dog kun de øverste 1-1,5 m, hvor der forekommer et lavere saltindhold, skabt af afstrømningen fra land, primært via Kolding Å. Lagdelingen observeres primært i vinterhalvåret, hvor der samtidigt forekommer stort vandskifte, hvorfor lagdelingen hurtigt forventes opløst.

Figur 3.6: Eksempler på lagdeling i Kolding Fjord. De forskellige kurver angiver opmålinger for forskellige dage i den pågældende måned. Profilmålingerne er fra St95260002 [3].



I Lillebælt kan der også opstå lagdeling. Eksempler på lagdelingen ses i Figur 3.7. Der sker lagdelingen i en dybde af 10-12 m i de to eksempler. Lagdeling sker, når tungere vand fra Kattegat skyder sig ind under lettere udstrømmende vand fra Østersøen. I de målte profiler for stationerne anvendt her, findes der kun lagdeling i Lillebælt i sommerperioden, hvor det forventes, at strømhastigheden er lav. Ved kraftig strøm forventes det derfor ikke, at der opstår lagdeling i Lillebælt, da vandsøjlen her nemt opblandes.

Figur 3.7: Eksempler på lagdeling i Lillebælt. De forskellige kurver angiver opmålinger for forskellige dage i den pågældende måned. Profilmålingerne er fra St95100004 [3].

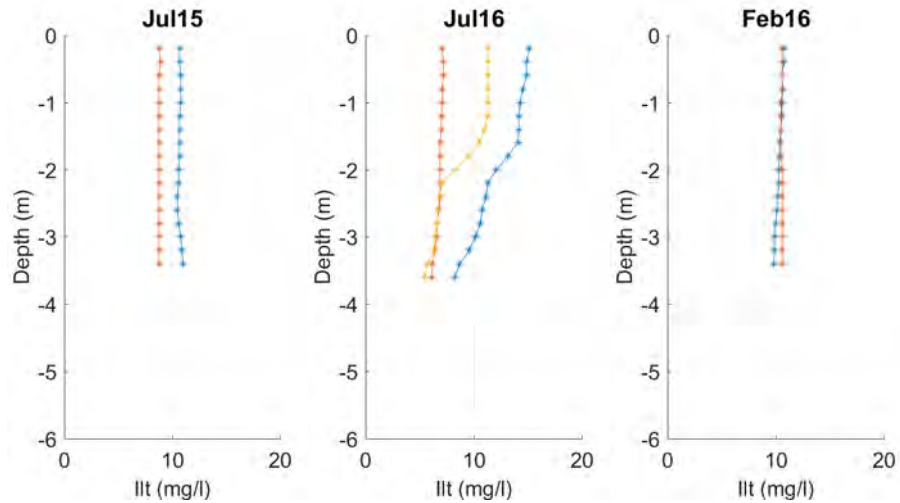


3.1.4 Iltindhold

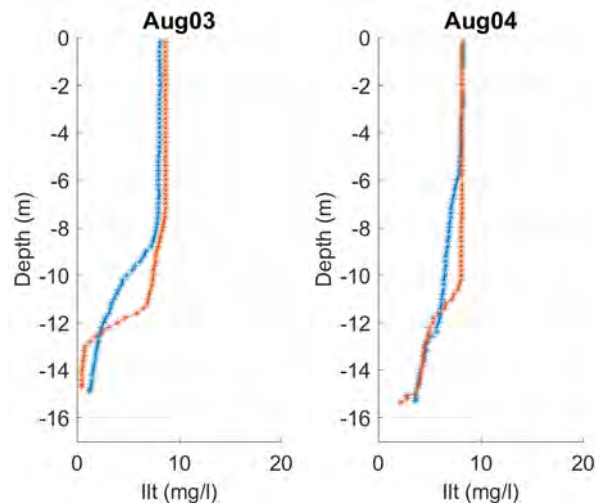
Sedimentet, der skal udgraves i Kolding Fjord, indeholder meget organisk materiale. Det organiske materiale bliver nedbrudt af bakteriel aktivitet i vandsøjlen og på bunden. Da denne proces kræver ilt, er det derfor vigtigt at kende til det naturlige indhold af ilt i vandet for at estimere effekten af det øgede iltforbrug, der opstår ved gravningen og klappingen. Iltindholdet for målestationerne St95260002 og St95100004 [3], i henholdsvis Kolding Fjord og Lillebælt tæt ved klapplassen, ses i Figur 3.8 og Figur 3.9. I Kolding Fjord er iltindholdet omkring 10 mg/l. I juli 2016 ses det dog, at iltindholdet falder ned gennem vandsøjlen til omkring 5 mg/l tæt ved havbunden.

I Lillebælt, Figur 3.9, ses det tydeligt, at der var iltmangel tæt ved havbunden, især i august 2003.

Figur 3.8: Eksempler på iltindholdet i Kolding Fjord. De forskellige kurver angiver opmålinger for forskellige dage i den pågældende måned. Profilmålingerne er fra St95260002 [3].



Figur 3.9: Eksempler på iltindholdet i Lillebælt. De forskellige kurver angiver opmålinger for forskellige dage i den pågældende måned. Profilmålingerne er fra St95100004 [3].



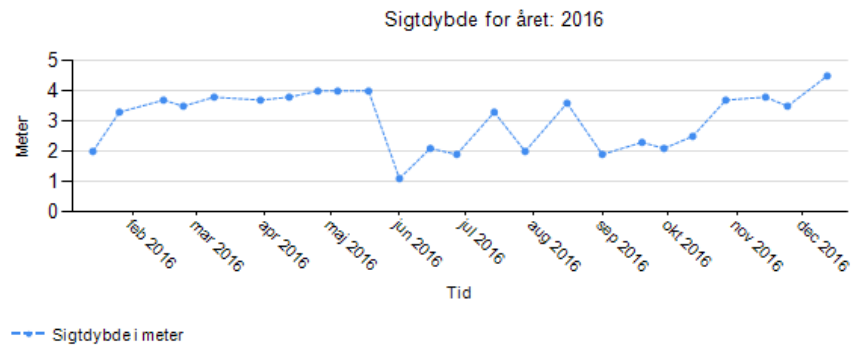
3.1.5 Sigtdybde

Sigtdybden har stor betydning for hvilket liv, der kan være i havet, idet plantelivet på bunden af havet afhænger af den mængde lys, der trænger ned igennem vandsøjlen. Vandplanterne bruger lyset til fotosyntesen, som også har betydning for iltindholdet i vandet. Vandplanterne gror i forskellige dybder alt afhængigt af den naturlige mængde lys på bunden. De er stationære, og derfor kan reducerede lysforhold have store konsekvenser for udbredelsen af visse plantearter (f.eks. ålegræs). Det er derfor vigtigt at undersøge, hvad lysreduktionen bliver som følge af spredning af sediment i forbindelse med udgravning i Kolding Havn og klappning af materialet.

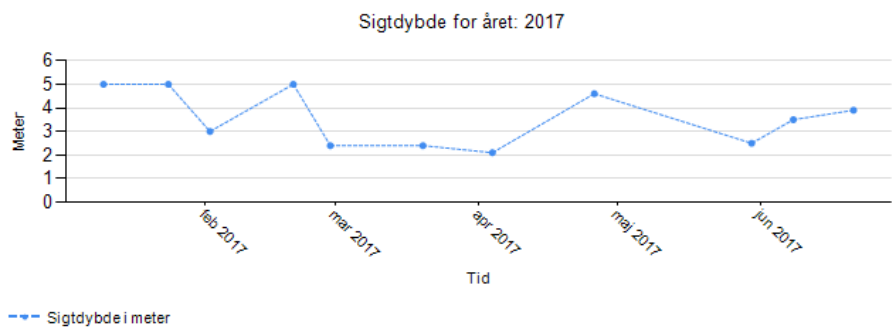
Ved målestationen VEJ0003350 og VEJ0003749 i indre og ydre Kolding Fjord (jævnfør Figur 3.2) er sigtddybden målt i 2016 og første halvdel af 2017 og vist i hhv. Figur 3.10 og Figur 3.11.

Ved målestationen FYN6100016 tæt ved klappladsen (jævnfør Figur 3.2) er sigtddybden målt i marts 2016 og sidste halvår af 2016, gengivet i Figur 3.12. Derudover er der beregnet en gennemsnitlig sigtddybde for sommerperioderne de sidste 30 år, som vist i Figur 3.13.

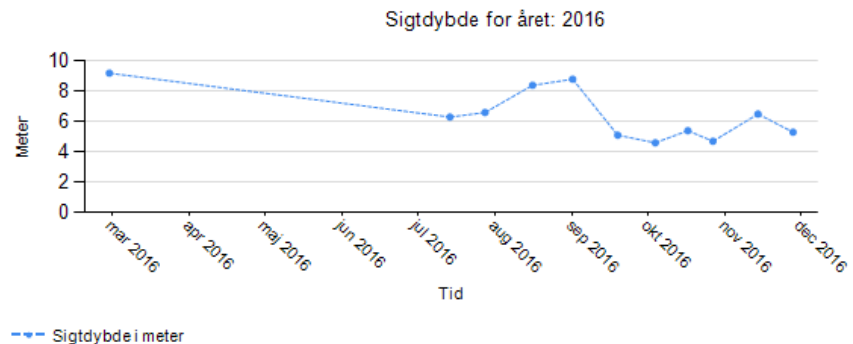
Figur 3.10: Målte sigtddybder fra målestation VEJ0003350 [3].



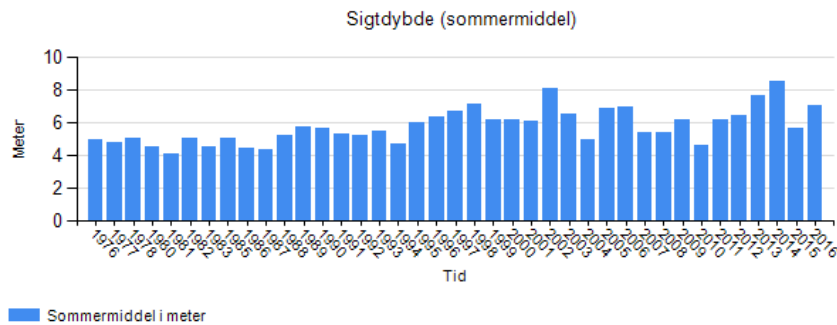
Figur 3.11: Målte sigtddybder fra målestation VEJ0003749 [3].



Figur 3.12: Målte sigtddybder i året 2016 fra målestation FYN6100016 [3].



Figur 3.13:
Gennemsnitlige sigtddyber for sommerperioden gennem de sidste 30 år fra målestation VEJ0003749 [3].



Forskellen i sigtddybe mellem sommer og vinter skyldes, at der er en større algekoncentration om sommeren end om vinteren. Derfor er vandet mere uklart om sommeren og sigtddyben mindre. Jo større sigtddybe jo mindre lysreduktionen.

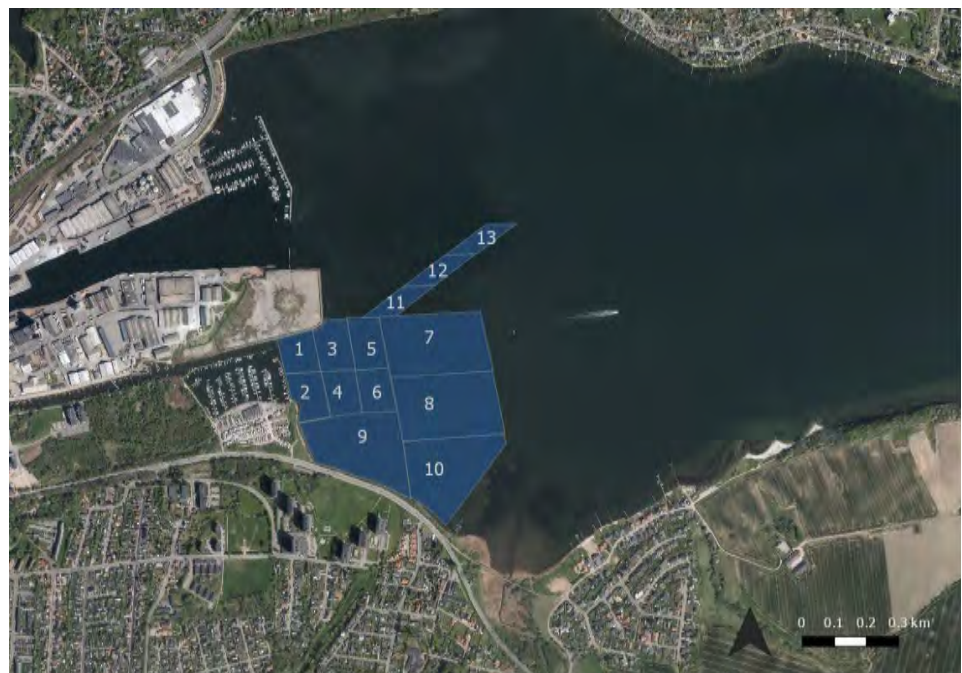
Kritisk lysreduktion for vandplanternes vækst defineres ved, at lyset på havbunden reduceres med 20 % af den oprindelige lysintensitet grundet den ekstra skyggevirksomhed fra det suspenderede materiale ved udgravningen/klapningen.

Jo større sigtddybe, der forekommer naturligt, jo større lysreduktion vil der forekomme ved en forøgelse af sedimentindholdet i vandet.

3.2 Sedimentkarakteristika

Der er gennemført sedimentundersøgelser i området øst for Marina Syd [4]. Prøveområderne er angivet i Figur 3.15.

Figur 3.14:
Prøveområder for sedimentundersøgelser.
Baggrundskort: @COWI
DDO2014.



Felt 1-3 og 5 skal uddybes til havnebassin. Der skal uddybes til kote -3, 5 m.

Felt 4 og 6 skal uddybes til havnebassin. Der skal uddybes til kote -3,0 m.

Felt 7 og 8 skal uddybes til havnebassin. Der skal uddybes til kote -2,5 m.

Felt 9-10 skal nogle steder opfyldes til landområder, og andre steder uddybes til kote -2,5, -3,0 eller -3,5 m.

Felt 11-13 skal uddybes til sejlrende. Havbunden ligger her i kote -2,5 til -3,25 m, og der skal uddybes til -3,5 m.

Uddybning i felt 9-10 til landvinding sker bag spuns, hvorved der ikke sker sedimentspredning.

Der blev udtaget sedimentprøver i hvert felt af de øverste 0-0,3 m af sedimentet, [4]. Hver prøve til analyse bestod af en sammenblanding af 4-5 delprøver/nedstik, som var jævnt fordelt over hvert område. Derudover blev der taget vertikalt blandede sedimentprøver fra 0,5 m under havbund til intakte lag (formentlig omkring 0,7 m under havbund) samt prøver i 1,5 m dybde. I sejlrenden (felt 11-13) blev der påvist postglaciale løse sedimentaflejringer til 0,3 meter under havbunden og herunder gytje. I området øst for Marina Syd blev der i felt 1 og felt 3 konstateret løse sedimentaflejringer til ca. 0,9 m under havbunden. I de resterende felter (felt 2 og felt 4-10) blev der konstateret løse sedimentaflejringer til omkring 0,6-0,7 meter under havbunden. Herunder blev der konstateret gytje.

3.2.1 Miljøfarlige stoffer og BOD

Sedimentprøverne blev analyseret for følgende miljøfarlige stoffer: kviksølv, nikkel, cadmium, kobber, bly, chrom, arsen, zink, PCB, TBT og PAH.

I denne rapport undersøges kun for spredning af TBT. Modelberegningerne er baseret på en TBT koncentration på 0,03 mg/kg tørstof. Denne koncentration svarer til den gennemsnitlige koncentration af TBT i det materiale, som skal klappes. Hvis der beregnes et vægtet gennemsnit, hvor der tages højde for, at de forskellige delområder indeholder forskellige koncentrationer af TBT, så bliver TBT-koncentrationen i klappematerialet cirka 0,02 mg/kg TS. De efterfølgende modelberegninger med spredning af TBT er derfor konservative.

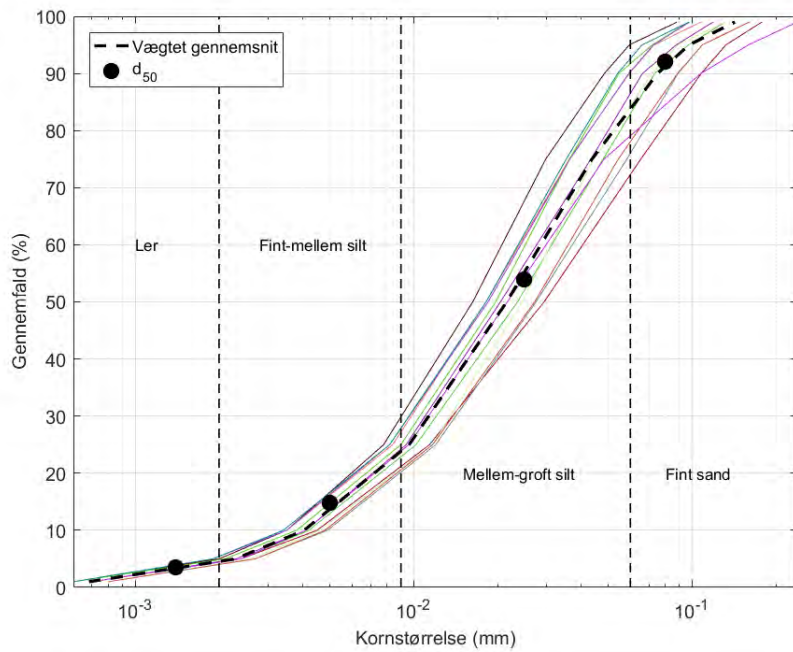
Sedimentprøverne blev yderligere testet for BOD (Biochemical Oxygen Demand), og fundet til 1.142 O₂/kg prøve. BOD er bestemt som sedimentets biokemiske iltforbrug efter 5 dage i mørke ved 20 °C.

3.2.2 Kornkurver

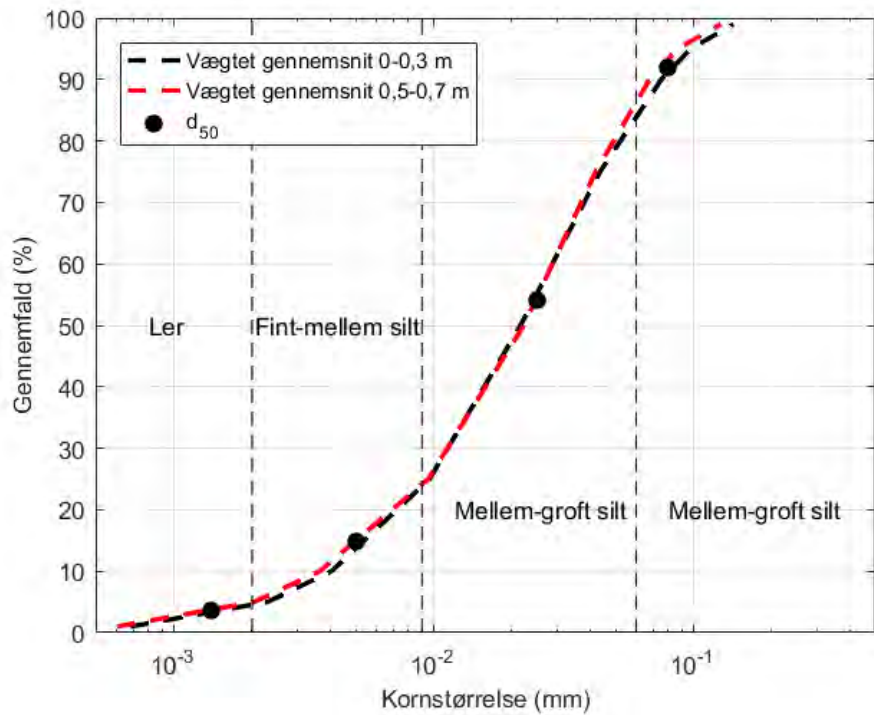
Der er afrapporteret kornkurver i alle 13 felter for det øverste lag 0-0,3 m under havbunden samt i dybden 0,5 m under havbunden for alle felter på nær felt 3. Kornkurverne for det øverste lag (0-0,3 m) er vist i 3.15 sammen med det vægtede gennemsnit baseret på sedimentvolumen fra hvert felt. Inddelingen i fire forskellige sedimentfraktioner, fra Jakobsen et al. [5], ses også i figuren.

I Figur 3.16 sammenlignes det vægtede gennemsnit af kornkurverne i dybden 0-0,3 m under havbunden med det vægtede gennemsnit af kornkurverne i dybden 0,5 m. Det ses, at de to kurver er meget ens.

Figur 3.15: Kornkurver af de 13 felter. Data er fra [4]. Median-kornstørrelse af de fire sedimentfraktioner er vist med sort prik.



Figur 3.16: Vægtede gennemsnit af kornkurver i dybderne 0-0,3 m og 0,5 m. Mediankornstørrelse af de fire sedimentfraktioner er vist med sort prik.



I Tabel 3.2 er andelen af de fire sedimentfraktioner angivet for det vægtede gennemsnit sammen med median-kornstørrelsen af hver fraktion. Denne er også vist med sorte prikker i Figur 3.16.

Tabel 3.2: Andelen af de fire sedimentfraktioner baseret på det vægtede gennemsnit af kornkurverne samt de tilhørende median-kornstørrelser.

	LER	FINT-MELLEM SILT	MELLEM-GROV SILT	FINT SAND
Andel (%)	5	18	60	17
Mediankornstørrelse (mm)	0,0014	0,005	0,025	0,08

I forbindelse med VVM for en jernbaneforbindelse over Vejle Fjord blev der lavet en sedimentanalyse i Vejle Fjord [6]. Kornkurverne i midten af fjorden fra denne analyse er meget lig kornkurverne i Figur 3.15, og sedimentet er begge steder sand og gytje [7]. Rumvægtene anvendt i sedimentspredningsanalyserne fra Vejle Fjord anvendes derfor også i disse beregninger. Den våde rumvægt er 1.224 kg/m³ og den tørre rumvægt 1.874 kg/m³.

3.2.3 Faldhastighed og forskydningspænding

Faldhastigheden for sedimentfraktionerne beregnes ifølge Stokes lov som

$$w_s = \frac{(s-1)gd_{50}^2}{18\nu}, \quad (3)$$

hvor $s=2,65$ er tørstoffets relative densitet i forhold til vandets, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ er tyngdeaccelerationen, d_{50} er mediankornstørrelsen og $\nu=1,307 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ er vandets kinematiske viskositet ved 10°C. Denne temperatur vurderes som en gennemsnitstemperatur i graveperioden.

Den kritiske forskydningspænding, der skal til for at skabe en erosion, beregnes på baggrund af kornstørrelsen som

$$\tau'_b = \frac{U_f'^2}{\rho_w} = \theta'(s-1)gd_{50}\rho_w, \quad (4)$$

hvor $\rho_w = 1.000 \text{ kg/m}^3$ er vandets densitet, U_f' er den kritiske forskydningshastighed og $\theta' = 0,06$ er den kritiske Shield's parameter for Reynoldstal (Re) større end 1.000.

Kornstørrelse, faldhastighed og den kritiske forskydningspænding for sediment og gytjen ses i Tabel 3.3.

Tabel 3.3: Faldhastighed og kritiske forskydningspænding for de fire mediankornstørrelser i Tabel 3.2.

	LER	FINT-MELLEM SILT	MELLEM-GROV SILT	FINT SAND
w_s (mm/s)	0,0015	0,019	0,48	5,0
τ'_b (N/m ²)	0,0014	0,0049	0,024	0,078

Lerfraktionen og fint-mellem siltfraktionen har meget små faldhastigheder og vil derfor falde mindre end en meter gennem vandsøjlen på et døgn. De små partikler

klumper imidlertid sammen til større fraktioner, der falder meget hurtigere gennem vandet, og derfor kan de alligevel nå at blive aflejret. Denne process kaldes flokkulering. Flokkulering inkluderes i beregningen som beskrevet i afsnit 6.1.5.

4 Generel hydrografisk beskrivelse

Kolding Fjord er et lavvandsområde med udmunding i Lillebælt syd for Fredericia. Kolding Fjord strækker sig omtrent 10 km ind i landet fra Lillebælt. Fjorden er karakteriseret ved lave vanddybder (0,5 – 6 m), hvor store områder er under 3 m dybe. Den centrale del af fjorden har en udgravet sejlrende, som strækker sig på store dele af strækningen fra Skærbæk Havn til Kolding Havn. Sejlrenden har dybder varierende fra 10 m til 7 m ind igennem den laveste del af fjorden helt indtil Kolding Havn. I den ydere del af fjorden, syd for Drejens Odde forekommer smalle passager med relativ stor dybde, omkring 9 m, med små områder helt op til 12 – 14 m. Der er begrænset daglig tidevand, men der kan dog opstå særligt høje vandstand stigninger ved kraftig østenvind.

Klappladsen Trelde Næs er beliggende i den nordlige del af Lillebælt i et åbent område, der grænser op til Kattegat. I området, hvor der skal klappes, er vanddybden omkring 15 m. Området omkring klappladsen er et intermediært område mellem det saline vand fra Kattegat og det mere ferske vand fra Østersøen. Der kan til tider opstå lagdeling (specielt i sommermåneder) i området.

Lillebælt adskiller Kolding Fjord og Klappladsen. Lillebælt er et smalt bælt (omkring 600 m over den smalleste del tæt på den gamle Lillebæltsbro) med store vanddybder op til 25-30 m. Lillebælt opnår store strømhastigheder på op til 2 m/s. Dette er grunden til, at det er yderst vigtigt at kalibrere beregningsnettet, så hydrodynamikken bliver ordentlig reproduceret i dette område.

4.1 Valg af periode

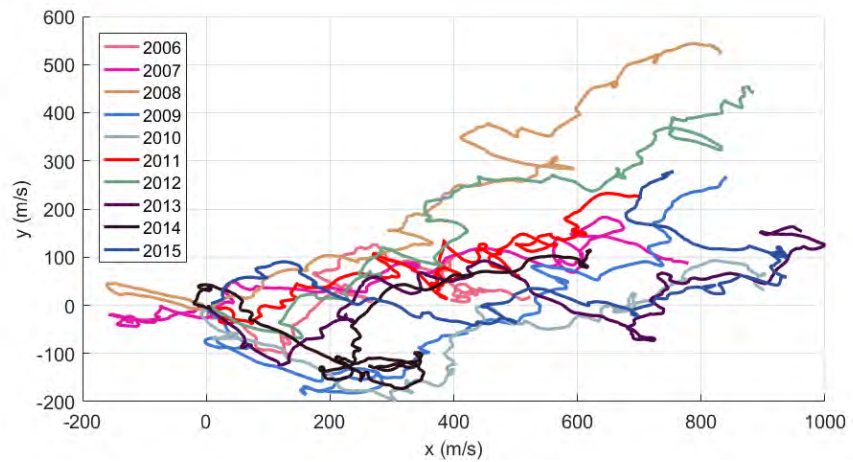
Perioderne er valgt på baggrund af analyserne foretaget i afsnit 3.1 samt viden fra andre analyser i området.

Der betragtes i modelberegningerne to perioder. En sommerperiode med forholdsvis stille vejr og en vinterperiode med kraftig vind i både vestlige og østlige retninger.

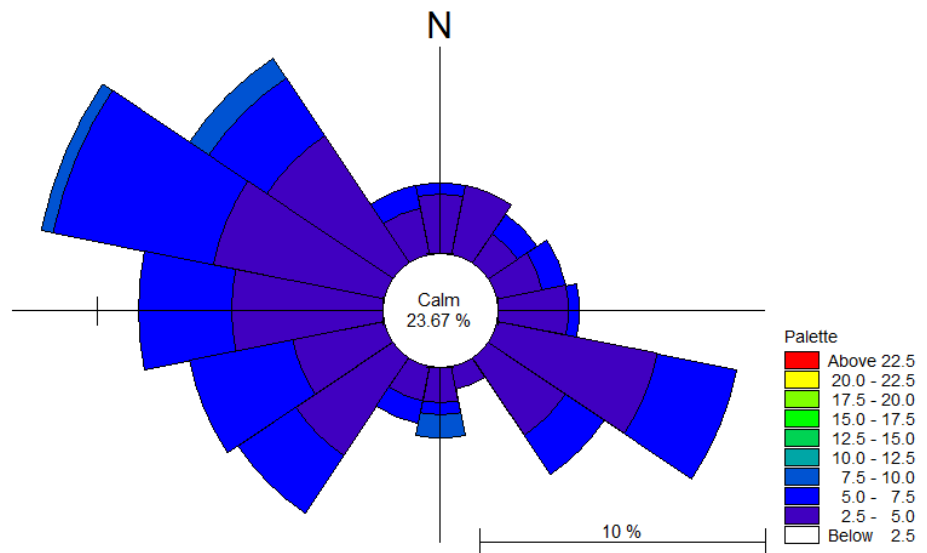
Sommerperioden repræsenterer en stille periode, hvor hovedparten af det spildte sediment forventes at forblive og sedimentere i den indre del af Kolding Fjord. Vinterperioden repræsenterer en periode med større strømhastigheder, hvor sedimentet er i suspension i længere tid og vil blive spredt til større områder.

Sommerperioden er valgt til juni-august 2011. Figur 4.1 viser hastighedstracéer for vindhastighederne i sommermånederne juni-august for årene 2006-2015. Det ses, at tracéen for 2011 er i middelretningen, og at tracéen er lidt kortere end middel, hvilket indikerer, at vindhastigheden i denne periode har været mindre i forhold til de andre år. Betragtes vindrose for juni-august 2011 i Figur 4.2, ses det, at vindhastigheden kun et par gange var større end 10 m/s.

Figur 4.1 Hastighedstracé for vindhastighederne i sommermånederne juni-august for årene 2006-2015.

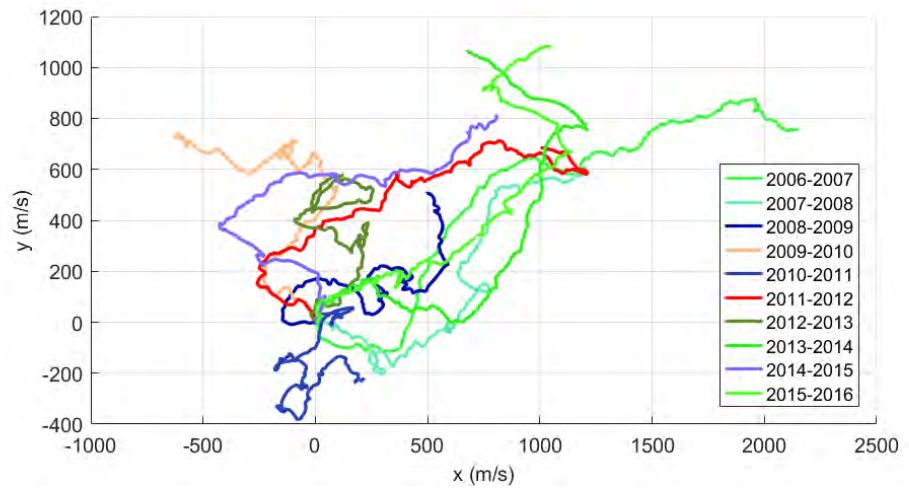


Figur 4.2 Vindrose for perioden juni-august 2011.

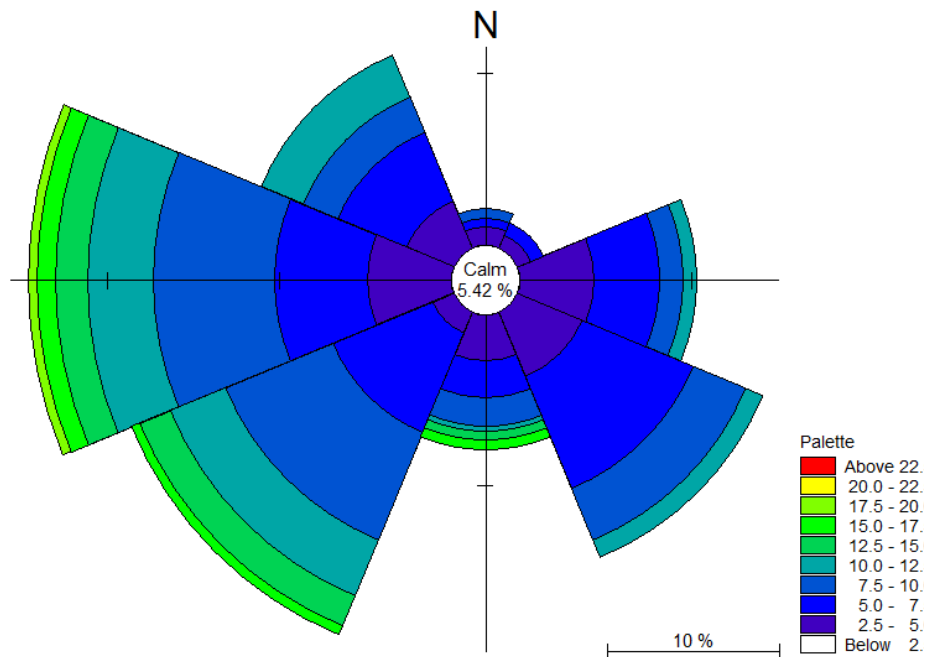


Vinterperioden er valgt til november-december 2011 og januar 2012. Figur 4.3 viser hastighedstracéen for vindhastighederne i vintermånederne november-januar for årene 2006-2015. Det ses, at tracéen for 2011-2012 primært har nordøstlig retning. Samtidig er tracéen ikke den længste, hvilket betyder, at vindhastighederne for denne periode ikke er ekstreme. Betragtes vindrosen for denne periode i Figur 4.4, ses det, at det er en periode med meget vestenvind, men også at alle vindretninger er repræsenteret, hvilket også er gældende for vindrosen dækkene årene 1979-2016 i Figur 3.1.

Figur 4.3 Hastighedstrace for vindhastighederne i vintermånederne november-januar for årene 2006-2015.



Figur 4.4 Vindrose for perioden november 2011-januar 2012.



4.2 Strømforhold

Strømforholdene i Kolding Fjord og ved klapplassen er undersøgt vha. HD-modellen for to valgte perioder. I Kolding Fjord afhænger strømmen af vindforholdene. Perioderne er derfor fastlagt på baggrund i vinddata.

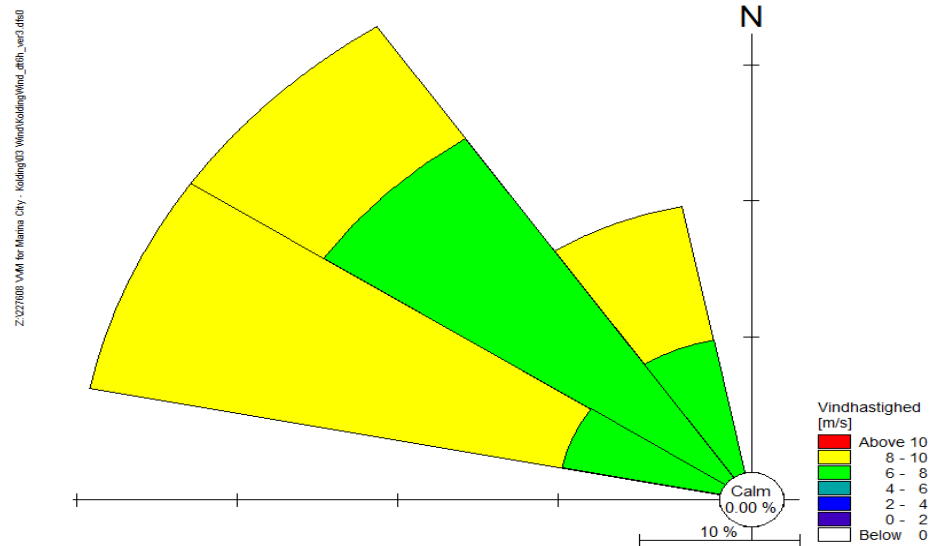
I Lillebælt afhænger strømmen af de regionale vejrforhold. Perioderne er derfor fastlagt af vandstandsvariationer mellem området syd for Lillebælt ved Fåborg og området nord for Lillebælt ved Bogense.

4.2.1 Kolding Fjord

Figur 4.5 og Figur 4.6 viser vindroserne af det midterste døgn i de to periode, henholdsvis d. 02/07/2011 \pm 12 timer og d. 14/07/2011 kl. 06.00 \pm 12 timer. Periode 1 (27/06/2011 – 07-07-2011) er karakteriseret ved frisk til hård

vestenvind og periode 2 (09/07/2011 – 19-07-2011) er karakteriseret ved hård østenvind.

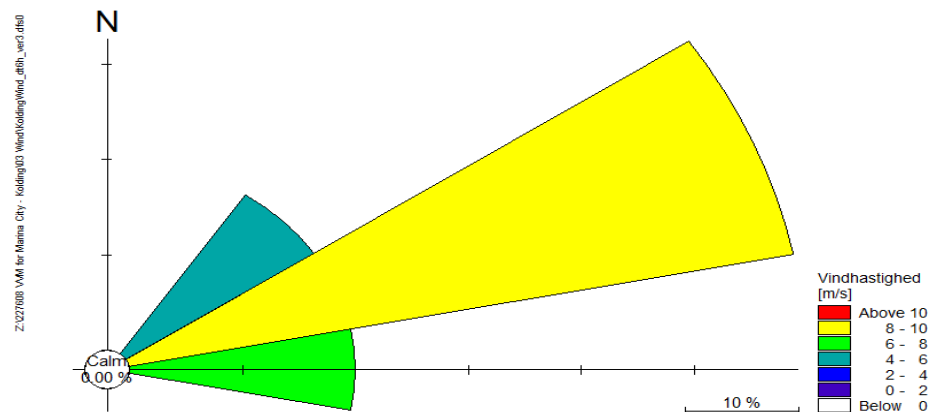
Figur 4.5: Vindrose for periode 1, d. 02/07/2011 ± 12 timer.



Figur 4.7 viser vandstanden og vindhastigheden for de to perioder. Figur 4.8 og Figur 4.9 viser strømretning og strømhastighed omkring klappladsen i midten af de to perioder, henholdsvis d. 02/07/2011 kl. 06.00 og d. 14/07/2011 kl. 06.00.

Ved vestenvind (periode 1) bliver vandet presset ud af Kolding Fjord langs kysterne ud i Lillebælt, og vandstanden i Kolding Fjord falder. Strømhastighederne bevirker en lang sedimenthale fra gravstedet og ud mod Lillebælt langs den sydlige kystrækning.

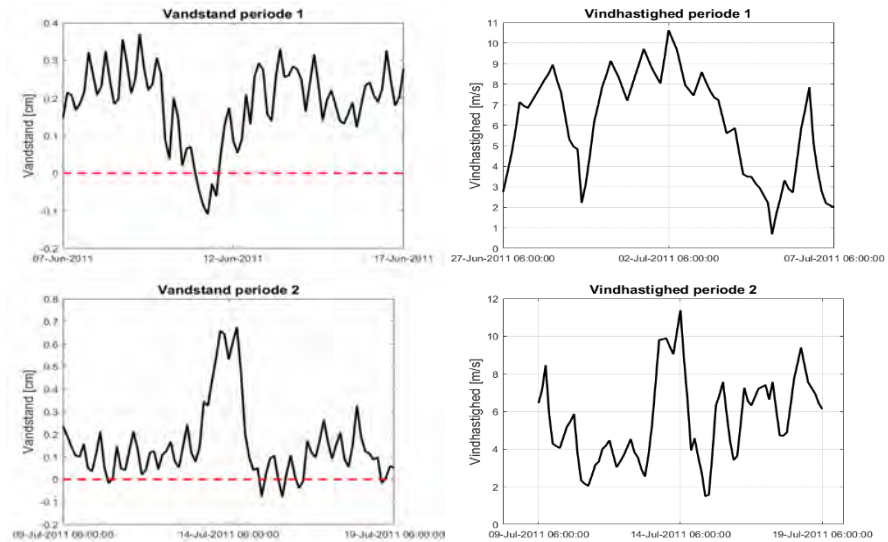
Figur 4.6: Vindrose for periode 2, d. 14/07/2011 kl. 06.00 ± 12 timer.



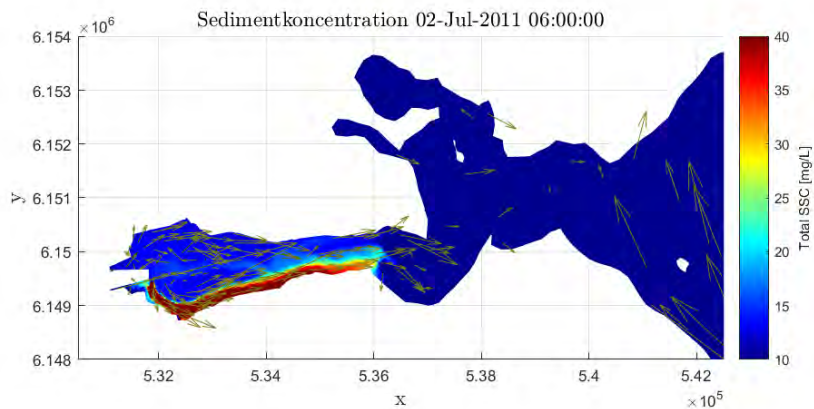
Det lukkede fjordssystem ved Kolding Havn opnår store vandstandspåvirkninger som angivet i Figur 4.7 og Figur 4.8. Ved østenvind (periode 2) presses vand fra Lillebælt ind i Kolding Fjord langs fjordens kyster, og vandstanden stiger voldsomt (mere end 60 cm over middelvandstand). Der dannes endvidere en udadgående kompensationsstrøm af vand i midten af fjorden, som transporterer spildt sediment væk fra gravstedet.

Af Figur 4.7 ses det, at der opnås en langt større vandstandsændring ved østenvinde end ved vestenvinde med omtrent samme styrke (10-12 m/s). Dette skyldes, at ved østenvinde presses vand fra Lillebælt ind i fjorden og hele vejen ned i bunden til Kolding Havn. Her vil der opstå en ophobning af vandet, indtil vinden lægger sig.

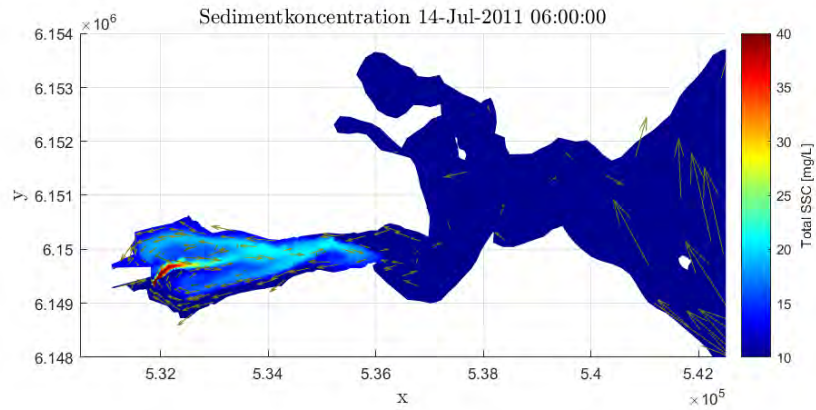
Figur 4.7: Kolding Fjord. Venstre: vandstand for periode 1 og 2. Den røde stiplede linje indikerer middelvandstand. Højre: vindhastighed for de to perioder.



Figur 4.8: Strømhastigheder i Kolding Fjord i midten af periode 1. Pilene angiver retning, mens farveskalaen angiver strømhastighed. Koordinater er i UTM-32.



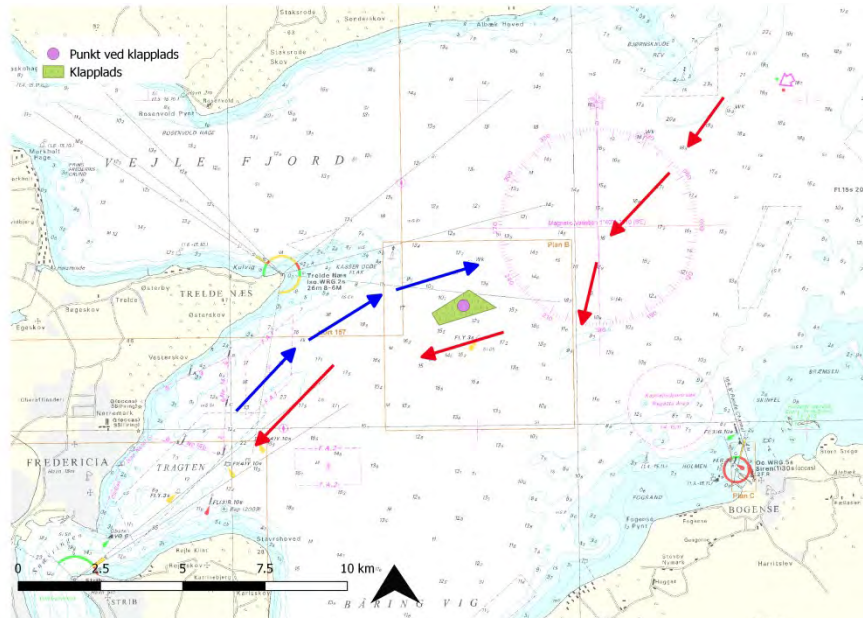
Figur 4.9:
Strømhastigheder i
Kolding Fjord i midten af
periode 2. Pilene angiver
retning, mens
farveskalaen angiver
strømhastighed.
Koordinater er i UTM-32.



4.2.2 Klappladsen

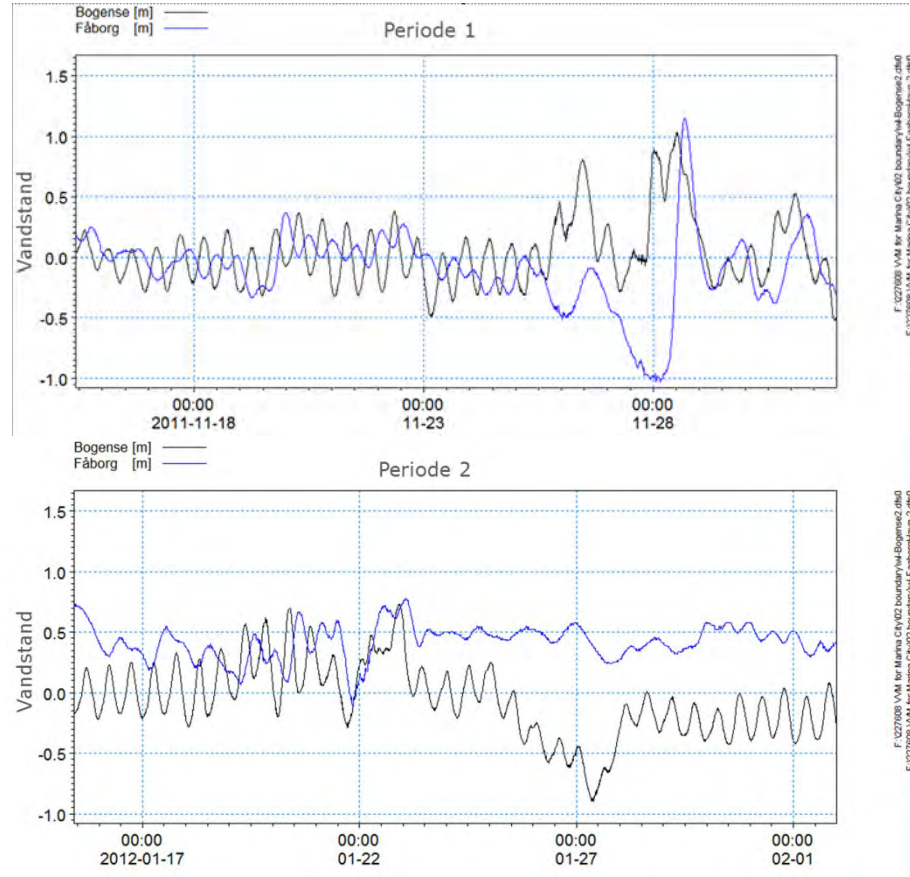
Hovedstrømmen, som løber frem og tilbage gennem Lillebælt styret af de regionale vejforhold, presses uden om Trelde Næs, hvilket påvirker strømforholdene på klappladsen, så denne drejer mod syd og vest ved indstrømning og nord, nordøst ved udstrømning, som angivet i Figur 4.10. Denne generelle strømning frem og tilbage gennem Lillebælt bliver overlejret af den lokalt vindgenererede strøm og er også fundet i modelberegningerne.

Figur 4.10: De generelle
strømforhold ved
klappladsen.

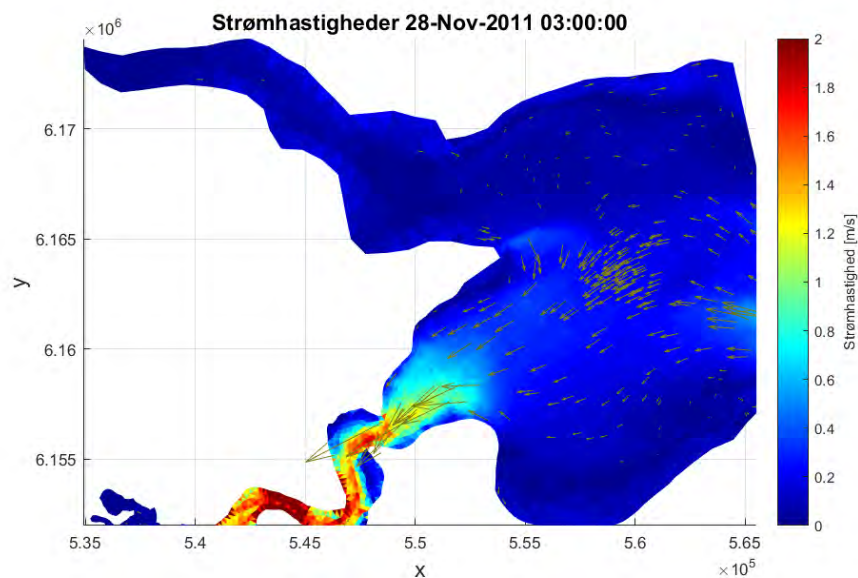


Figur 4.11 viser vandstanden ved Fåborg og Bogense for to perioder. I periode 1, omkring d. 28/11/2011, er vandstanden ved Bogense større end ved Fåborg. Det forventes derfor, at strømmen er i sydlig retning i denne periode. I periode 2, omkring d. 27/1/2012, ses det modsatte. Her forventes det derfor, at strømmen er i nordlig retning. Dette bekræftes i Figur 4.12 og Figur 4.13, som viser strømhastighederne og retning omkring klapplassen til et tidspunkt i de to perioder.

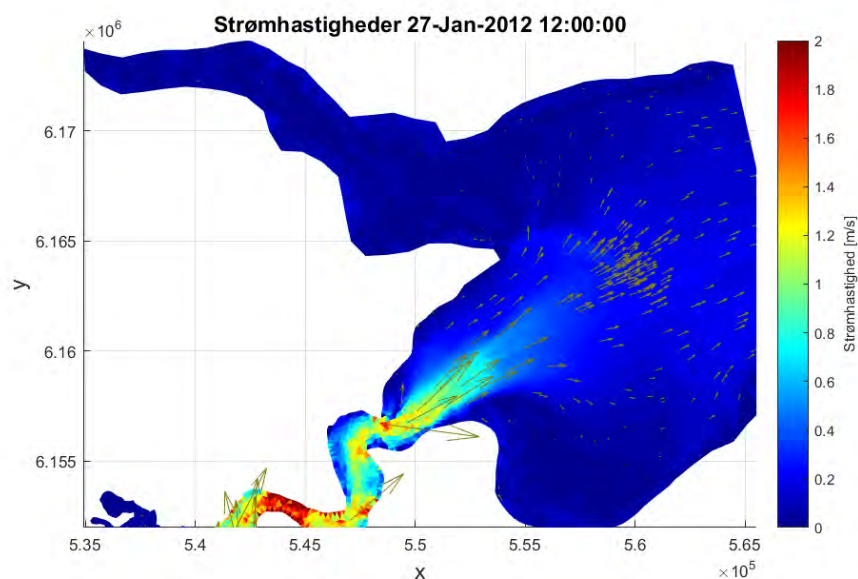
Figur 4.11: Vandstand ved Bogense og Fåborg for periode 1 og 2.



Figur 4.12:
Strømhastigheder
omkring klappladsen i
periode 1. Pilene
indikerer retning på
strømmen. Koordinater
er i UTM-32.



Figur 4.13:
Strømhastigheder
omkring klappladsen i
periode 2. Pilene
indikerer retning på
strømmen. Koordinater
er i UTM-32.



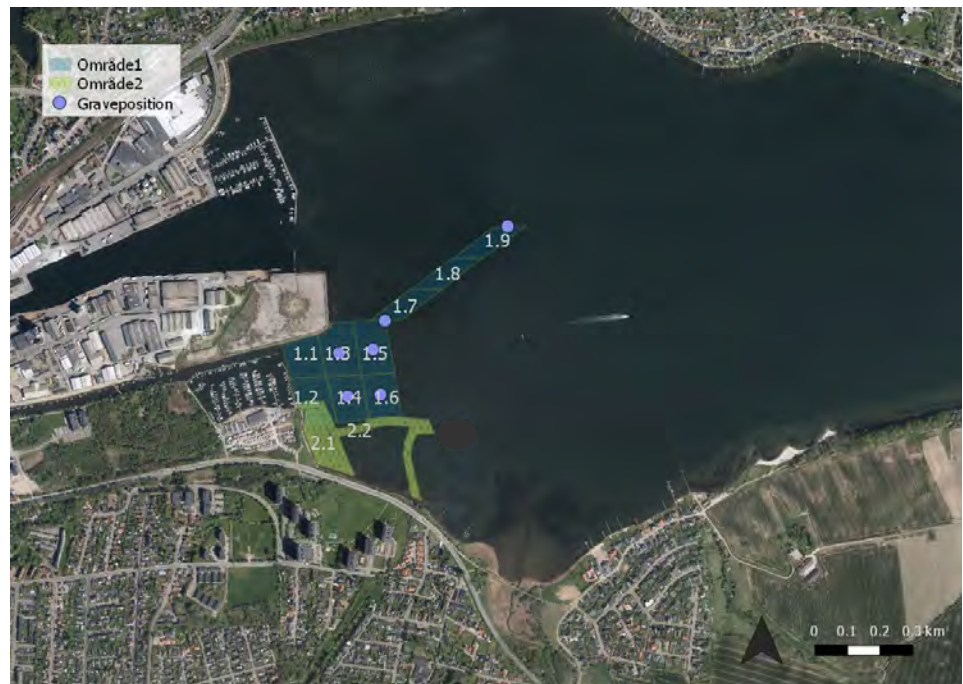
5 Uddybningsarbejdet

Der betragtes to forskellige uddybningsarbejder i område 1 og 2, som er vist på Figur 5.1.

I område 1 skal der uddybes til lystbådehavn og sejlrende ned til kote -3,5 m.

I område 2 skal der ske en landindvinding, hvilket udføres ved bundudskiftning. Havbunden skal derfor opgraves. Før opgravning rammes der spunsvægge i forlængelse af uddybningen af det nye havnebassin.

Figur 5.1 Område 1 og område 2 samt deres inddeling i felter. Gravemaskinens positioner er også angivet i figuren. Baggrundskort: ©COWI DDO2014.



5.1 Gravemængder

Gravemængderne er bestemt i [8]. I område 1 skal der uddybes ca. 175.000 m³ og i område 2 skal der opgraves ca. 190.000 m³. I område 1 er mængden fordelt på 9 felter, som vist i Figur 5.1 og angivet i Tabel 5.1. Område 2 består af tre felter som vist i Figur 5.1 og angivet i Tabel 5.2.

Tabel 5.1 Gravemængden i område 1 fordelt på 9 felter vist i Figur 5.1.

FELT	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9
(m ³)	23480	28640	25130	23010	20870	23480	8820	8820	8820

Tabel 5.2: Grave-
mængden i område 2
fordelt på 3 felter vist i
Figur 5.1.

FELT	2.1	2.2	2.3 ²
(m ³)	93000	88000	9000

5.2 Sedimentspild

I område 1 antages det, at der spildes 5 % af det udgravede materiale under uddybningsarbejdet.

I område 2 foregår udgravningen af felt 2.2 og 2.3 inden for spunsvæggen. Det forventes derfor ikke, at der vil være spild i forbindelse med disse to områder. I felt 1 vil pramme og gravemaskiner sejle ind og ud af området, og det antages derfor, at der spildes 1 % i dette område under udgravningen.

Spildraten udregnes som

$$K_s = \frac{V \cdot \rho \cdot S}{T}, \quad (5)$$

Hvor V er gravemængden, ρ er tørstofdensiteten, S er spildprocenten og T varigheden af gravningen.

5.3 Graveplan

Det antages, at udgravningen foretages af én gravemaskine, der graver 24 timer i døgnet med en kapacitet på 4.000 m³ per døgn. Dette er dobbelt så meget som angivet i helhedsplanen [8], men anvendes for at lave en konservativ beregning med høj koncentration af sediment. Det vil tage ca. 43 dage at uddybe område 1 og ca. 24 dage at opgrave den del af område 2, der ligger uden for spunsen. Område 1 udgraves før område 2.

Fra uddybningsmængderne angivet i Tabel 5.1 og Tabel 5.2 fås gravetider for hvert felt som angivet i Tabel 5.3. I tabellen er gravemaskinens position, som anvendes i modellen, angivet for hvert felt. For sejltrenden (felt 1.7-1.9) flyttes positionen lineært mellem de to angivne koordinater. Gravemaskinens position for felt 1.1 er placeret i felt 1.3, da positionen ellers kom for tæt på grænselinjen i modellen. Det samme gælder for felt 1.2 og 2.1, hvor positionen er flyttet til felt 1.4.

En tilsvarende graveplan findes for den valgte vinterperioden 2011-2012. Her påbegynder arbejdet d. 7/11-2011 og slutter d. 31/1-2012.

Tabel 5.3: Graveplan for
sommerperioden (juni-
august 2011). For hvert
felt er det angivet,
hvornår gravearbejdet
begynder og slutter,
koordinaterne for

OMRÅDE 1				
FELT	Graveperiode	X-KOORDINATE (m)	Y-KOORDINATE (m)	Spildrate (kg/s)
1.7-1.9	15-06-11 00:00:00	532373	6149800	4.3

² Udgået af projektet efter modelleringen, hvorved modelleringen giver et konservativt resultat.

gravemaskinen samt spildraten.

1.7-1.9	21-06-11 14:45:36	532000	6149515	4.3
1.5	21-06-11 14:45:37	531964	6149431	4.3
1.5	29-06-11 07:57:01	531964	6149431	4.3
1.1	29-06-11 07:57:02	531860	6149423	4.3
1.1	05-07-11 04:49:50	531860	6149423	4.3
1.6	05-07-11 04:49:51	531987	6149293	4.3
1.6	12-07-11 09:10:51	531987	6149293	4.3
1.4	12-07-11 09:10:52	531886	6149288	4.3
1.4	18-07-11 15:57:40	531886	6149288	4.3
1.2	18-07-11 15:57:41	531886	6149288	4.3
1.2	22-07-11 05:52:53	531886	6149288	4.3
1.3	22-07-11 05:52:54	531860	6149423	0.87
1.3	03-08-11 00:50:30	531860	6149423	0.87
	OMRÅDE 2			
FELT	Graveperiode	X-KOORDINATE (m)	Y-KOORDINATE (m)	Spild (kg)
2.1	03-08-11 00:50:31	531886	6149288	0.87
2.1	26-08-11 06:50:31	531886	6149288	0.87

Graveplanen er baseret på gravemængder i et tidligere scenarie, hvor felt 3 var antaget at skulle deponeres på land og udgraves med miljøgrab. Senere er sedimentet fra felt 3 dokumenteret klappningsegnet. Resultatet er, at graveperioden bliver kortere, og at der højst sandsynlig vil blive spildt mere sediment fra felt 3 end antaget i modelberegningerne. I graveplanen antages det, at der spildes 0,87 kg/s. Dette er reelt 4,3 kg/s og vil foregå over 6 dage i stedet for 13 dage. I alt spildes der 6 % mere sediment end antaget i sedimentberegningen, samtidig med at graveperioden er 8 % kortere.

Det forventes, at dette vil have betydning for følgende modelresultater:

- Tykkelsen af de sedimenterede lag (Afsnit 7.1.2 og 7.2.2)
- Overskridelse af udvalgte sedimentkoncentrationer (Afsnit 7.1.3 og 7.2.3)

I Tabel 5.4 er det angivet, hvordan modelresultaterne forventes at ændres pga. forøgelsen i spild. En sedimenttykkelse, der i modelresultatet er beregnet til 2 mm, forventes at skulle øges til 2,1 mm. Hvis det i modelberegningen er fundet, at sedimentkoncentrationer på 30 mg/l overskrides 20 dage i et område, skal dette ændres til 21,2 dage.

Tabel 5.4: Eksempel på beregnede sedimentationstykkelse og dage, hvor udvalgte sedimentkoncentrationer overskrides, samt hvad dette forventes at svare til pga. den forøgede spilmængde.

SEDIMENTATION					
Beregnet i model	0,5 mm	1 mm	2 mm	5 mm	10 mm
Pga. forøget spild	0,53 mm	1,06 mm	2,12 mm	5,3 mm	10,6 mm
DAGE MED OVERSKRIDELSE AF UDVALGTE SEDIMENTKONCENTRATIONER					
Beregnet i model	5 dage	15 dage	30 dage	60 dage	90 dage
Pga. forøget spild	5,3 dage	15,9 dage	31,8 dage	63,6 dage	95,4 dage

6 Modellering af sedimentspredning

Til at vurdere spredningen af sedimentet, der spildes ved uddybningen, anvendes en koblet Mike21 FM model med HD (HydroDynamic) og MT (MudTransport) modulerne. Mike 21 FM er en 2-dimensional numerisk model bestående af fleksible beregningsnet (Flexible Mesh, FM). Idet Mike 21 er en 2-dimensional model er alle strømnings- og sedimentresultater dybdemidlede værdier.

HD modulet beregner de dybdemidlede strømninger og vandstande, og MT modulet beregner den dybdemidlede koncentration, aflejringen og erosion af kohæsive og ikke-kohæsive sedimenter på baggrund af strømninger og bølger.

Det antages, at en 2D model er fyldestgørende til at simulere hydrodynamikken og sedimentspredningen i Kolding Fjord og ved klapplassen i Lillebælt. Kolding Fjord er et lavvandsområde, som det meste af tiden er vertikalt opblandet. Her vil der være ringe eller slet ingen lagopdeling af vandet. Ved klapplassen i Lillebælt vil lagdeling opstå i sommermåneder med små strømhastigheder. Her vil det mere saline vand fra Kattegat ligge sig som en tunge ind under det mere ferske vand fra Østersøen. Når strømmen tager til enten fra syd eller fra nord, vil den normalt hurtigt opløse lagdelingen.

De mest følsomme marine naturområder ligger mindst 7 km væk fra klapplassen. For at bringe sedimentet hertil skal der være en del strøm på klapplassen. I sådanne strømsituationer forventes strømmen at være jævnt fordelt over dybden. Derfor er det acceptabelt at benytte en 2D dybde integreret model til simulering af spildet under klappingen.

Domænet, anvendt i beregningerne, er vist i Figur 6.1 og dækker hele Lillebælt fra Assens i syd til Fredericia i Nord, samt hele Kolding Fjord.

6.1 Opsætning af numerisk model

Efter gravningen ved Kolding Havn sejles det opgravede sediment op igennem Lillebælt for at blive klappet på Trelde Næs Klapplass nordøst for Fredericia indenfor et areal på omkring 1 km². Model-setup'et fokuserer dels på gravstedet ved Kolding Havn og dels på klapplassen. Simulering af hydrodynamikken i Kolding Fjord og ved klapplassen er foretaget for to repræsentative 4,5 måneders perioder; en sommerperiode (1/06/11-15/10/11) og en vinterperiode (1/11/11-15/03/12).

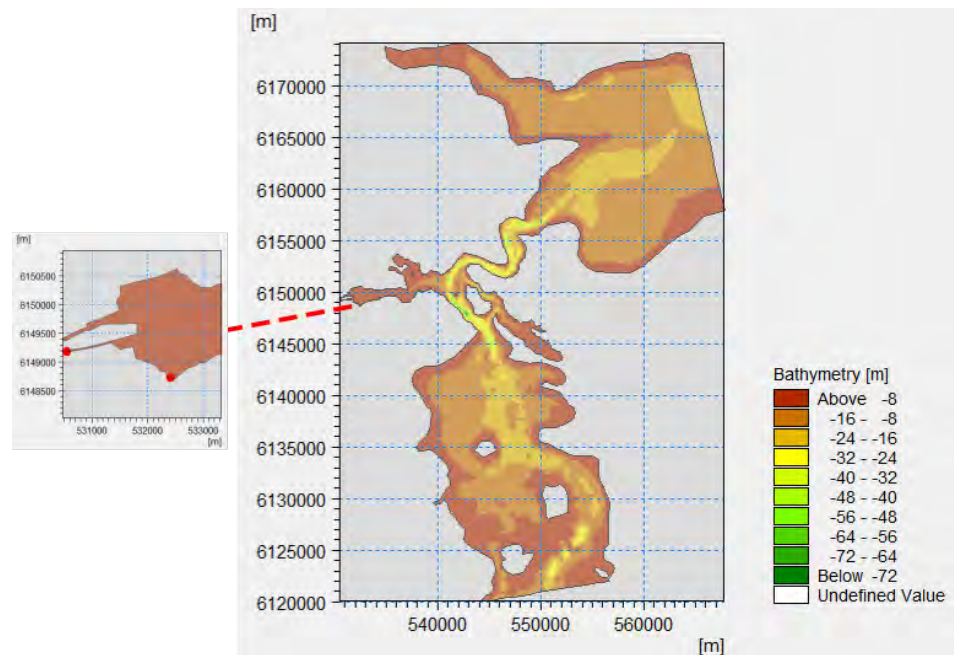
6.1.1.1 Kolding Havn

Kolding havn er lokaliseret i bunden af Kolding Fjord. Området omkring gravstedet er karakteriseret ved et fladvandsområde med vanddybder på 1-4 m, hvor en 3 m bred gravet sejlgrende på 7 m går igennem den inderste del af fjorden fra Drejens Odde til havnen [9]. Kolding Å og Rebæk Å har deres udspring i Kolding Fjord i området omkring gravstedet, derfor er disse å-løb, sammen med deres respektive vandføring (m^3/s) inkluderet i modellen, som fremgår af Figur 6.1. Den numeriske model skal køre noget tid, før strømhastighederne er fuldt udviklede. I disse beregninger er der inkluderet en "opvarmningsperiode" på i alt 15 dage, dernæst kommer en 2 måneders opgravningsperiode efterfulgt af en 2 måneders periode, hvor spredningen af det opgravede sediment simuleres.

6.1.1.2 Klappladsen

Klappladsen er beliggende cirka 5,5 km øst for Trelde Næs, syd for udmundningen til Vejle Fjord, som angivet i Figur 3.2. Klappladsens samlede areal udgør ca. 1 km². Vanddybden er ifølge søkort omkring 15 m. I simuleringsperioden er inkluderet en "opvarmningsperiode" på i alt 7 dage, dernæst kommer en 3 måneders klappningsperiode efterfulgt af en 5 ugers periode, hvor der ikke tilføres mere sediment til vandet, og hvor det klappede sediment simuleres. 5 uger er tilstrækkeligt til at få spredt sedimentet til meget små mængder under 10 mg/l, som er baggrundskoncentrationen i Lillebælt.

Figur 6.1: Bathymetri i model-domæne samt et udsnit af den vestlige del af Kolding Fjord. Røde prikker indikerer henholdsvis Kolding og Rebæk å-løb.



6.1.2 Bathymetri

Bathymetrien for model-domænet er en kombination mellem Farvandets dybdemodeller [10] og digitaliseret dybdekoterer fra søkort 158 dækkende hele Kolding Fjord og søkort 114 dækkende den nordlige del af Lillebælt [1]. Dybder i mellem dybdekoterer er fundet ved interpolation mellem dybde-datapunkter. Ydermere er der tilføjet to ekstra dybdekoterer linjer (1 m og 0.5 m) tæt på land i Kolding modellen, idet der opstod problemer med udtørring af området tæt på

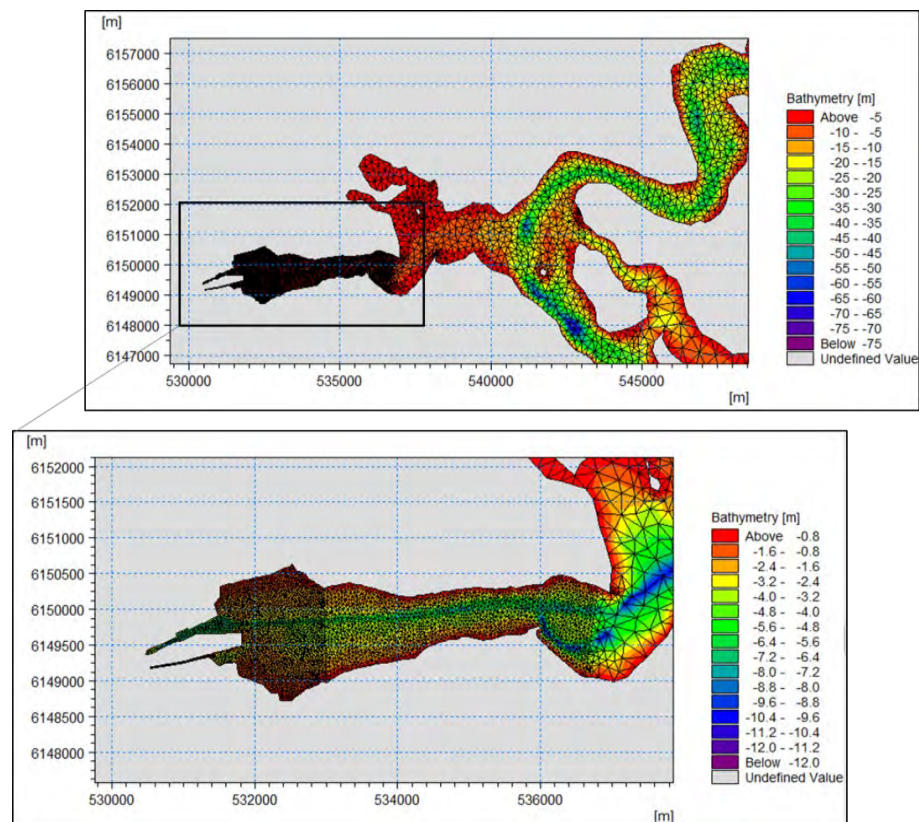
gravestedet. Disse dybdekonturlinjer er placeret ud fra Danmarks Digitale Ortofoto 2014 (DDO 2014), da søkort 158 ikke dækkede dybdekonturer under 2 m.

6.1.3 Beregningsnet

Beregningsnettet dækker hele Lillebælt fra Assens i syd til Fredericia i nord samt hele Kolding Fjord. Der er bygget to forskellige beregningsnet. Et der er forfinet omkring Kolding Havn og et, der er forfinet omkring klapplassen som vist i henholdsvis Figur 6.2 og Figur 6.3. På denne måde opnås to beregningsnet, der er ikke er alt for beregningstunge. Den forudgående antagelse for dette er, at hydrodynamikken ved Kolding Havn ikke influerer videre på hydrodynamikken ved klapplassen og omvendt. Begge beregningsnet har et maksimal celleareal indstillet til 1.040 m² (niveau 1) og 500.000 m² (niveau 5) i det groveste net længst væk fra gravepladsen/klapplassen.

Cellestørrelsen af nettet bliver gradvist større væk fra gravestedet/klapplassen. Niveau 1 er efterfulgt af niveau 2, som har dobbelt så store celler. I den smalle del af Lillebælt fra Fredericia til og med Middelfart, hvor der opnås store strømhastigheder, er begge beregningsnet indstillet til et niveau 3 med et maksimal celle-areal på 40.000 m², som har vist sig at være en fyldestgørende cellestørrelse for at reflektere fysikken.

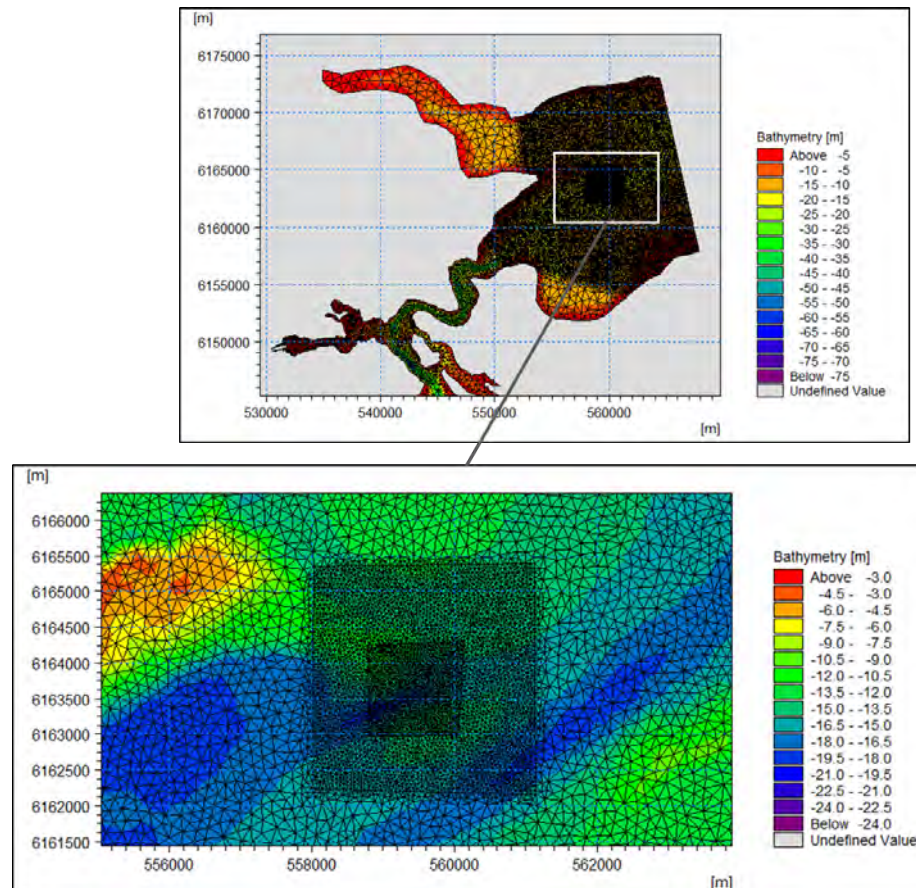
Figur 6.2: Beregningsnet omkring i Kolding Havn.



I den sydlige del af Lillebælt længst væk fra gravepladsen/klapplassen er nettet indstillet til niveau 5. I klapmodellen er der yderligere tilføjet et ekstra cellestørrelsesniveau (med et maksimal areal på 20.000 m²) imellem niveau 2 og

3. Dette celledørrelsesniveau strækker sig hele vejen omkring klapplassen helt ud til den nordlige rand af modellen og sydpå til den smalle del af Lillebælt, hvor der er store strømhastigheder. Dette er gjort for at opløse en potentiel sediment transport i sydøstlig retning fra klapplassen mod Æbelø og havet syd for Nærå, som er et Natura-2000 område og for at modstå en potentielt forøget sediment transport ned i gennem Lillebælt grundet en stor forskel i celledørrelser.

Figur 6.3: Beregningsnet omkring klapplassen.



6.1.4 Hydrodynamisk modul

I det næste gennemgås inputs til det hydrodynamiske modul.

- Solution Technique

Til beregning af fladvandsligningerne anvendes en højere-ordens løser i både tid og sted. Løseren bruger et justerbart tidskridt bestemt af et kritisk Courant nummer på 0,4. Det minimal og maksimal tilladte tidskridt er hhv. 0,01 s og 300 s.

Til transportligningerne anvendes ligeledes et justerbart tidskridt bestemt af det samme Courant nummer som for fladvandsligningerne. Det samme minimale og maksimale tidskridt er sat til samme værdier som for fladvandsligningerne.

- Depth

Vandybder antages konstante gennem modelleringsperioden, så der anvendes ikke dybdekorrektioner.

- Flood and Dry

Følgende 3 standardværdier anvendes:

- Drying depth: 0,005 m
- Flooding depth: 0,05 m
- Weeting depth: 0,1 m

- Density

Temperaturen og saltindholdet i vandet antages konstant i modelleringsområdet, hvorved *Barotropic density* type anvendes.

- Eddy Viscosity

Der anvendes *Samgorinsky formulation* med en konstant parameter på 0,28 i hele modelleringsområdet.

- Bed Resistance

Bundforskydningen beregnes ved et konstant *Manning number* på $32 \frac{m^{1/3}}{s}$.

- Coriolis Forcing

Corioliseffekten medtages i modellen og varierer i modelleringsdomænet.

- Wind Forcing

Vindretning og vindstyrke er givet som input i form af en tidserie (1979-2016).

- Ice Coverage

Der medtages ikke isdække.

- Tidal Potential

Tidevandspotentialet medtages ikke i modellen.

- Precipitation – Evaporation

Hverken effekter af nedbør eller fordampning inkluderes i modellen.

- Infiltration

Infiltration inkluderes ikke i modellen.

- Wave Radiation

Effekten af bølger medregnes ikke i modellen.

- Sources

Der anvendes punktkilder for Kolding å og Rebæk å. Vandføringen for Rebæk å er vurderet på baggrund af den kendte vandføringen af Kolding å. Oplandet for begge åer er brugt til at beregne en skaleringsfaktor, der bruges til at estimere vandføringen for Rebæk å. En konstant vandføring for Kolding å er angivet til (2,38 m³/s) for sommermånedene og (5,83 m³/s) for vintermånedene i modelkørslerne. Tilsvarende er en konstant vandføring for Rebæk å angivet til (0,21 m³/s) for sommermånedene og (0,52 m³/s) for vintermånedene i modelkørslerne. Begge å-løb er angivet som en simple source. Placeringen af begge å-løb kan ses fra Figur 6.1.

- Structures

Konstruktioner medtages i modellen ved at ekskludere områder i beregningsnettet. Der anvendes ikke yderligere effekter af konstruktioner.

- Initial Conditions

Da de første 14 dage i sommer-modelleringsperioden og første 7 dage i vinter-modelleringsperioden ikke anvendes, angives der ingen begyndelsesbetingelser.

- Boundary Coonditions

Vandstandsdata (leveret af DMI) for Bogense er brugt som grænsebetingelse for den nordlige rand og vandstandsdata for Faaborg er brugt for den sydlige. Modeldomænet fremgår af Figur 6.1. Langs randen mod land tillades kun tangentielle strømninger i begge modeller (Coriolis, wind and pressure correction is not included).

6.1.5 Muddertransportmodul

I det næste gennemgås inputs til det hydrodynamiske modul.

- Parameter Selection

Der anvendes 1 sedimentlag og 4 sedimentfraktioner. Fordelingen af sedimentfraktioner er angivet i Tabel 3.2.

- Solution technique

Der anvendes højere-ordens løsningsteknikker i tidintegrationen og den spatiale integration.

- Water Column Parameters

- Sand Fractions

Mellemgrovt silt og finsand-fraktionen medtages som en sandfraktion, hvor flokkuleringseffekter ikke inkluderes.

- Settling
Effekten af flokkulering er medtaget for ler og fint-mellem silt-fraktionerne ved suspenderet sedimentkoncentrationer større end $0,01 \text{ kg/m}^3$.
Effekten af hindret faldhastigheder (faldende faldhastigheder ved høje sedimentkoncentrationer) medtages ikke.
Densiteten af sedimentet er sat til 2.650 kg/m^3 .
De i Tabel 3.3 givet faldhastigheder er anvendt.
- Deposition
Som koncentrationsprofil anvendes Teeter profiler.
Den kritiske forskydningspænding er som angivet i Tabel 3.3. Derved vil sedimentet deponere på havbunden, hvis forskydningspændingen kommer under denne værdi.
- Bed parameters
 - Erosion
Der anvendes Soft mud metoden med en potens på 8,3 til beskrivelse af sediment erosionen. Erosionskoefficienten er sat til 5×10^{-5} og den kritiske forskydningspænding til $0,1 \text{ N/m}^2$.
 - Density of Bed Layer
Densiteten af det sedimenterede materiale antages at være 1800 kg/m^3 .
 - Bed roughness
Der anvendes en værdi på $0,0001 \text{ m}$.
- Morphology
Effekter af morfologiske ændringer grundet erosion, sedimentering og udgravning medtages ikke i modellen. Effekten af udgravningen antages dermed ikke at have nævneværdi betydning for de hydrodynamiske forhold.
- Forcings
Påvirkninger fra bølger medtages ikke i modellen.
- Dredging
Den i Tabel 5.3 angivne graveplan er benyttet i modellen. Placering af gravefelter kan ses fra Figur 5.1. Spilrate og fraktionsfordeling er som angivet i Tabel 3.2.
- Dispersion
Den horisontale dispersion er for begge fraktioner beregnet med *Scaled eddy viscosity formulation* med en konstant på 1 i hele beregningsområdet.
- Sources
Der er ikke anvendt kilder i MT modulet.
- Initial Conditions

- Fraction Concentration
Begyndelseskoncentrationen er 0 kg/m^3 i hele beregningsområdet for alle fraktioner.
- Layer Thickness
Idet kun spredningen af det spildte sediment i forbindelse med gravearbejdet er interessant, er den initiale tykkelse af sedimentlaget på bunden sat til 0 m. Derved medtages baggrundsspredningen (spredningen af det sediment der i forvejen ligger på havbunden) ikke i modellen.
- Fraction Distribution
Idet erosion af den eksisterende havbund ikke medtages i modellen, er fraktionsfordelingen på havbunden ej heller relevant.
- Boundary Conditions
På begge modelrande er sedimentkoncentrationen sat til 0 kg/m^3 for alle 4 sedimentfraktioner.

6.2 Beregning af lysdæmpning

Når lys bevæger sig igennem et medie, vil lysintensiteten aftage eksponentielt med den strækning lyset har bevæget sig. I vand vil lysintensiteten til en dybde z , være givet ved I_z ,

$$I_z = I_0 e^{-z K_d}, \quad (6)$$

hvor I_0 er lysintensiteten fra solen ved vandoverfladen og K_d er dæmpningskoefficienten i vandet.

Devlin et al. 2008 [11] viser en klar lineær sammenhæng mellem dæmpningskoefficienten og koncentrationen af suspenderet materiale i vandsøjlen givet som

$$K_d = K_{d0} + k C_s \quad (7)$$

hvor C_s er koncentrationen af suspenderet materiale i vandet, K_{d0} er den ambiente dæmpningskoefficient og k er en specifik sediment-lyssvækkelseskonstant. Det antages, at de fire forskellige fraktioner, samt det klappede materiale består af, har samme k -værdi, $k = 0.06729 \text{ m}^2/\text{g}$.

Ifølge Delvin et al. 2008 [11] kan en empirisk omregningskoefficient på 1,4 bruges til at omregne fra sigtbarhed, D , til dæmpningskoefficienten K_d

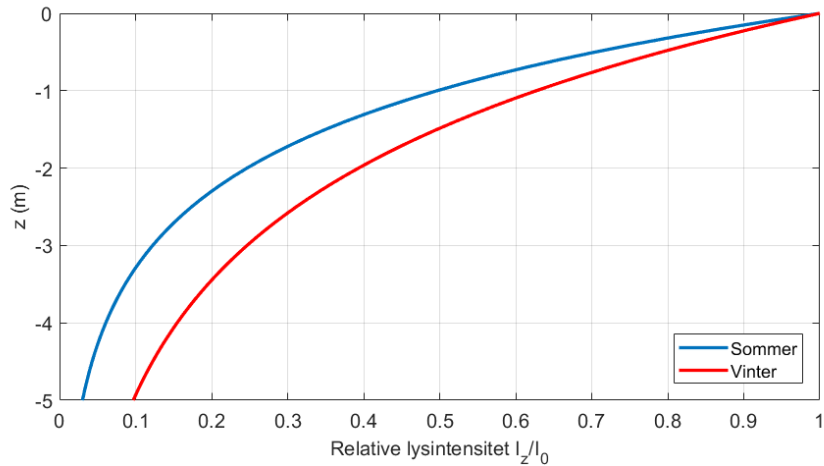
$$K_d = \frac{1.4}{D}. \quad (8)$$

Jo større sigtbarhed, jo mindre bliver værdien af K_d . Som vist i afsnit 3.1.5 ovenfor er sigtdybden større om vinteren end om sommeren. Lyssvækkelsen er derfor større om sommeren som vist i Figur 6.4, hvor lyssvækkelsen som funktion af dybden er vist for to sigtdybder, henholdsvis

$$D_{\text{sommer}} = 3 \text{ m},$$

$$D_{vinter} = 4 \text{ m}.$$

Figur 6.4: Relativ lysdæmpning i Kolding Fjord.



Forholdet mellem den relative lysdæmpning med tilført sediment (RLA_{CS}) og den relative lysdæmpning af det naturlige vand (RLA_0) kan beregnes som

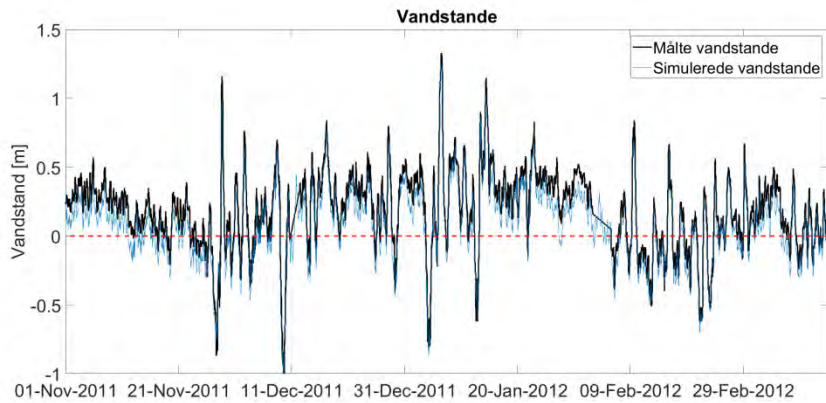
$$\frac{RLA_{CS}}{RLA_0} = \frac{(I_z/I_0)_{CS}}{(I_z/I_0)_0} = \frac{e^{-z(K_{d0}+kC_s)}}{e^{-z(K_{d0})}} = e^{-zkC_s}. \quad (9)$$

Dette forhold angiver, hvor stor forskellen er mellem de naturlige lysforhold og de lysforhold, der opstår ved tilføring af sediment ved gravning eller klapping. Det fremgår af formel (7) herover, at forskellen kun er bestemt af koncentrationen af det påførte sediment i vandsøjlen. Det skal tilføjes, at sæsonvariationen ikke er uden betydning. Om sommeren, hvor vandet er mindre klart, vil lysintensiteten på bunden være generelt mindre end om vinteren, hvor vandet er mere klart. Kritisk lysreduktion defineres ved, at lyset på havbunden reduceres med 20 % af den oprindelige lysintensitet grundet den ekstra skyggeeffekt fra det suspenderede materiale ved udgravningen eller klappingen. Det er klart, at en 20% ændring om sommeren kan have større konsekvenser end om vinteren, idet der før gravningen eller klappingen er mindre lys på bunden om sommeren.

6.3 Validering af model

Simuleringsdata af vandstand for Kolding, Fredericia, Vejle og Assens er sammenholdt med målte vandstande fra DMI. Simulerede vandstande er plottet som en tidsserie for hele simuleringsperioden samt en udvalgt periode for at validere om modellen er i stand til at reproducere hydrodynamikken detaljeret ved Kolding havn. Model valideringsresultaterne fremgår af Figur 6.5 til Figur 6.8.

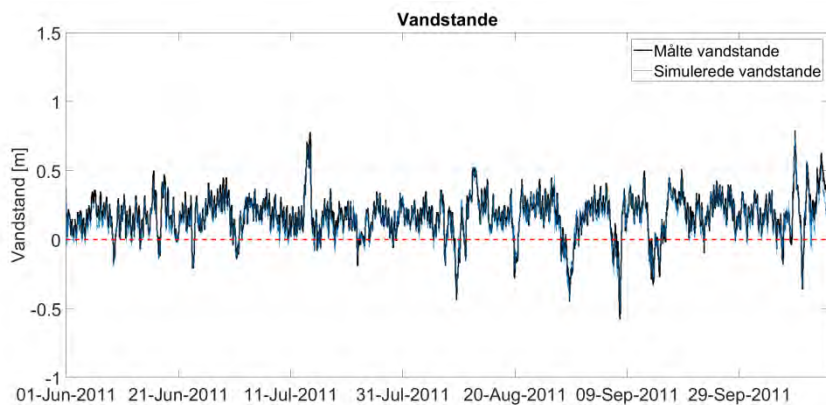
Figur 6.5: Tidsserie af vandstandsdata for Kolding havn i perioden (11/1 2011 – 03/15 2012). Den lyseblå linje er simuleret vandstand og den sorte er den målte vandstand.



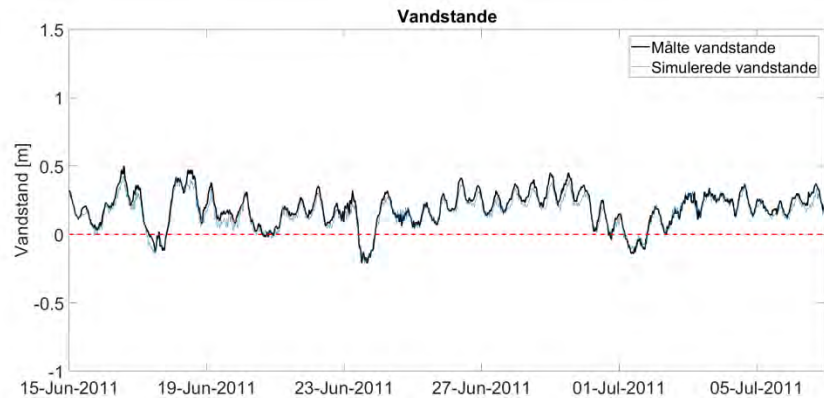
Figur 6.6: Tidsserie af vandstandsdata for Kolding havn i perioden (12/20 2011 – 01/20 2012). Den lyseblå linje er simuleret vandstand og den sorte er den målte vandstand.



Figur 6.7: Tidsserie af vandstandsdata for Kolding havn i perioden (06/1 2011 – 10/15 2011). Den lyseblå linje er simuleret vandstand og den sorte er den målte vandstand.



Figur 6.8: Tidsserie af vandstandsdata for Kolding havn i perioden (06/15 2011 – 07/15 2011). Den lyseblå linje er simuleret vandstand og den sorte er den målte vandstand.



Følgende statistiske beregninger er blevet udført for at belyse kvaliteten af model data (MOD) i forhold til observeret målinger (OBS). Først er middelværdier af MOD og OBS udregnet (MEAN_MOD og MEAN_OBS) for både sommer og vinter måneder. BIAS, som er et udtryk for den gennemsnitlige afvigelse mellem MOD og OBS, er udregnet på følgende måde

$$BIAS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MOD - OBS). \quad (10)$$

Ydermere er den kvadrerede differenssum RMSE udregnet på følgende måde

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MOD - OBS)^2} \quad (11)$$

Endelig er Correction Coefficient CC udregnet for at undersøge, hvor godt MOD korrelerer med OBS, hvor 0 er ingen korrelation og 1 er total korrelation. CC er udregnet på følgende måde

$$CC = \frac{\sum_{i=1}^N (OBS - MEAN_OBS)(MOD - MEAN_MOD)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (OBS - MEAN_OBS)^2 \sum_{i=1}^N (MOD - MEAN_MOD)^2}}, \quad CC \in [0:1] \quad (12)$$

Tabel 6.1 angiver statistiske beregninger for sommermåneder. Det ses, at der ved Kolding Havn er et offset på ca. 2 cm i den korte periode af sommermåneder.

Tabel 6.1: Statistiske beregninger af vandstandsdata for Kolding Havn i perioden (06/1 2011 – 10/15 2011).

STATION	MEAN_MOD	MEAN_OBS	BIAS	RMSE
Kolding	0.15 m	0.17	-0.023	0.046

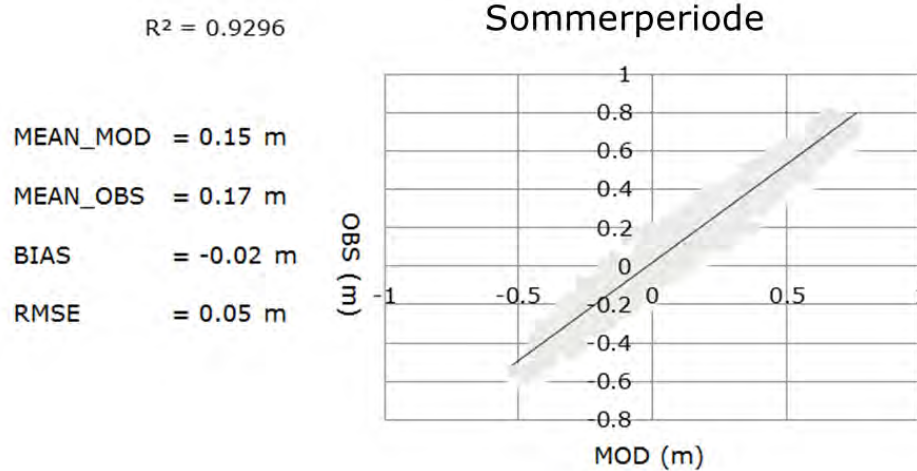
Tabel 6.2 indeholder statistiske beregninger for vinter måneder. Det ses, at der ved Kolding Havn er et signifikant offset på 9 cm under den korte periode af vintermåneder. Det vurderes, at dette ofte skyldes fejl i målingerne af vandstandsmåleren.

Tabel 6.2: Statistiske beregninger af vandstandsdata for Kolding Havn i perioden (11/1 2011 – 03/15 2012).

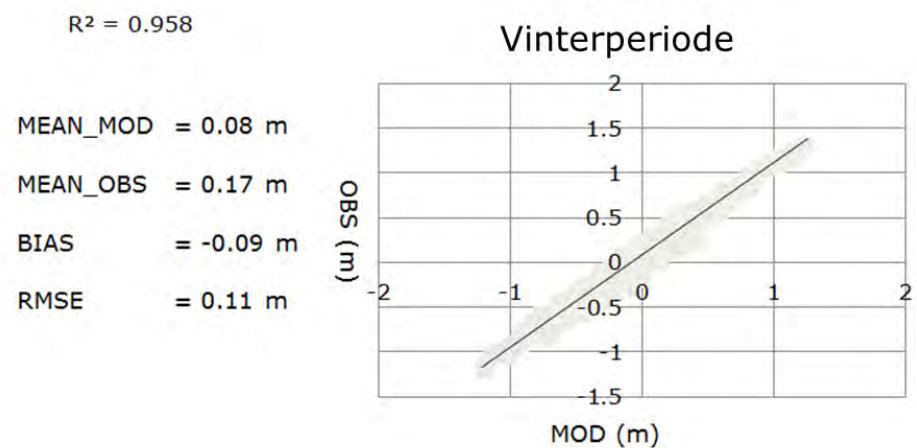
STATION	MEAN_MOD	MEAN_OBS	BIAS	RMSE	CC
Kolding	0.082	0.17	-0.090	0.11	0.98

Endvidere er model data, *MOD*, plottet mod observationer, *OBS*, for yderligere verificering. Af figurerne fremgår R^2 -værdien, denne er equivalent med CC^2 for sommer og vinterperioden i henholdsvis Figur 6.9 og Figur 6.10.

Figur 6.9: Modeldata, *MOD*, sammenholdt med observationer, *OBS*.



Figur 6.10: Modeldata, *MOD*, sammenholdt med observationer, *OBS*.



7 Præsentation af modelresultater

Modelresultaterne præsenteres i denne undersøgelse som en grafisk præsentation af sediment koncentration i vandfasen (*SSC*), sedimentation og relativ lysdæmpning i vandet (*RLA*). Disse resultater vil blive præsenteret først for gravstedet og dernæst for Trelde Næs Klapplads.

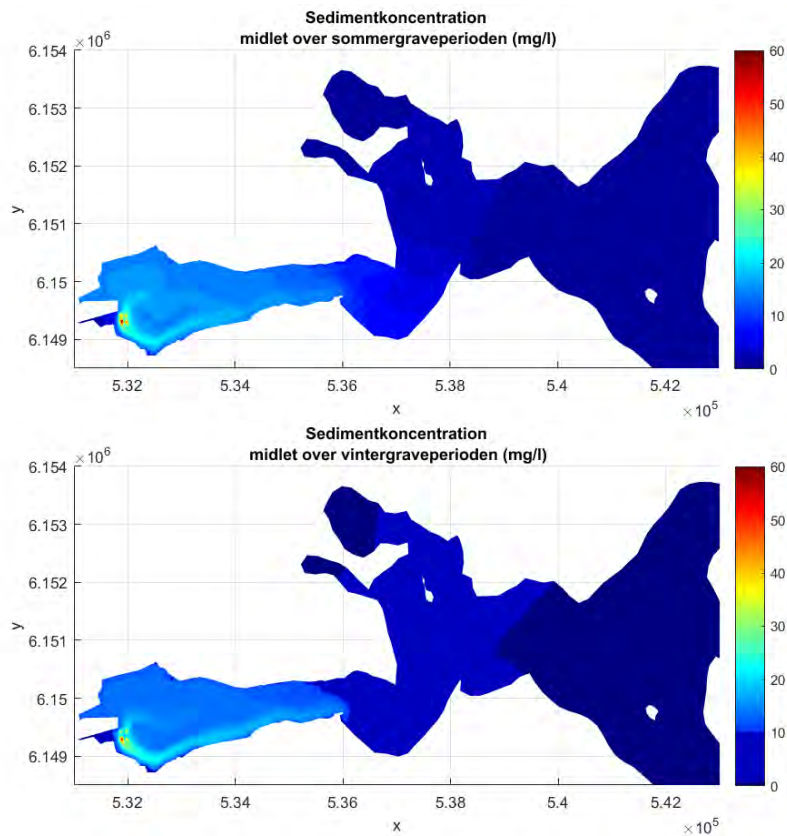
Koordinaterne angivet i figurene er i UTM-32.

7.1 Gravepladsen ved Kolding

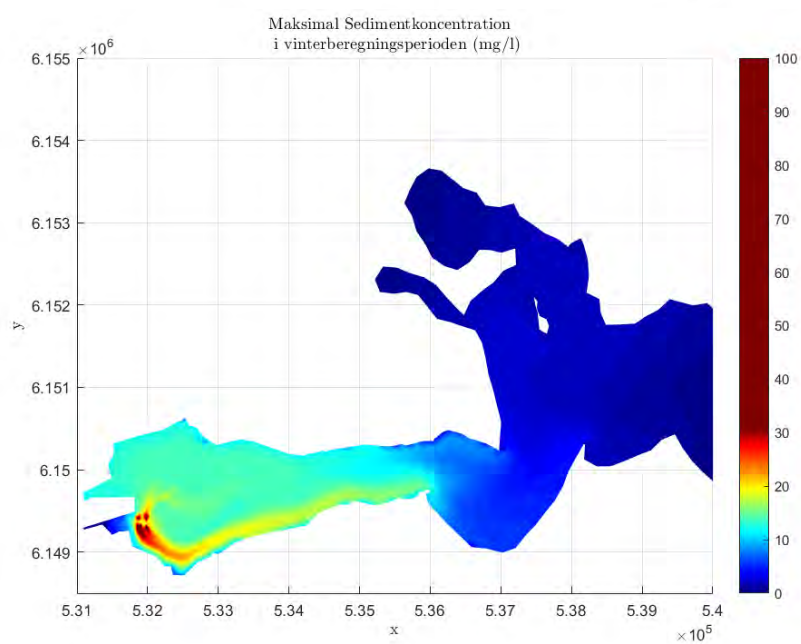
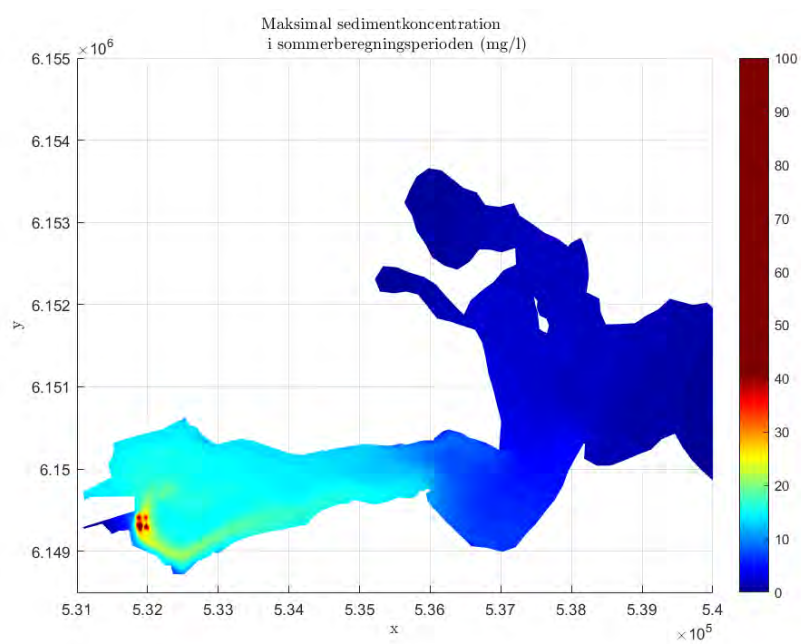
7.1.1 Sedimentkoncentration

Følgende resultater er præsenteret i figurer med hver to figurer, der viser sommer (øverst) og vinter (nederst). Overordnet opnås der større sedimentkoncentrationer i inderfjorden om sommeren. Dette skyldes, at mere sediment transporteres ud af fjorden om vinteren, hvor der ofte er kraftig vestenvind.

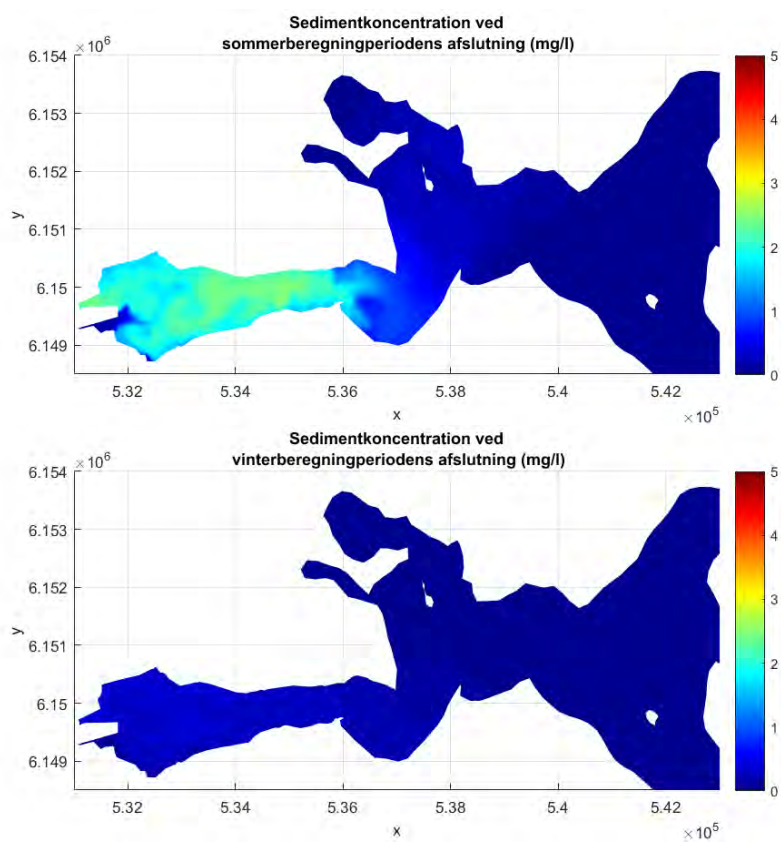
Figur 7.1: Kolding havn.
Figurene viser sedimentkoncentration midlet over sommergraveperioden (øverst) og vintergraveperioden (nederst)



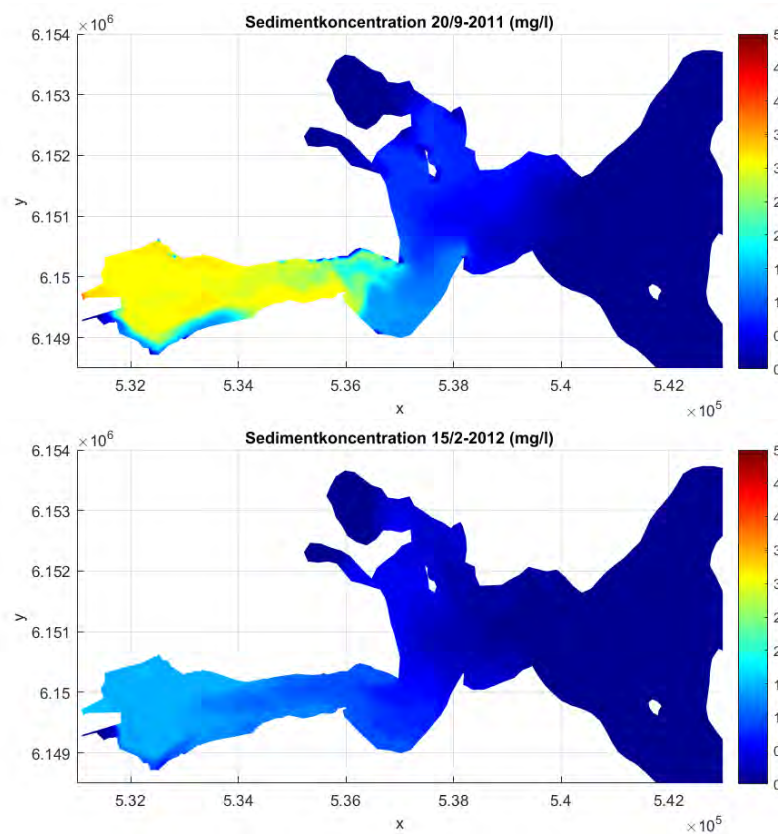
Figur 7.2: Kolding havn.
Figureerne viser
maksimal
sedimentkoncentration
i sommerberegningsperio-
den (øverst) og
vinterberegningsperio-
den (nederst)



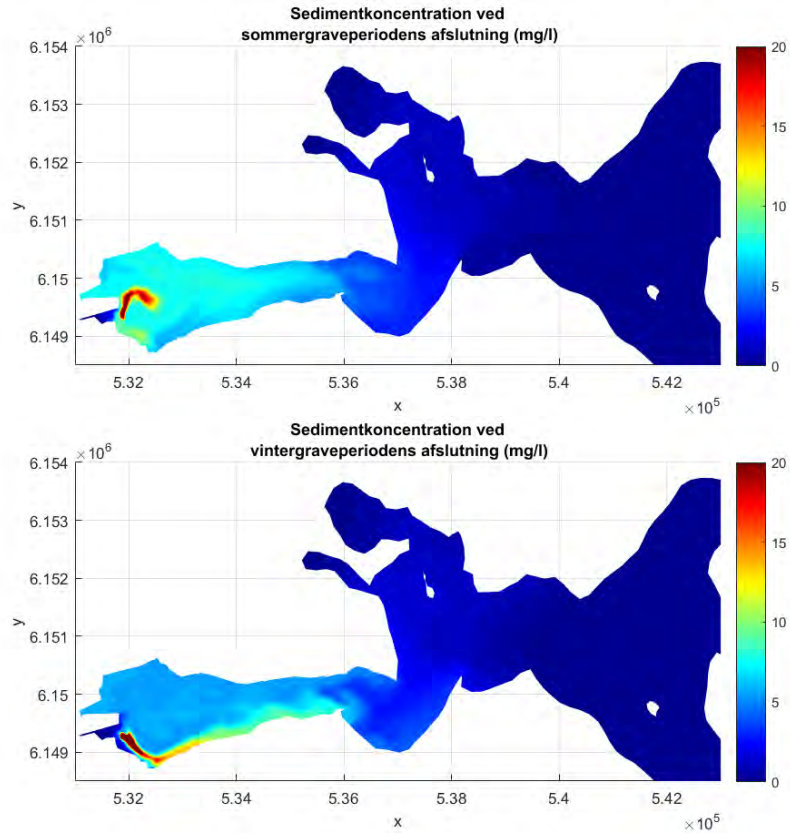
Figur 7.3: Kolding havn.
Figurerne viser
sedimentkoncentration
ved sommerberegnings-
periodens afslutning
(øverst) og
vinterberegningsperiode
ns afslutning (nederst).



Figur 7.4: Kolding havn.
Figurerne viser sedimentkoncentration midt mellem graveperiodens ophør og slutningen på beregningsperioden for sommer (øverst) og vinter (nederst).



Figur 7.5: Kolding havn.
Figurene viser
sedimentkoncentration
ved sommergrave-
periodens afslutning
(øverst) og
vintergraveperiodens
afslutning (nederst)

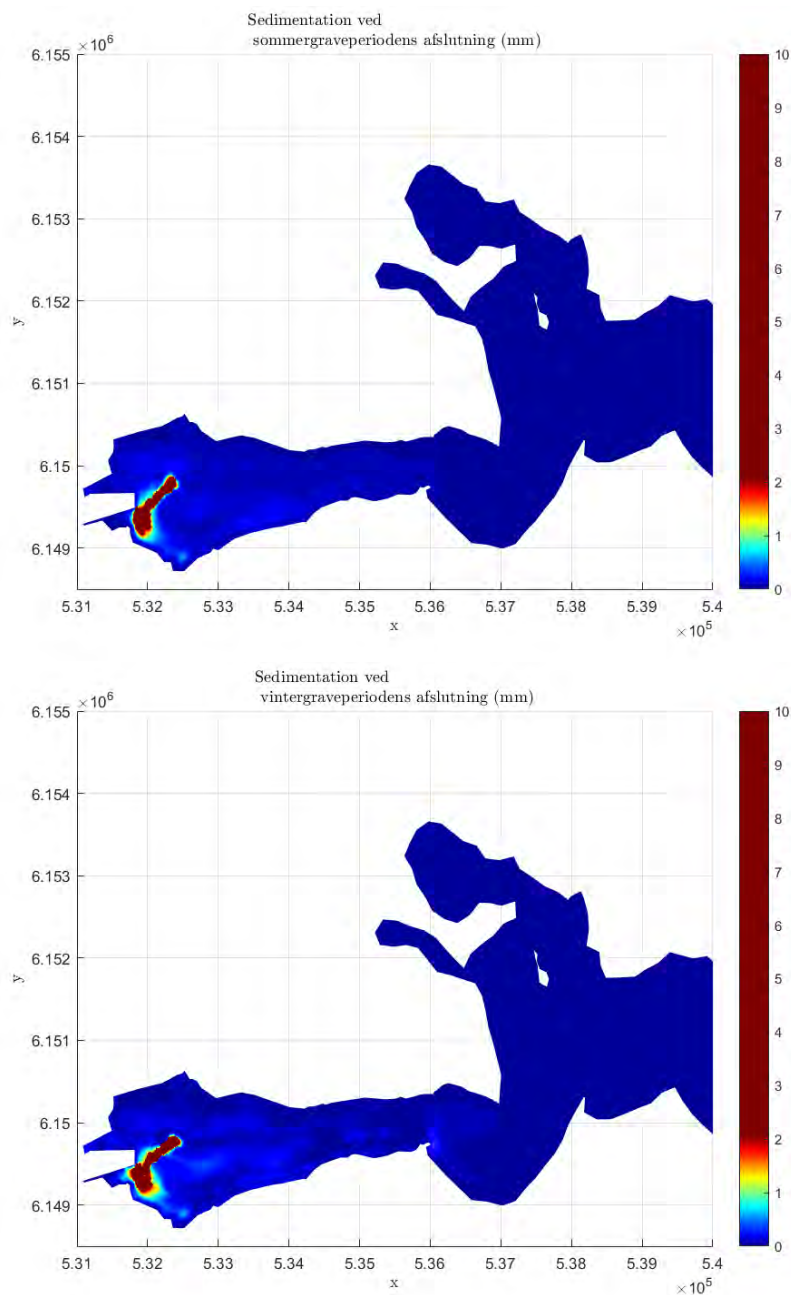


7.1.2 Sedimentation ved gravstedet

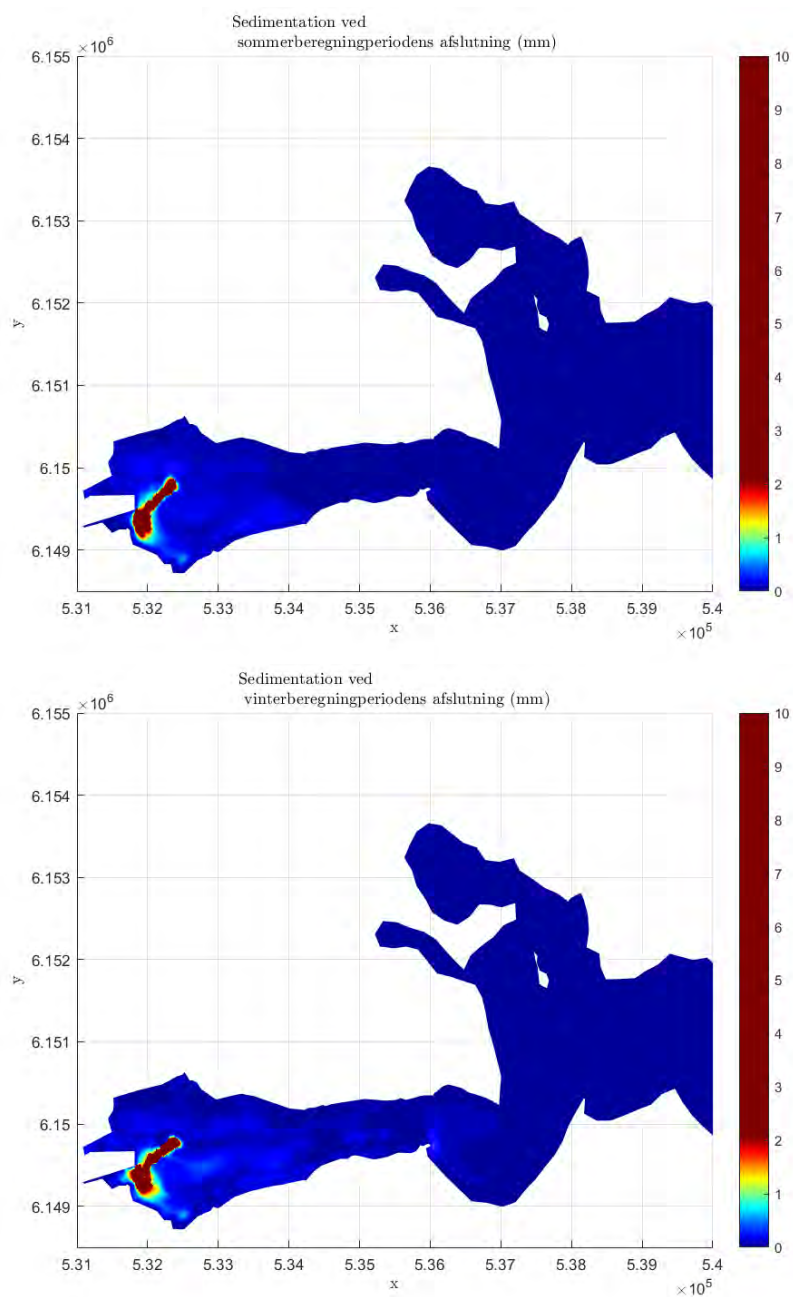
Følgende resultater er præsenteret i figurer af hver 2 underfigurer, der viser sommer (øverst) og vinter (nederst). Materialet sedimenteres generelt omkring gravepladsen.

Da uddybningsplanen er ændret efter modelberegningerne er udført, skal tallene i figurerne ændres som angivet i Tabel 5.4 i Afsnit 5.3. Dette medfører, at værdierne på skalaen skal ganges med 1,06. De områder, hvor der er angivet at sedimentationen er 10 mm, er den reelt 10,6 mm. Dette ses dog kun omkring uddybningsområdet. I Kolding Fjord er tykkelsen angivet til under 0,5 mm, og hvilket kun giver en forøgelse på 0,03 mm til 0,53 mm.

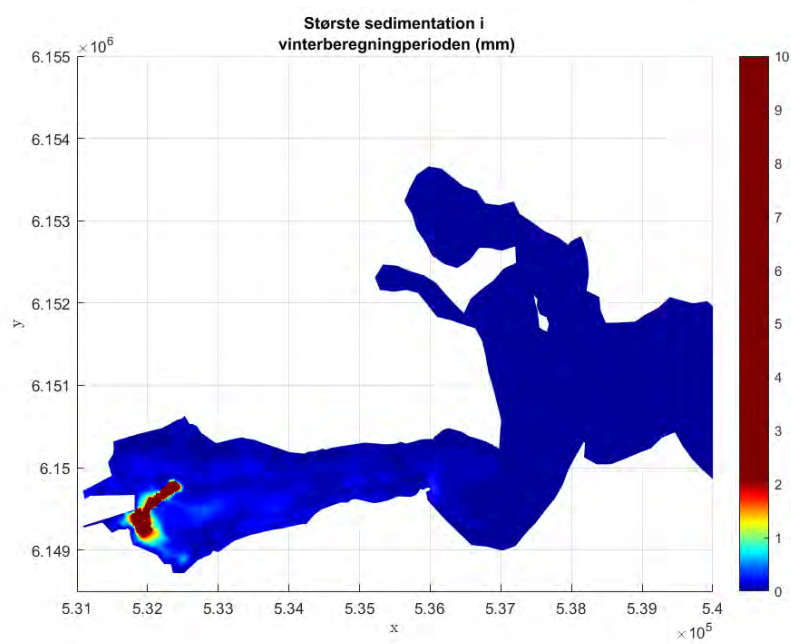
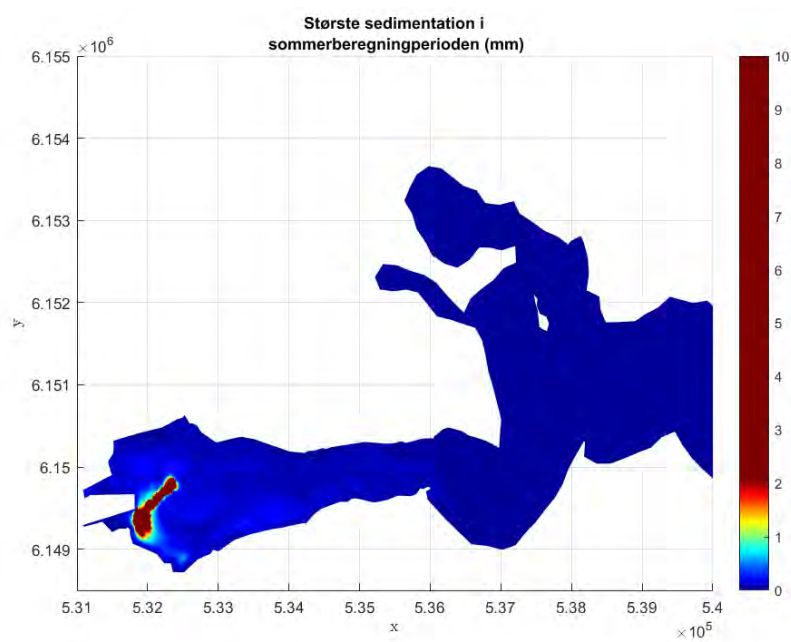
Figur 7.6: Kolding havn.
Figurerne viser sedimentation ved sommergraveperiodens afslutning (øverst) og vintergraveperiodens afslutning (nederst).



Figur 7.7: Kolding havn.
Figurene viser sedimentation ved sommerberegningens afslutning (øverst) og vinterberegningens afslutning (nederst).



Figur 7.8: Kolding havn. Figureerne viser største sedimentation under sommerberegningsperioden (øverst) og under vinterberegningsperioden (nederst).

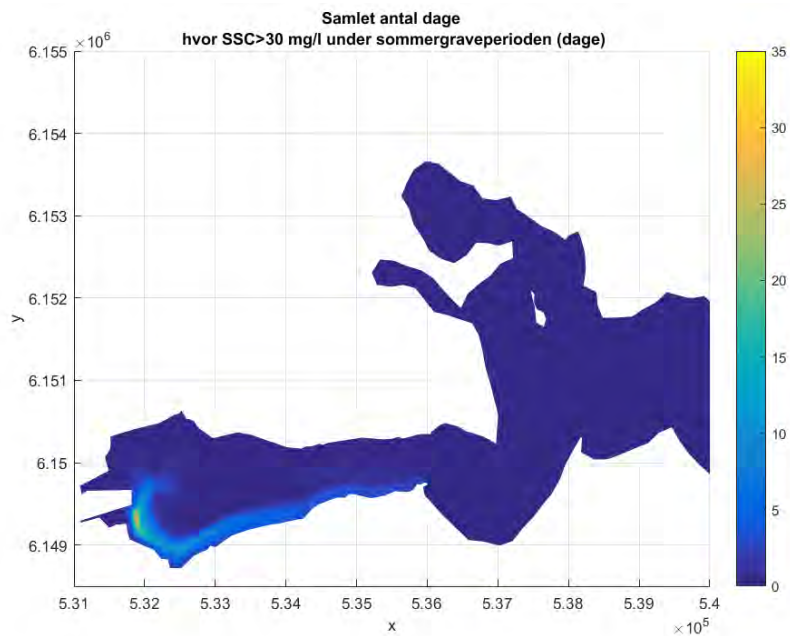


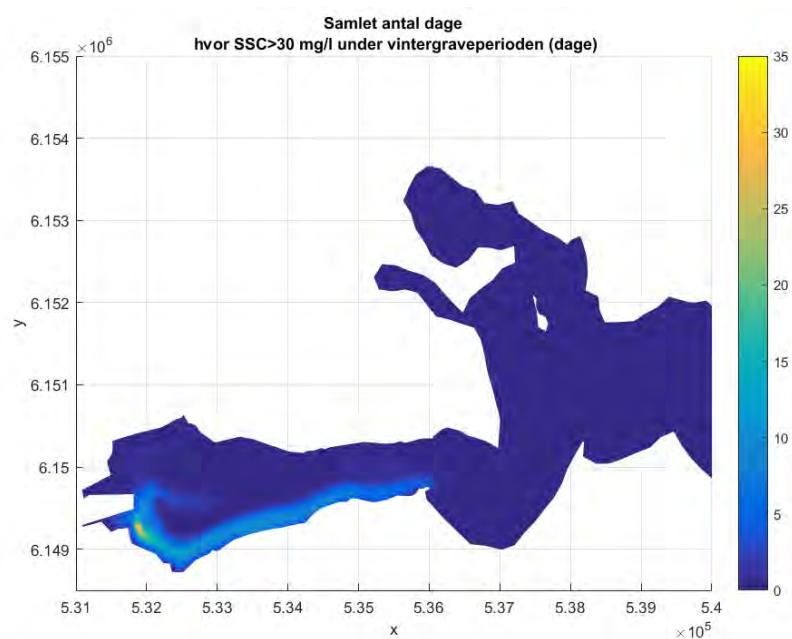
7.1.3 Overskridelse af udvalgte sedimentkoncentrationer

Følgende figurer viser antal af perioder, hvor der overskrides sedimentkoncentrationer af 30, 20, 15, 10, 8 og 2 mg/l om sommeren (øverst) og om vinteren (nederst). Til sidst vises længste sammenhængende periode i dage, hvor der overskrides samme udvalgte koncentrationer om sommeren (øverst) og om vinteren (nederst). Generelt er der mere sedimentspredning om sommeren, samtidig overskrides de udvalgte sedimentkoncentrationer i længere tid og over et større areal.

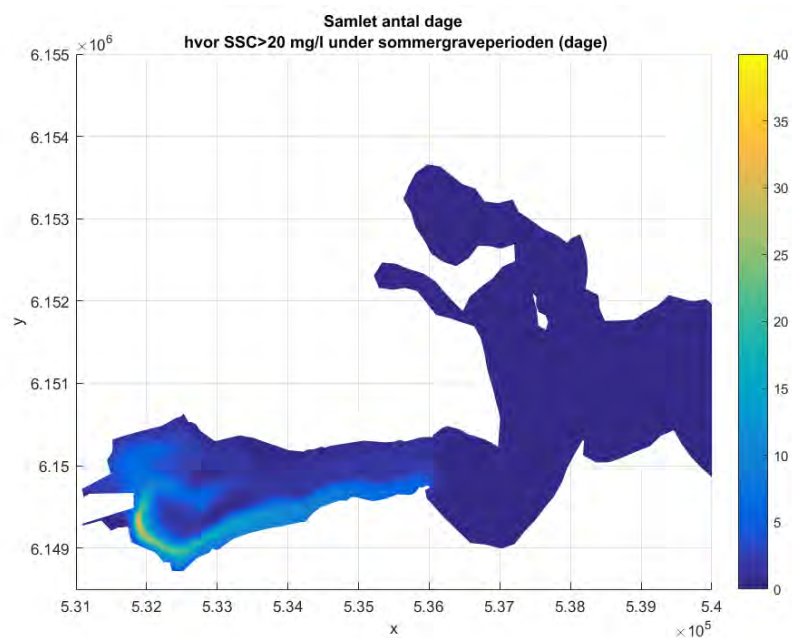
Da uddybningsplanen er ændret efter modelberegningerne er udført, skal tallene i figurerne ændres som angivet i Tabel 5.4 i Afsnit 5.3. Dette medfører, at værdierne på skalaen skal ganges med 1,06. I områder, hvor der er angivet 30 dage med overskridelse, er det reelt 31,8 dage. De områder, hvor der er angivet 90 dage med overskridelse, er det reelt 95,4 dage.

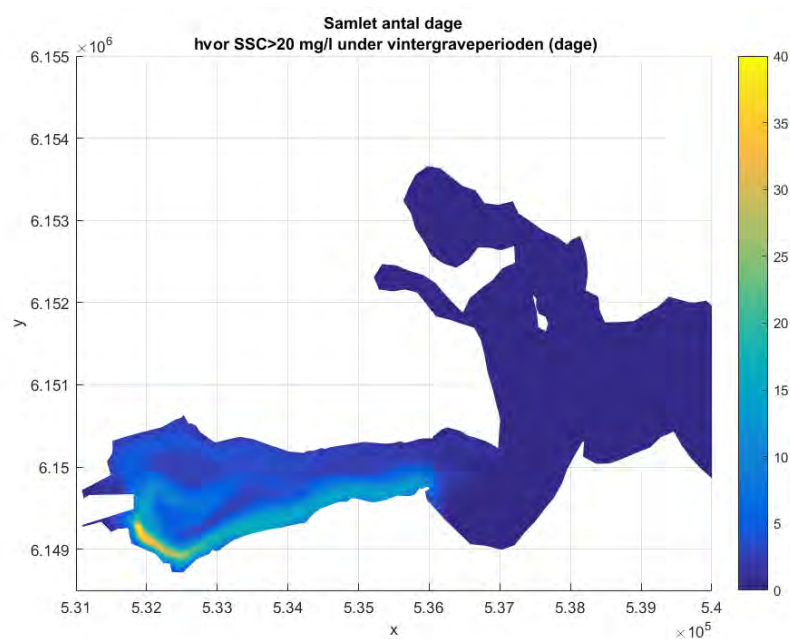
Figur 7.9: Kolding havn. Figurene viser antal dage, hvor sedimentkoncentrationer (SSC) overstiger 30 mg/l under sommergraveperioden (øverst) og under vintergraveperioden (nederst).



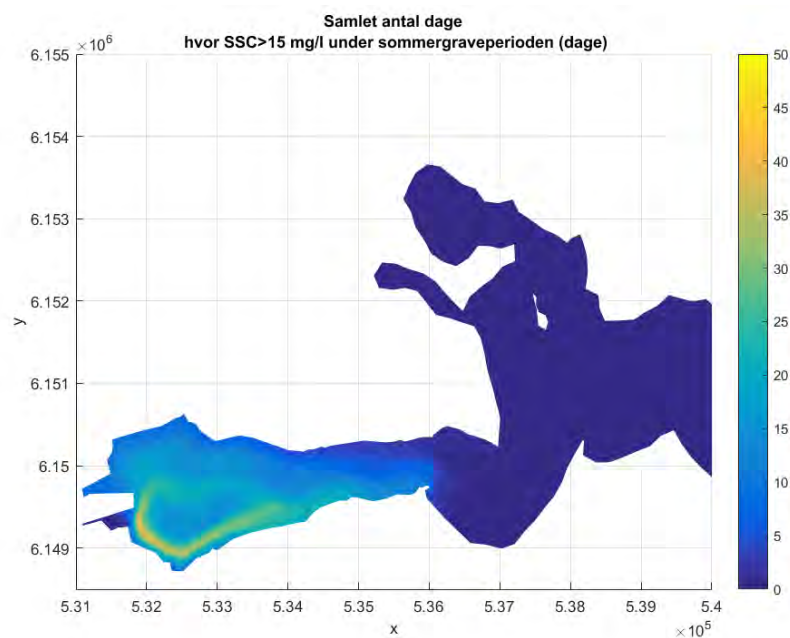


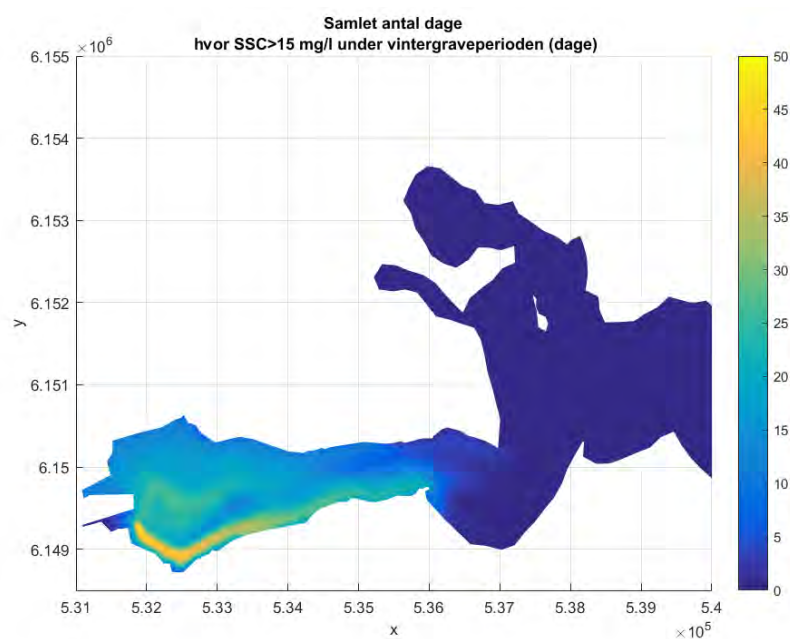
Figur 7.10: Kolding havn. Figurerne viser antal dage, hvor sedimentkoncentrationer (SSC) overstiger 20 mg/l under sommergraveperioden (øverst) og under vintergraveperioden (nederst).



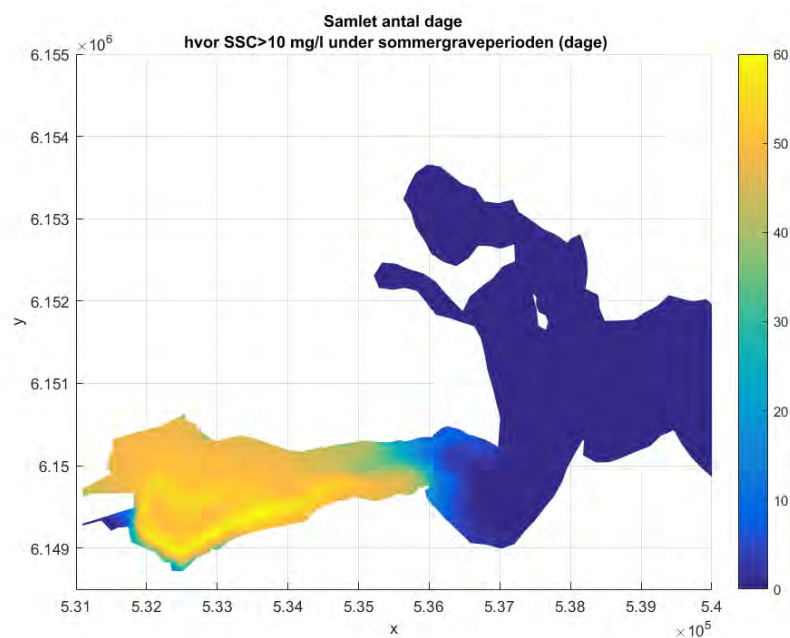


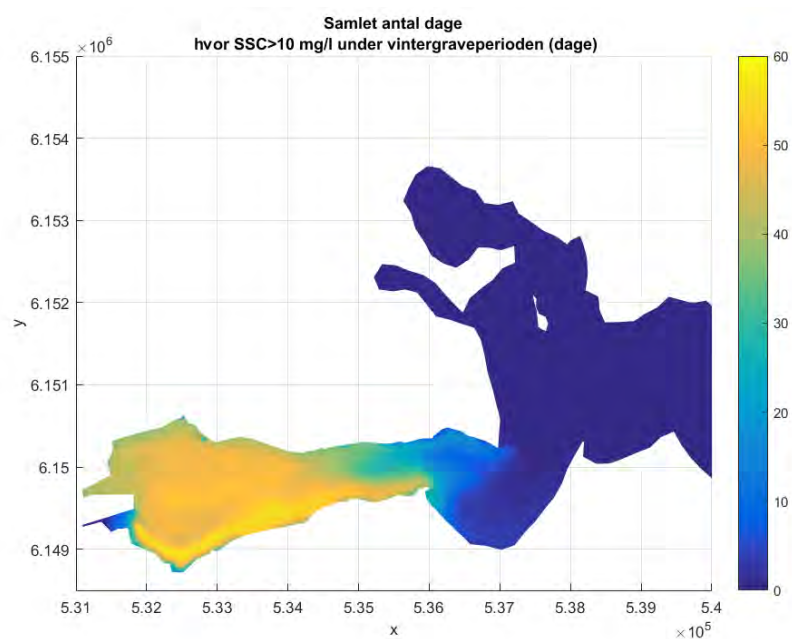
Figur 7.11: Kolding havn. Figurerne viser antal dage, hvor sedimentkoncentrationerne (SSC) overstiger 15 mg/l under sommergraveperioden (øverst) og under vintergraveperioden (nederst).



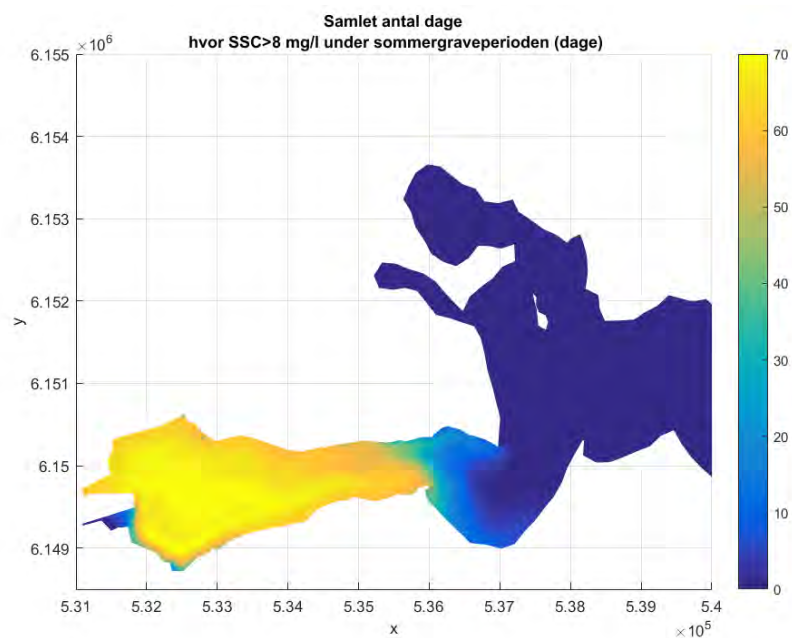


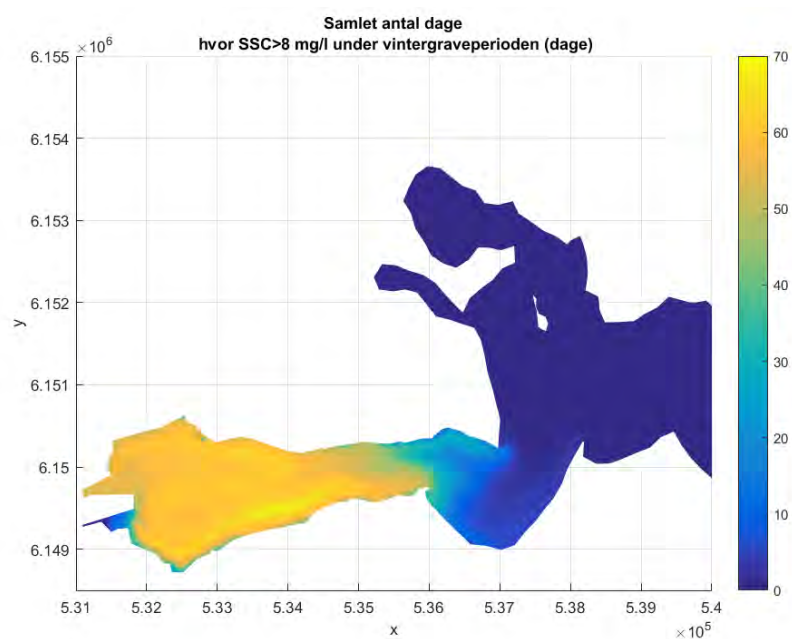
Figur 7.12: Kolding havn. Figurerne viser antal dage, hvor sedimentkoncentrationerne (SSC) overstiger 10 mg/l under sommergraveperioden (øverst) og under vintergraveperioden (nederst).



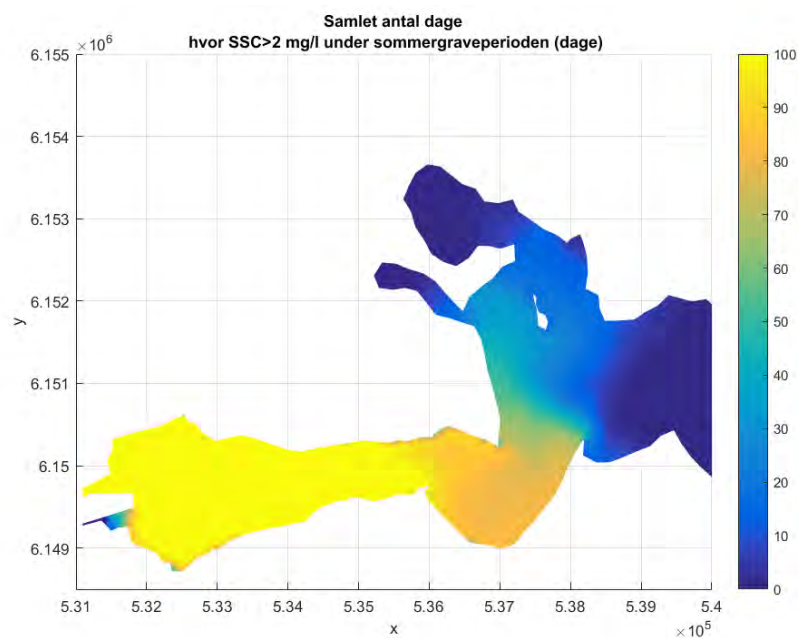


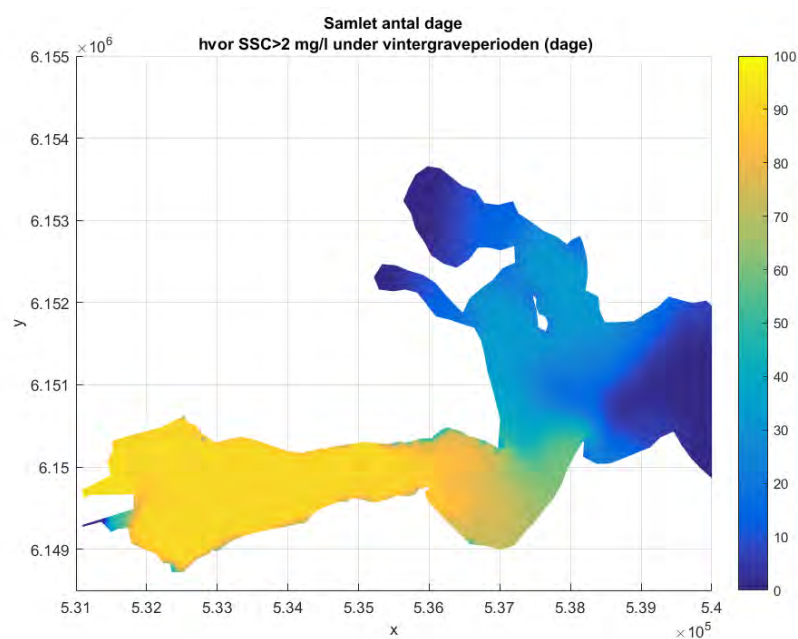
Figur 7.13: Kolding havn. Figurerne viser antal dage, hvor sedimentkoncentrationerne (SSC) overstiger 8 mg/l under sommergraveperioden (øverst) og under vintergraveperioden (nederst).



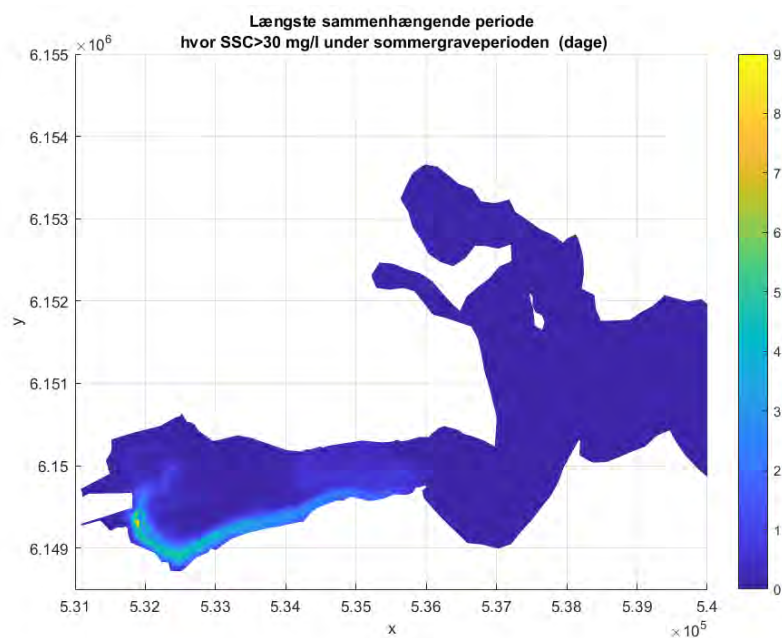


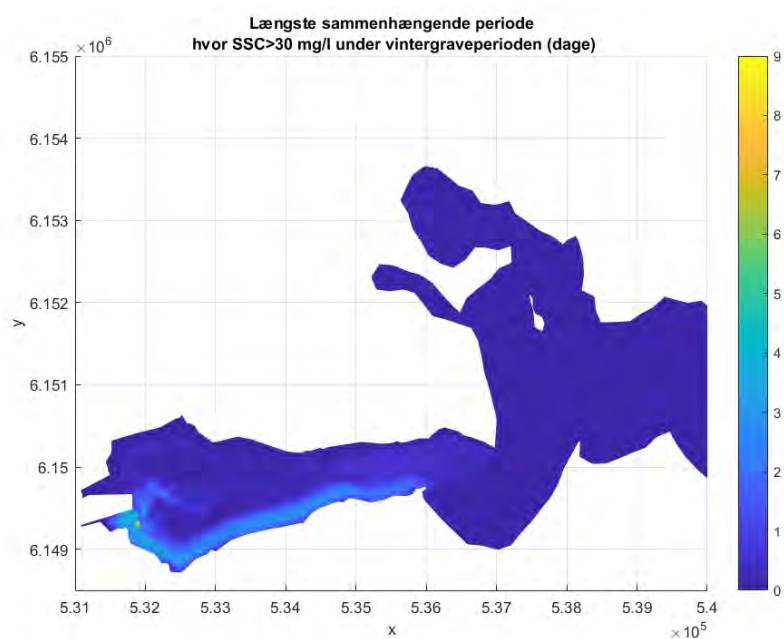
Figur 7.14: Kolding havn. Figureerne viser antal dage, hvor sedimentkoncentrationerne (SSC) overstiger 2 mg/l under sommergraveperioden (øverst) og under vintergraveperioden (nederst).



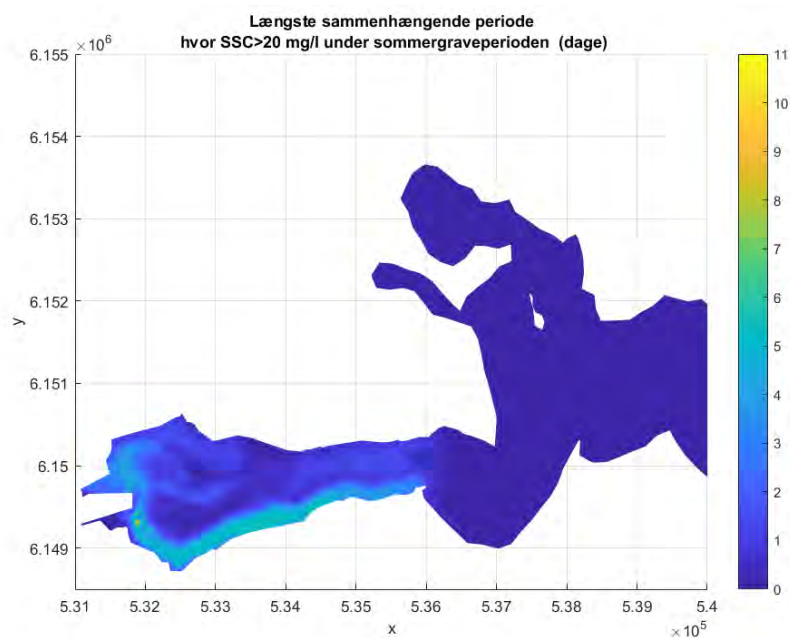


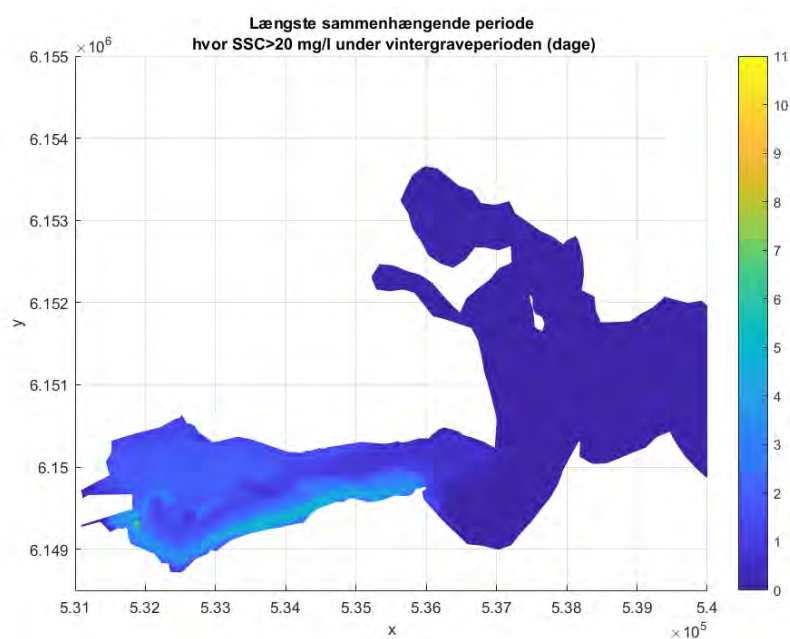
Figur 7.15: Kolding havn. Figurerne viser længste sammenhængende periode i dage, hvor sedimentkoncentrationerne (SSC) overstiger 30 mg/l under sommergraveperioden (øverst) og under vintergraveperioden (nederst).



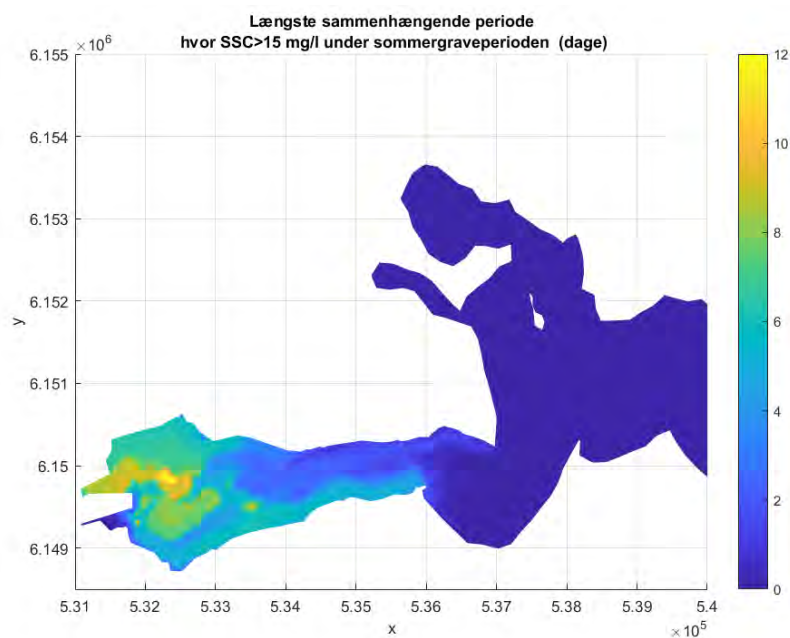


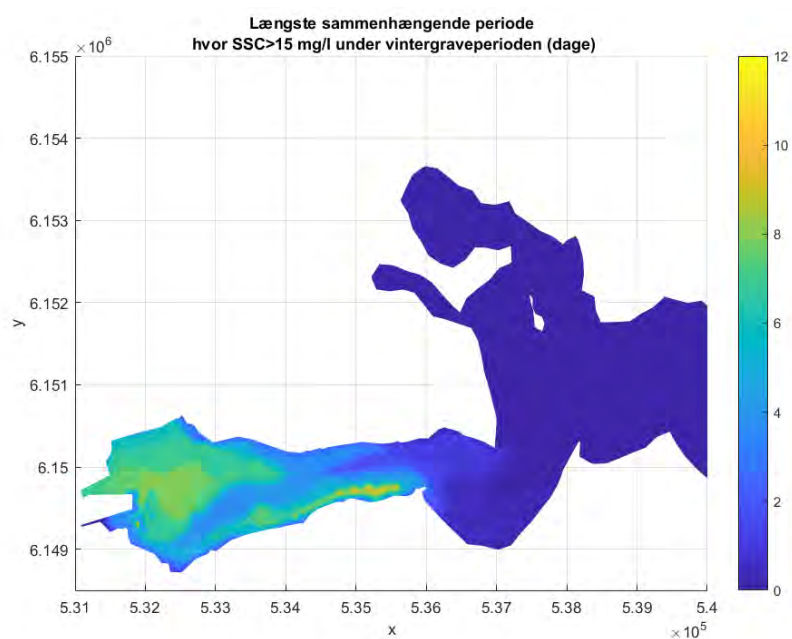
Figur 7.16: Kolding havn. Figurerne viser længste sammenhængende periode i dage, hvor sedimentkoncentrationerne (SSC) overstiger 20 mg/l under sommergraveperioden (øverst) og under vintergraveperioden (nederst).



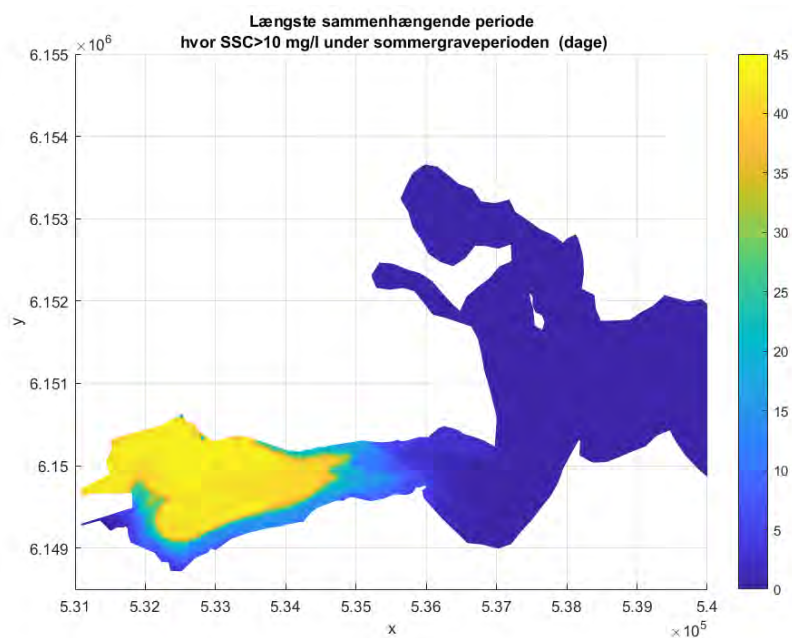


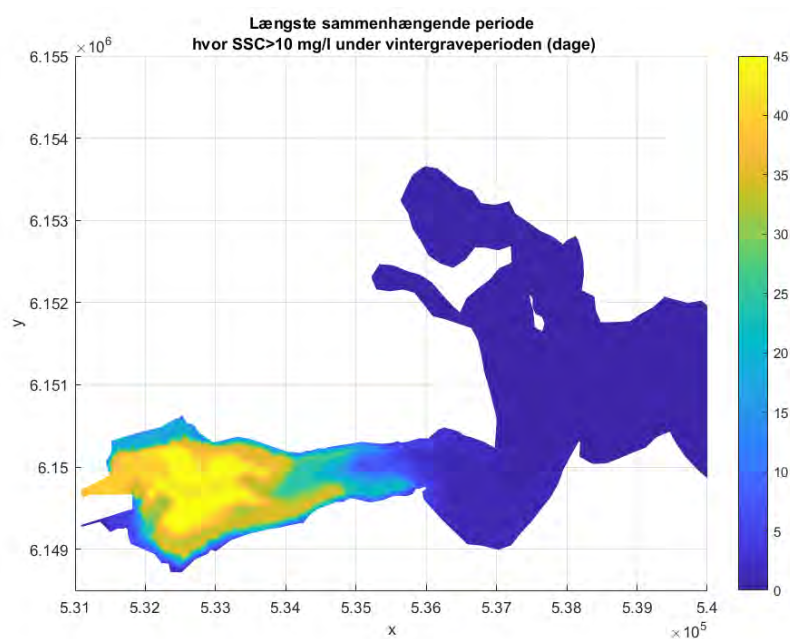
Figur 7.17: Kolding havn. Figurerne viser længste sammenhængende periode i dage, hvor sedimentkoncentrationerne (SSC) overstiger 15 mg/l under sommergraveperioden (øverst) og under vintergraveperioden (nederst).



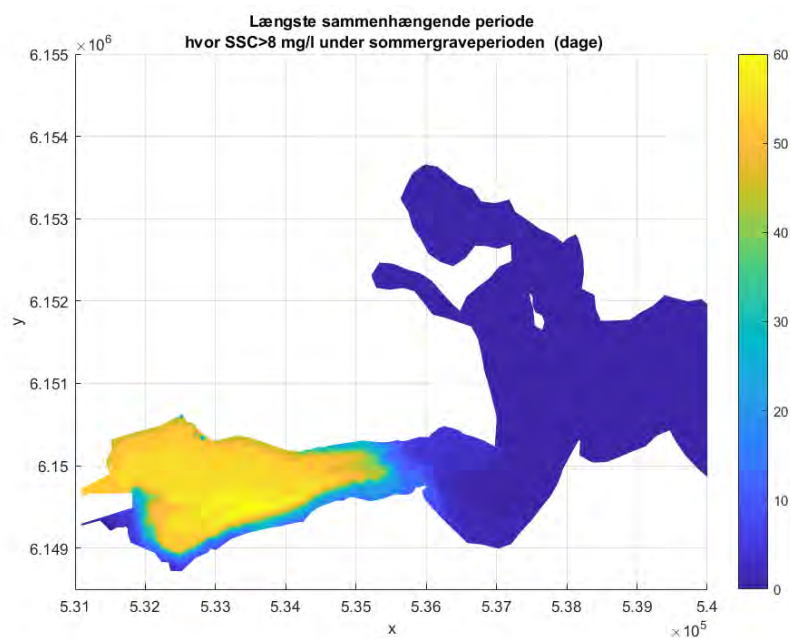


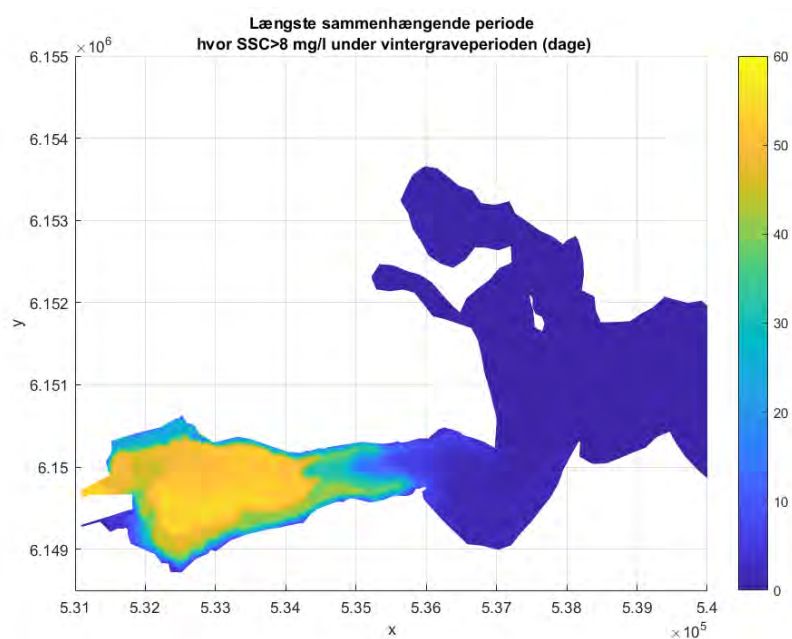
Figur 7.18: Kolding havn. Figurerne viser længste sammenhængende periode i dage, hvor sedimentkoncentrationerne (SSC) overstiger 10 mg/l under sommergraveperioden (øverst) og under vintergraveperioden (nederst).



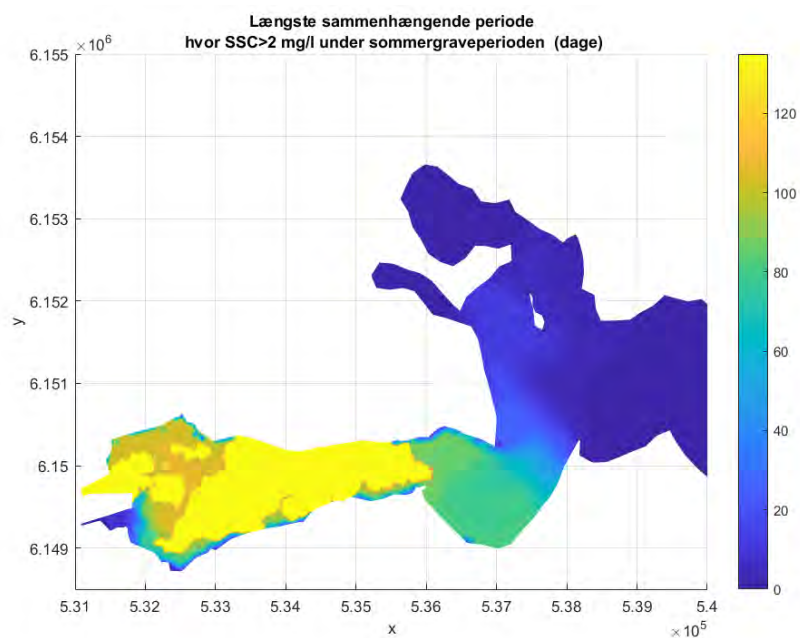


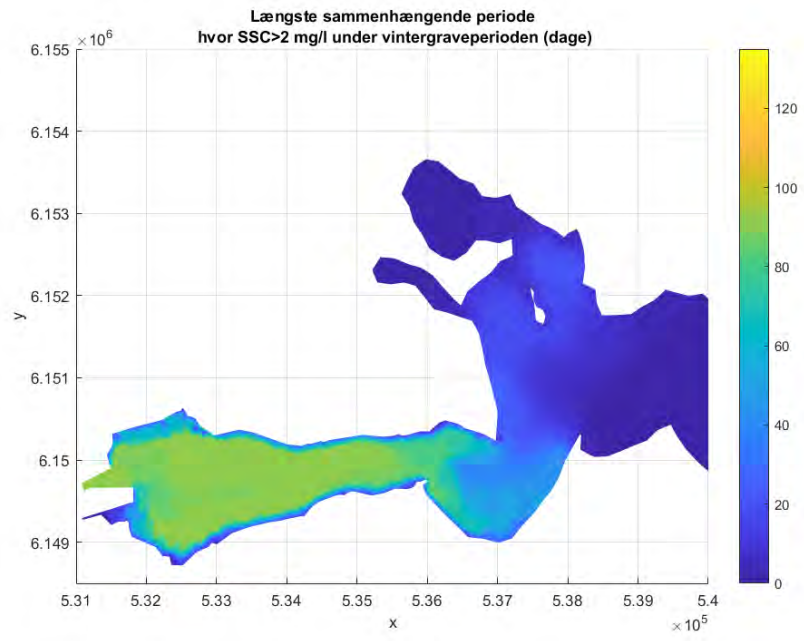
Figur 7.19: Kolding havn. Figurerne viser længste sammenhængende periode i dage, hvor sedimentkoncentrationerne (SSC) overstiger 8 mg/l under sommergraveperioden (øverst) og under vintergraveperioden (nederst).





Figur 7.20: Kolding havn. Figurerne viser længste sammenhængende periode i dage, hvor sedimentkoncentrationerne (SSC) overstiger 2 mg/l under sommergraveperioden (øverst) og under vintergraveperioden (nederst).

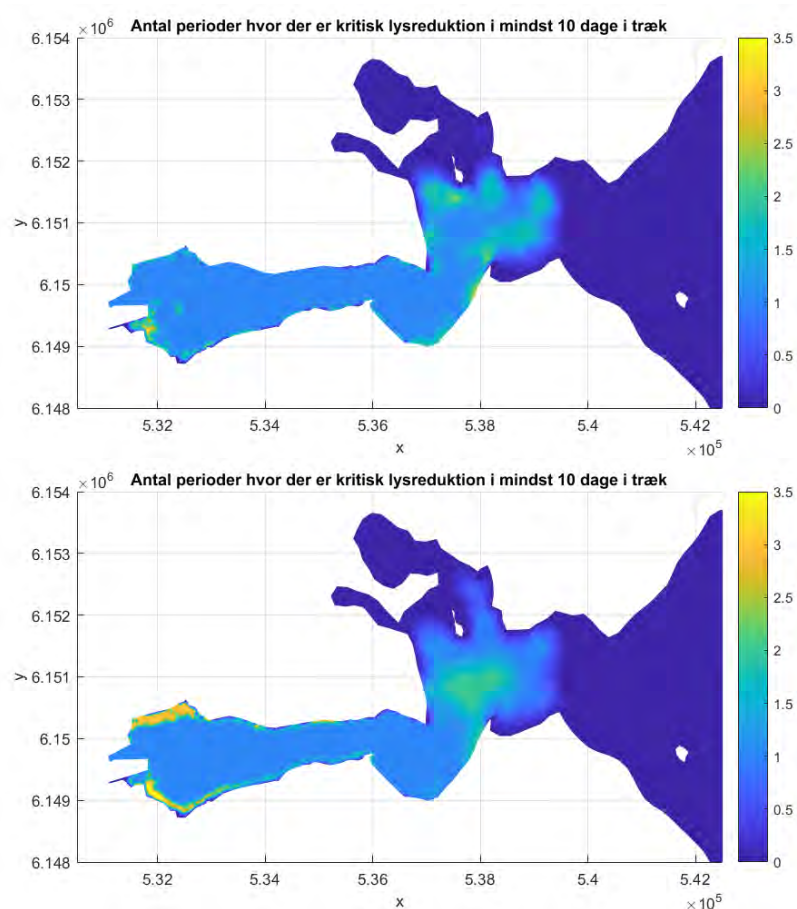




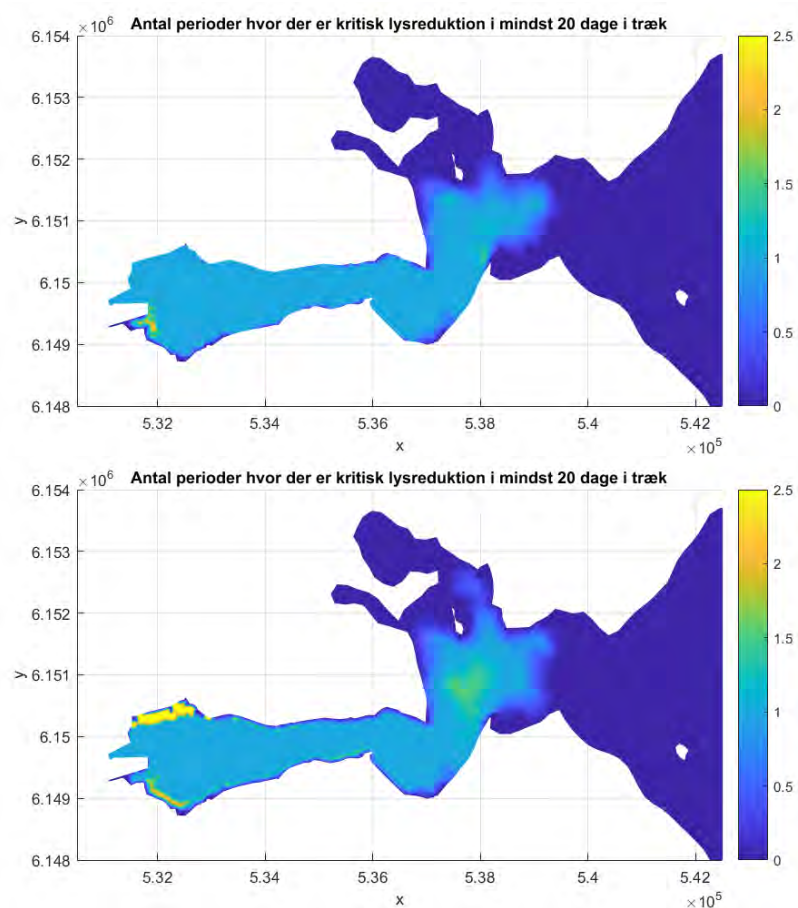
7.1.4 Kritisk lysreduktion

Følgende resultater er præsenteret i figurer af hver 2 underfigurer, der viser sommer (øverst) og vinter (nederst). Generelt er lysreduktionen om sommeren lig lysreduktionen om vinteren. Om vinteren samles der dog noget sediment syd for gravepladsen og ved den nordlige kyst i inderfjorden, som giver en større lysreduktion her end om sommeren.

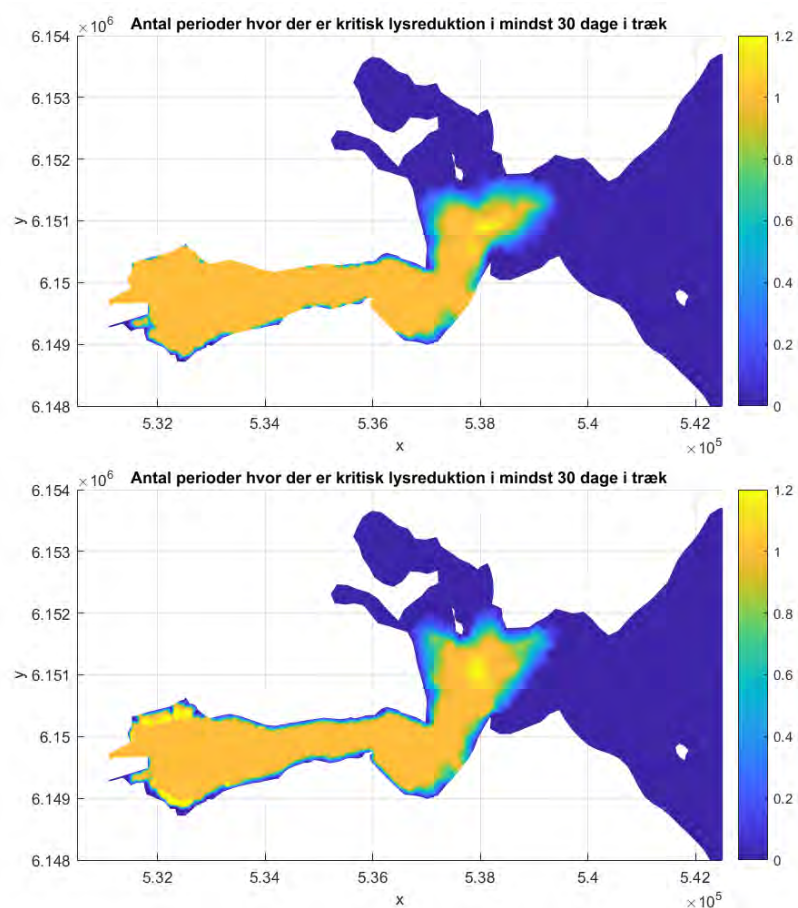
Figur 7.21: Kolding havn. Figureerne viser antal perioder, hvor der er kritisk lysreduktion i mindst 10 dage i træk, fra grave-perioden starter og indtil beregningsperioden slutter. Sommer (øverst) og vinter (nederst).



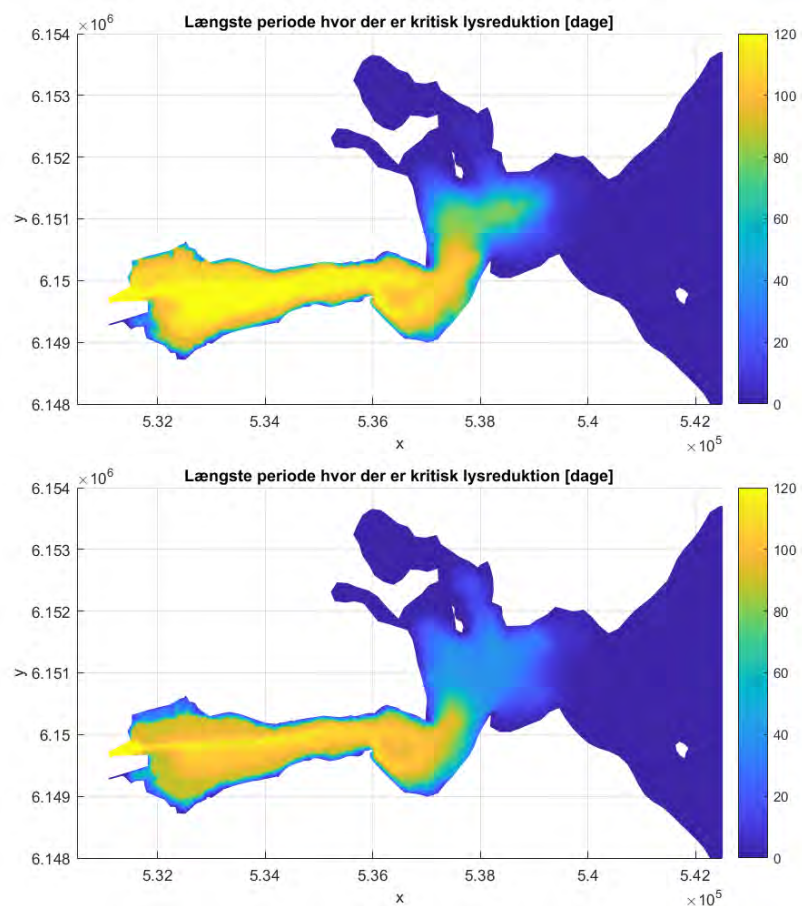
Figur 7.22: Kolding havn. Figurerne viser antal perioder, hvor der er kritisk lysreduktion i mindst 20 dage i træk, ra graveperioden starter og indtil beregningsperioden slutter. Sommer (øverst) og vinter (nederst).



Figur 7.23: Kolding havn. Figurerne viser antal perioder, hvor der er kritisk lysreduktion i mindst 30 dage i træk, ra graveperioden starter og indtil beregningsperioden slutter. Sommer (øverst) og vinter (nederst).



Figur 7.24: Kolding havn. Figurerne viser længste periode i dage, hvor der er kritisk lysreduktion, fra graveperioden starter og indtil beregningsperioden slutter. Sommer (øverst) og vinter (nederst).



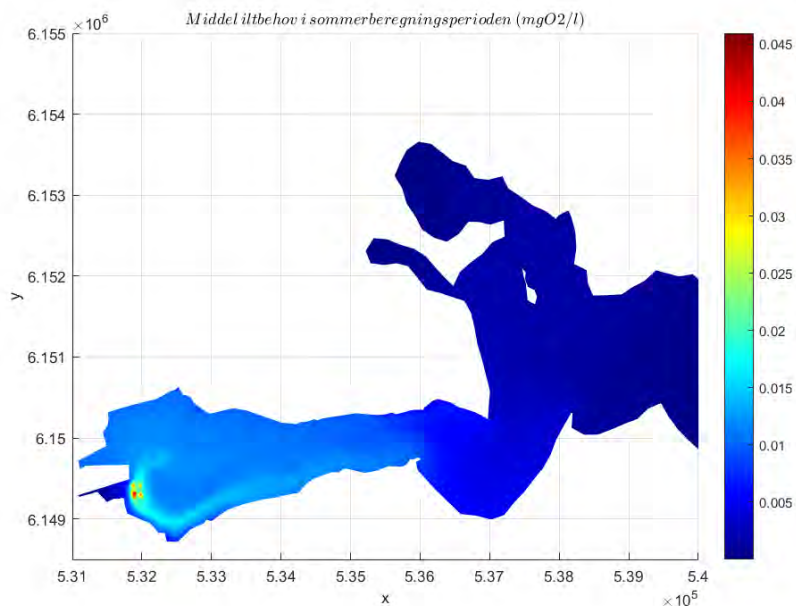
7.1.5 Iltforbrug og TBT-koncentration

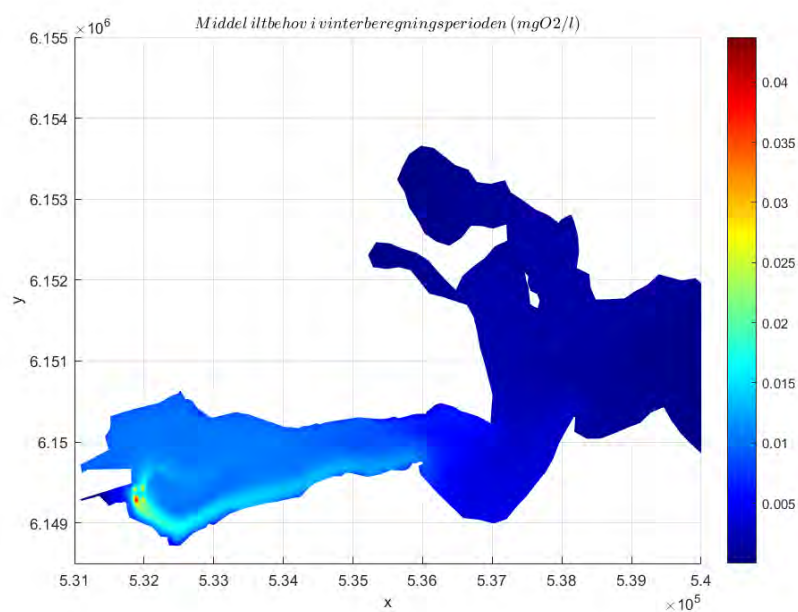
Iltbehovet er undersøgt for middel-sedimentkoncentrationen i graveperioden samt den maksimale sedimentkoncentration i graveperioden. Iltbehovet ligger langt under det naturlige iltindhold på 6-8 mg/l.

TBT-koncentrationen i vandfasen er undersøgt for middel-sedimentkoncentrationen i graveperioden og er inde ved graveområdet over maksimumkoncentrationen på 0,0015 µg/l. I den inderste del af Kolding Fjord er TBT-koncentrationen over det generelle kvalitetskrav på 0,0002 µg/l (angivet med blå nuancer i Figur 7.27), mens den i den yderste del af Kolding Fjord er under det generelle kvalitetskrav (angivet med sort i Figur 7.27).

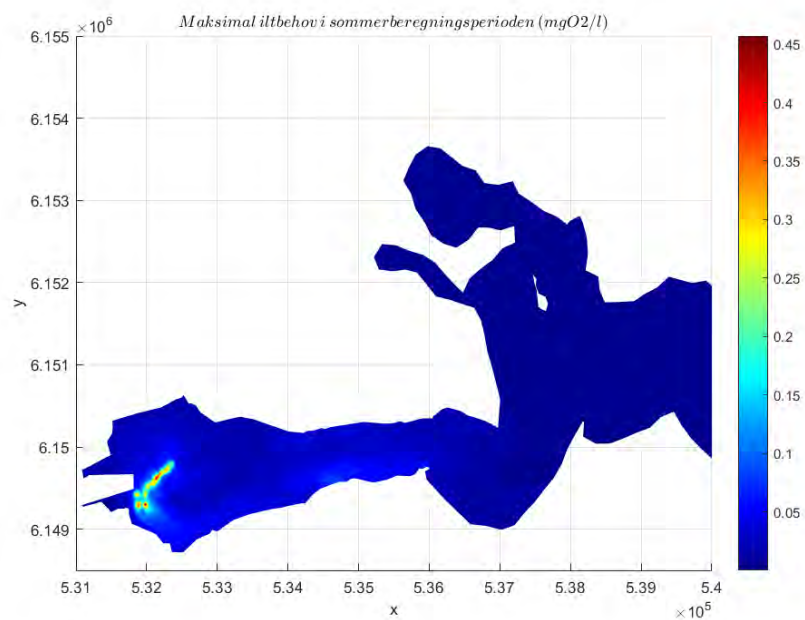
Som tidligere nævnt er modelberegningerne baseret på en gennemsnitskoncentration på 0,03 mg TBT/kg tørstof. Det vægtede gennemsnit for TBT er lavere med en værdi på cirka 0,02 mg TBT/kg. Den modellerede spredning af TBT vurderes derfor at være konservativ.

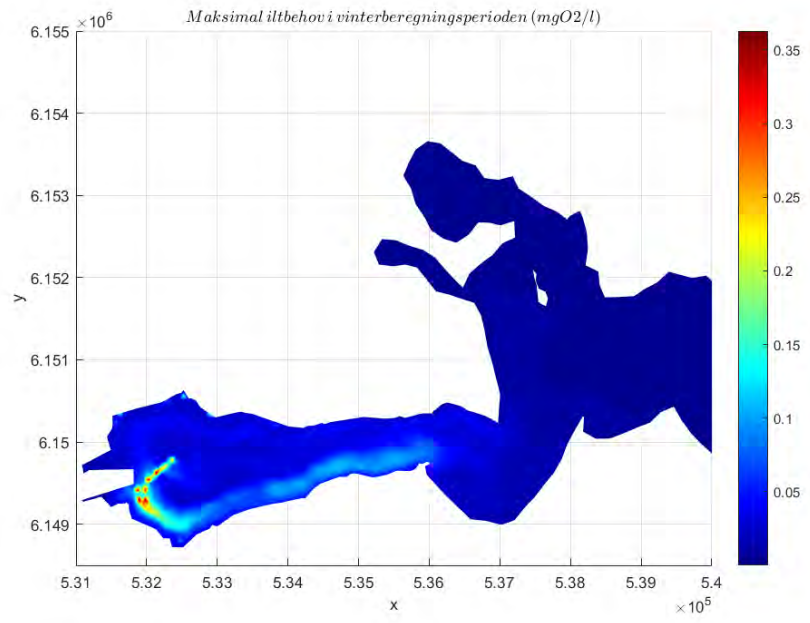
Figur 7.25: Kolding havn. Figurene viser iltbehovet midlet over sommergraveperioden (øverst) og vintergraveperioden (nederst).





Figur 7.26: Kolding havn. Figurerne viser det maksimale iltbehov i sommerberegningsperioden (øverst) og vinterberegningsperioden (nederst).

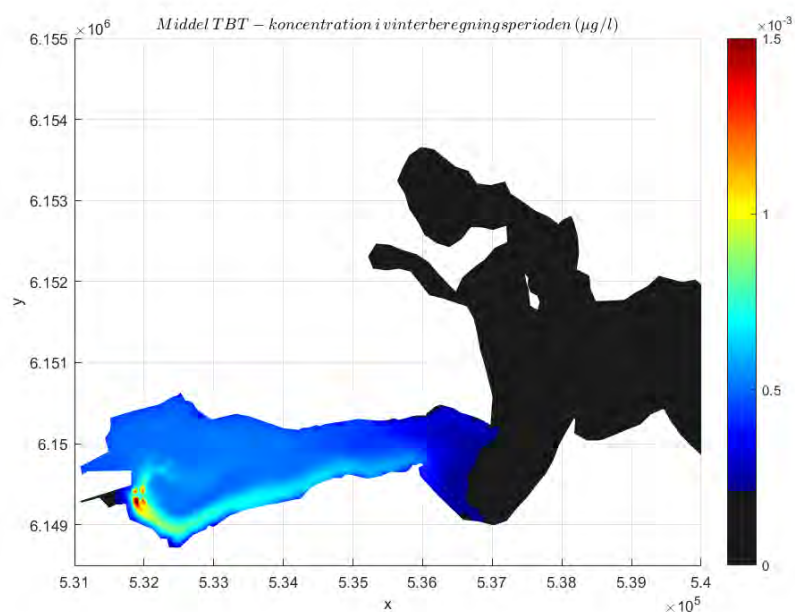
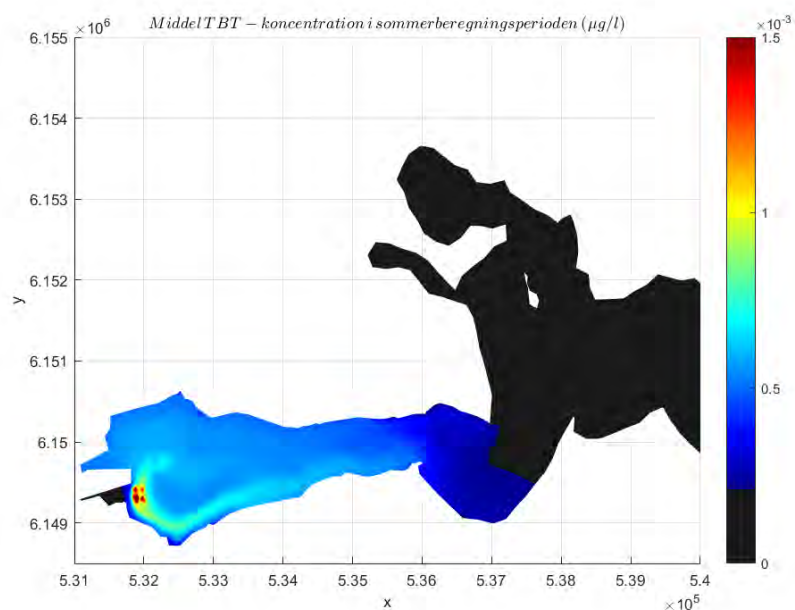




Figur 7.27: Kolding havn. Figureerne viser TBT-koncentrationen midlet over sommergraveperioden (øverst) og vintergraveperioden (nederst).

Sort: Koncentration er under det generelle kvalitetskrav; 0,0002 $\mu\text{g/l}$.

Rød: Koncentration er over maksimum-koncentrationen; 0,0015 $\mu\text{g/l}$.

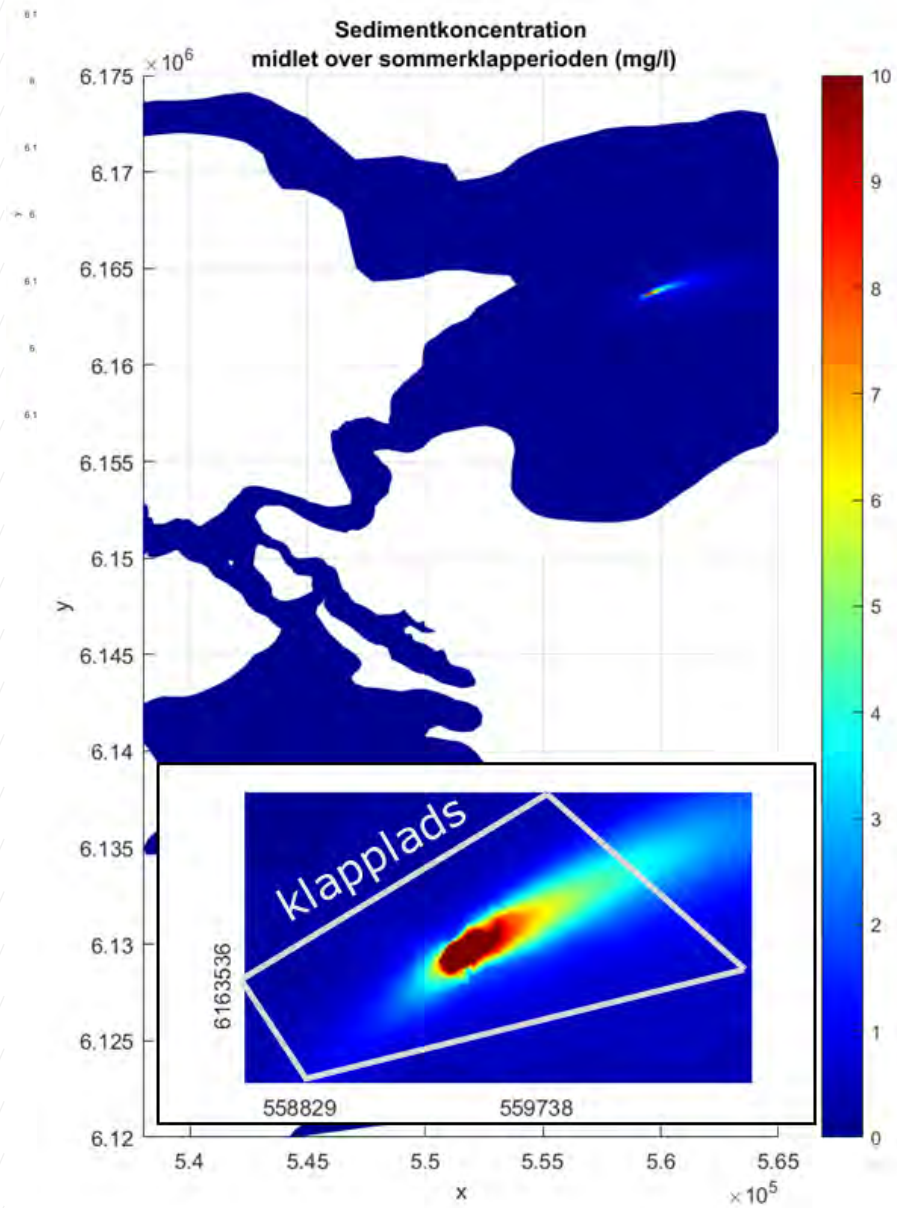


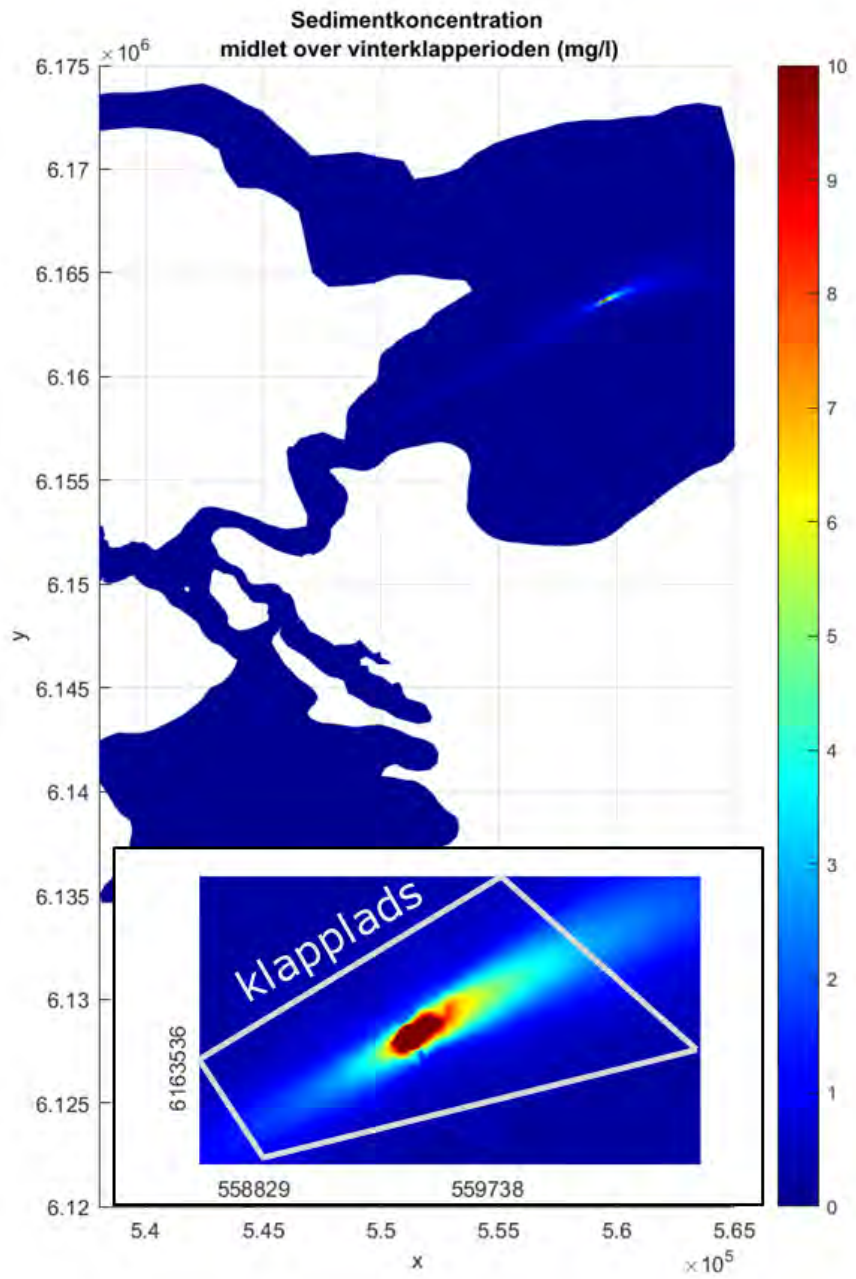
7.2 Klappladsen i Lillebælt

7.2.1 Sedimentkoncentration

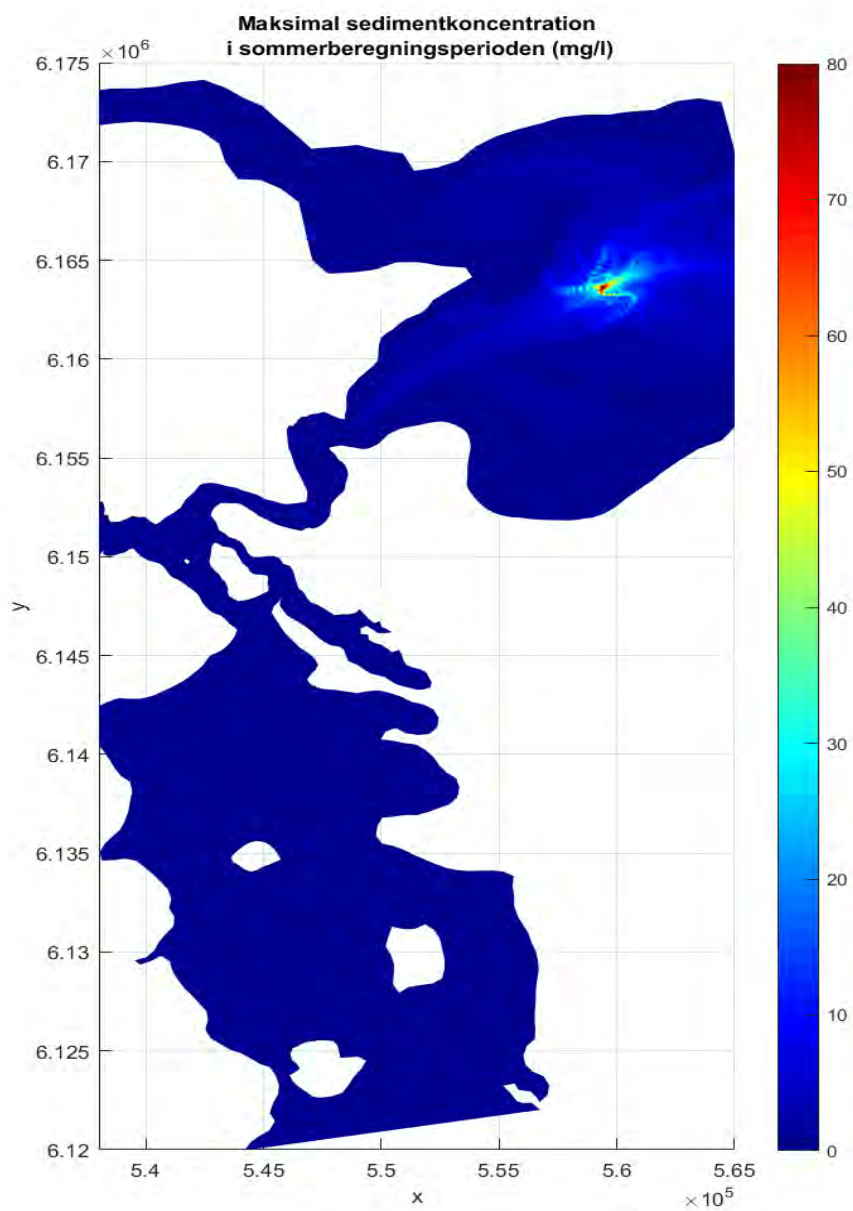
Følgende resultater er præsenteret i figurer med hver to underfigurer, der viser sommer (øverst) og vinter (nederst). Sedimentet spredes længere væk fra klappladsen om vinteren, da strømhastigheden her er større.

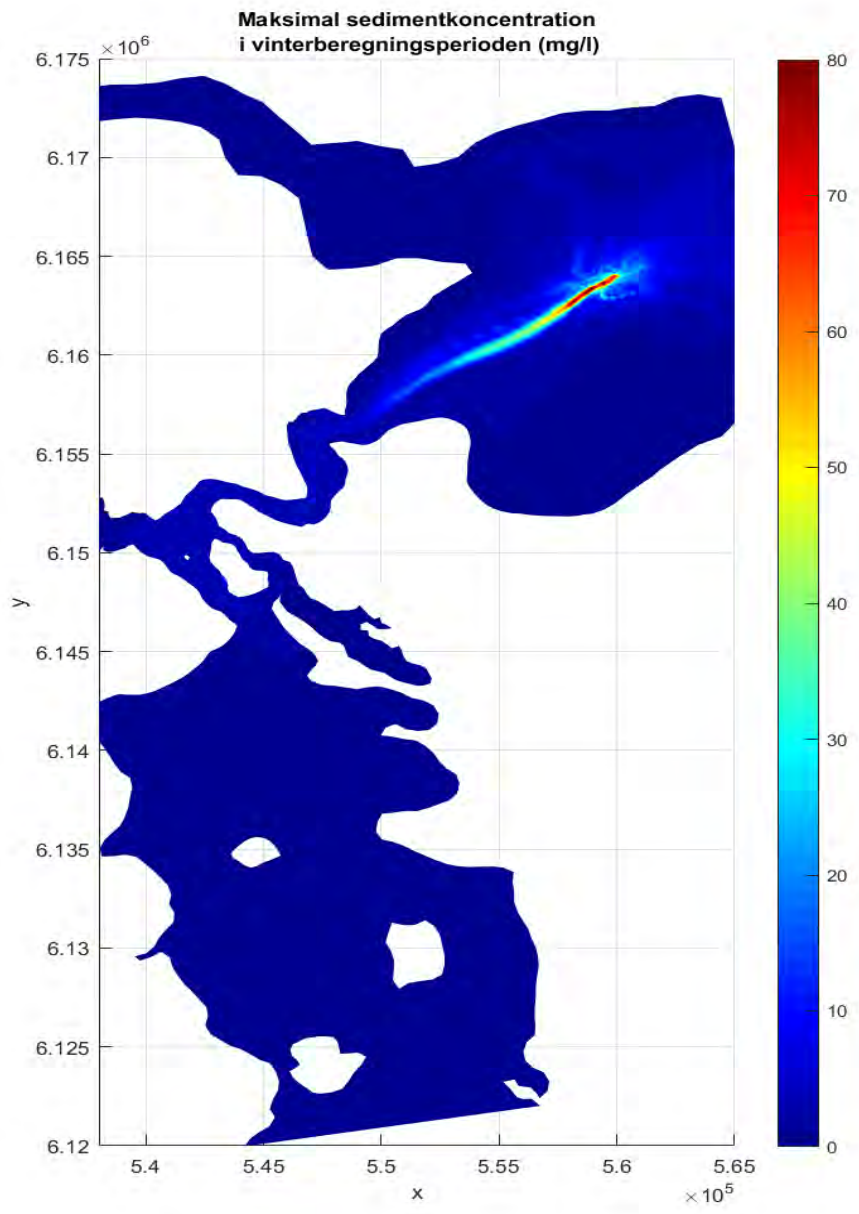
Figur 7.28: Klappladsen. Figurerne viser sedimentkoncentration midlet over sommerklapperperioden (øverst) og vinterklapperperioden (nederst).





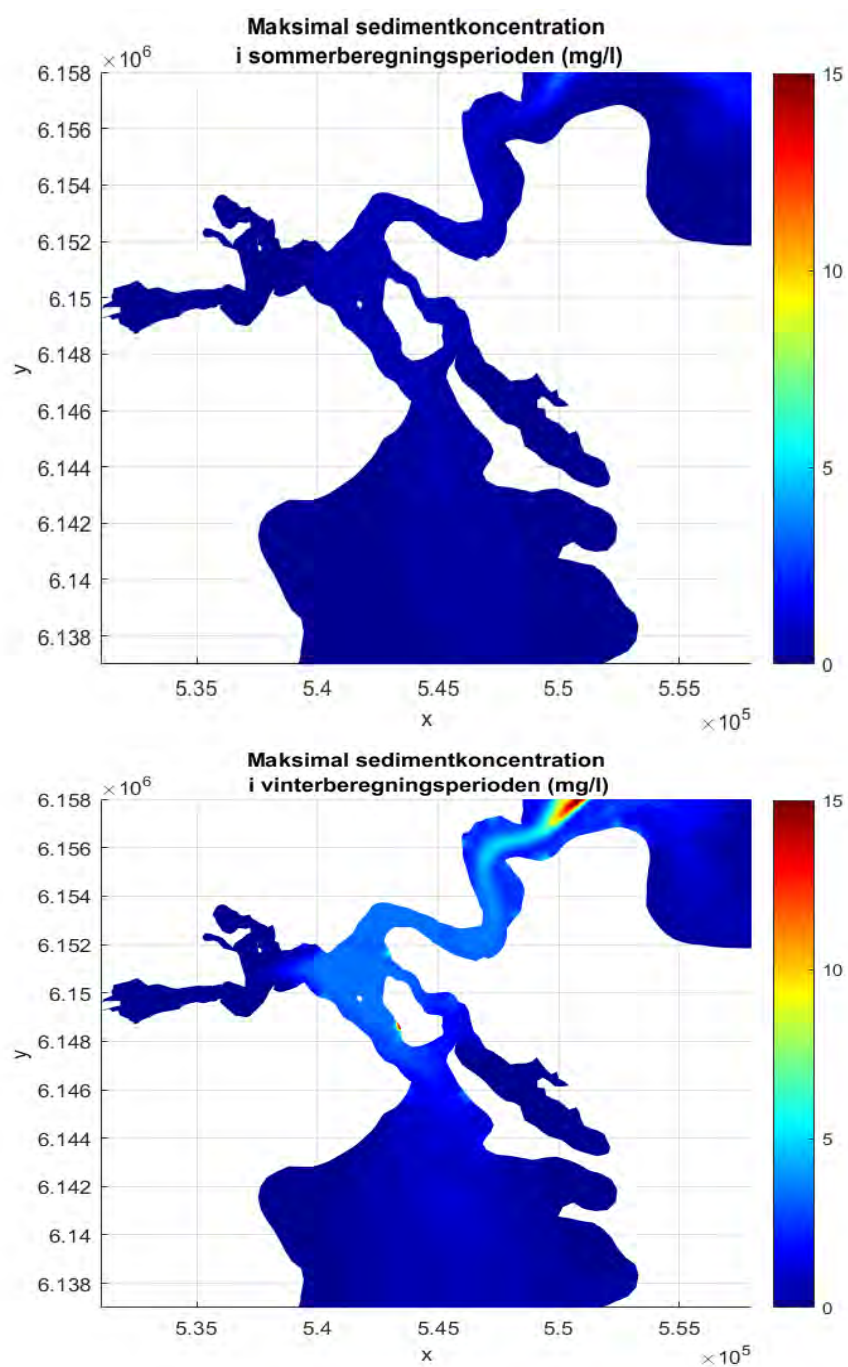
Figur 7.29: Klappladsen.
Figureerne viser maksimal sedimentkoncentration i sommerberegningsperioden (øverst) og vinterberegningsperioden (nederst) i hele beregningsområdet.



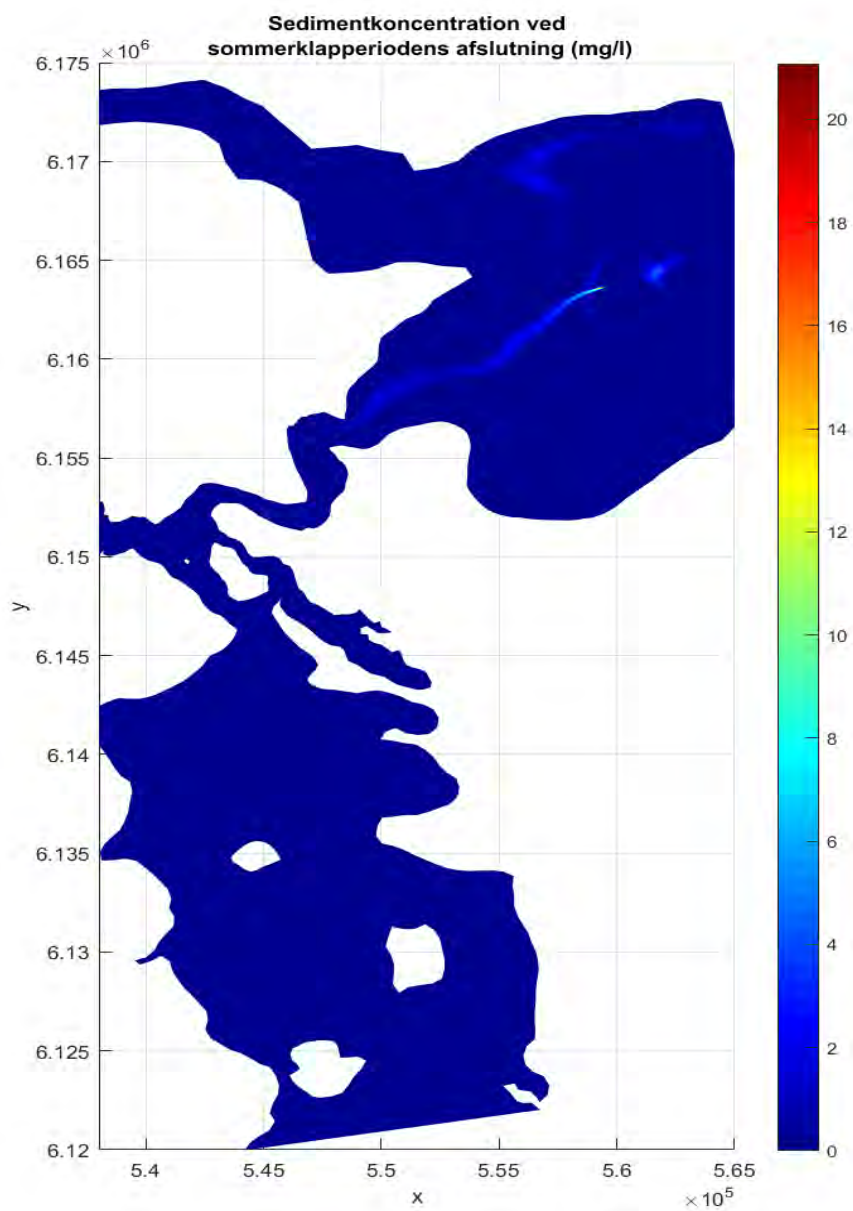


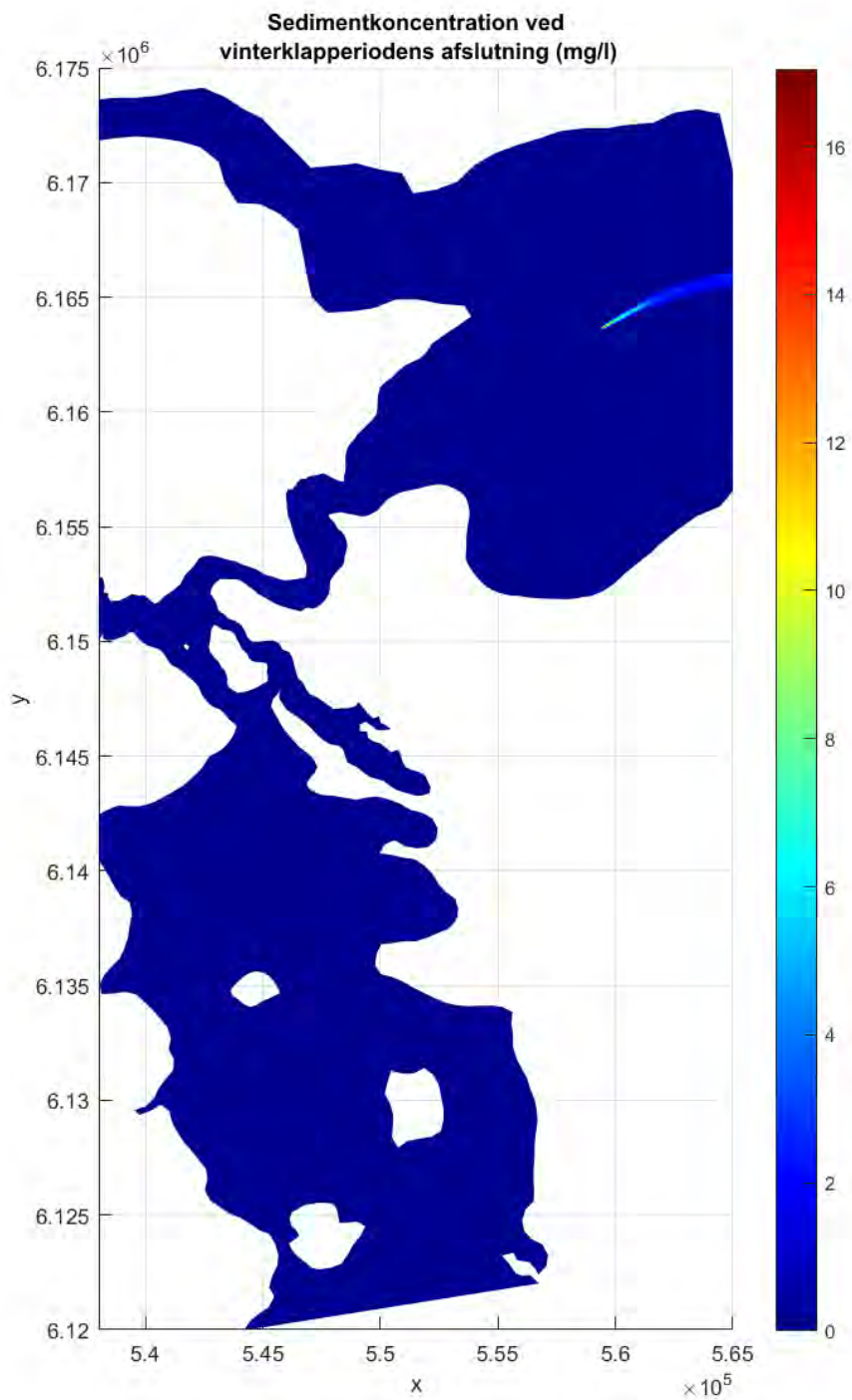
Ed

Figur 7.30: Klappladsen.
Figurerne viser maksimal sedimentkoncentration i sommerberegningsperioden (øverst) og vinterberegningsperioden (nederst) i Lillebæltsområdet.

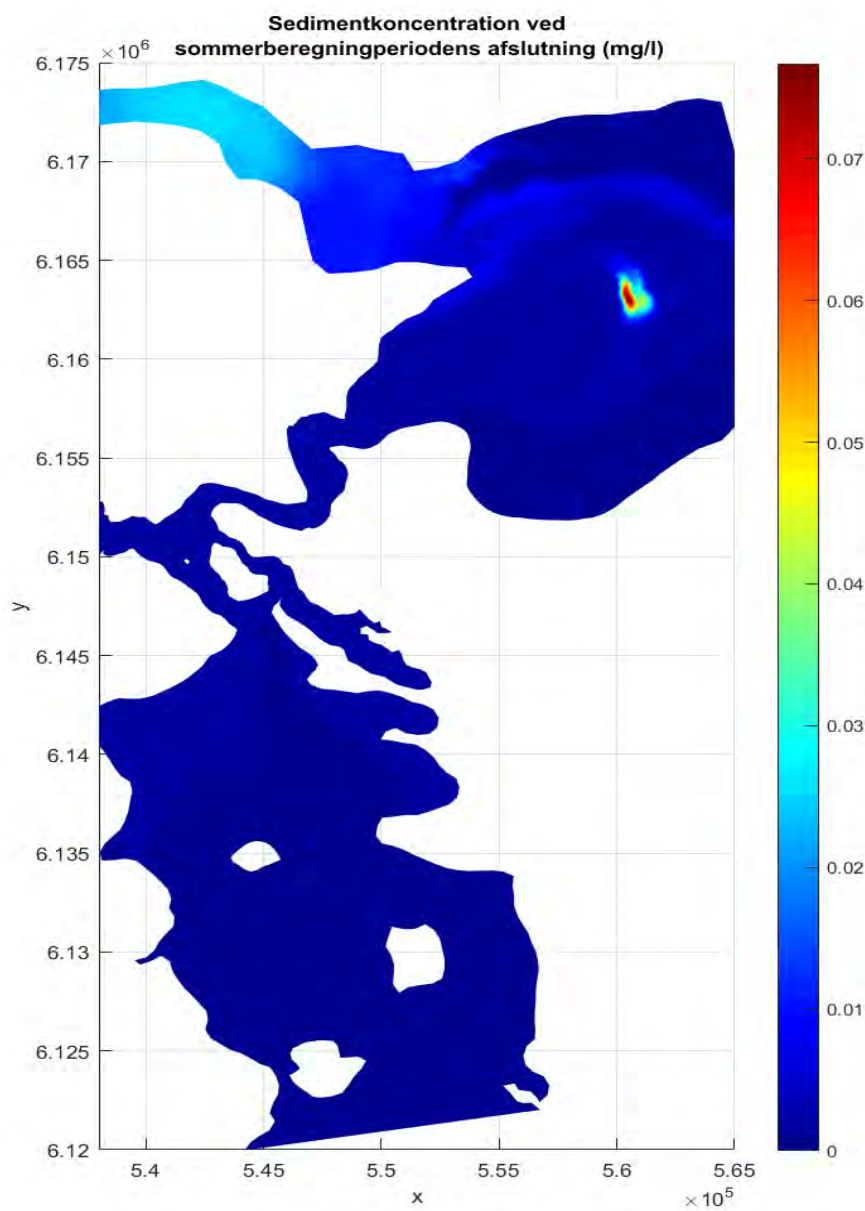


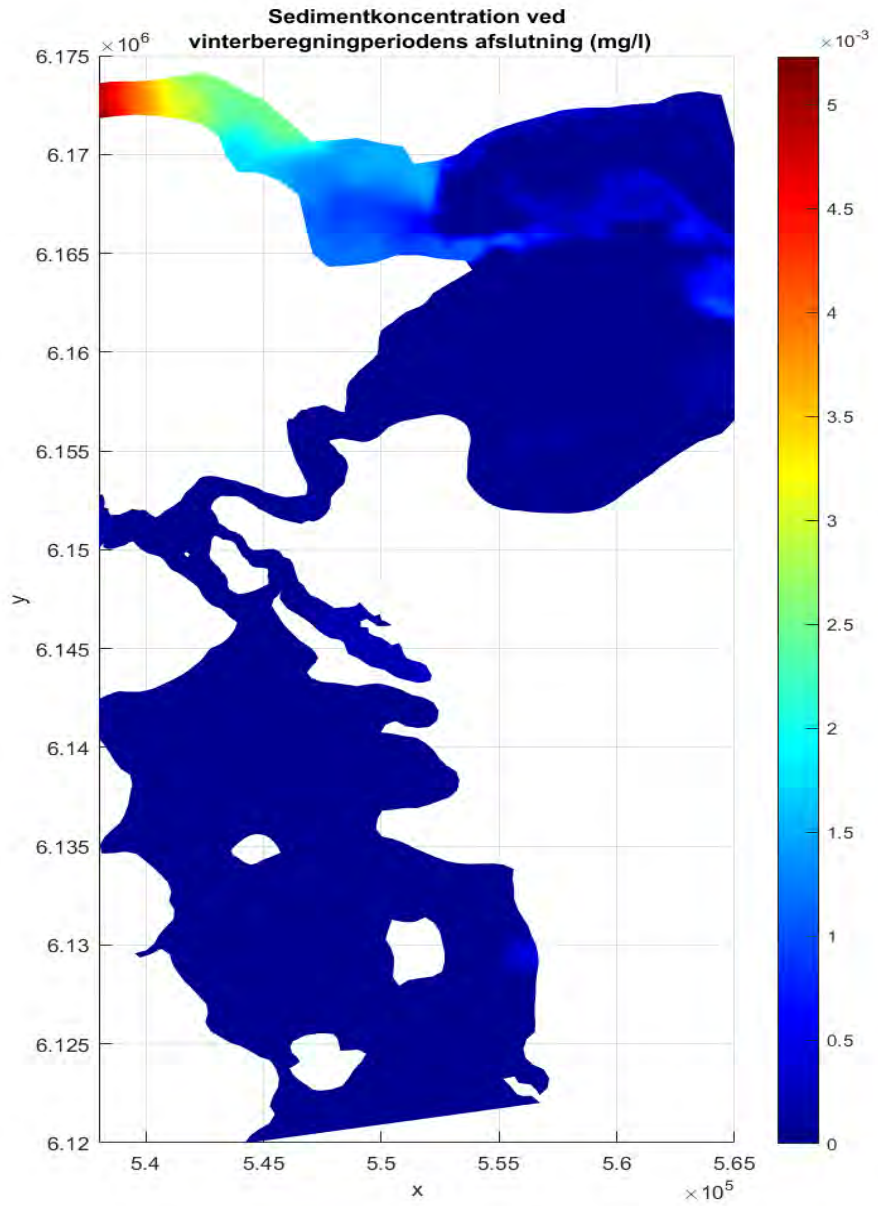
Figur 7.31: Klappladsen.
Figureerne viser
sediment-koncentration
ved
sommerklapperiodens
afslutning (øverst) og
vinterklapperiodens
afslutning (nederst).





Figur 7.32: Klappladsen.
Figureerne viser
sedimentkoncentration
ved sommerberegnings-
periodens afslutning
(øverst) og
vinterberegnings-
periodens afslutning
(nederst).



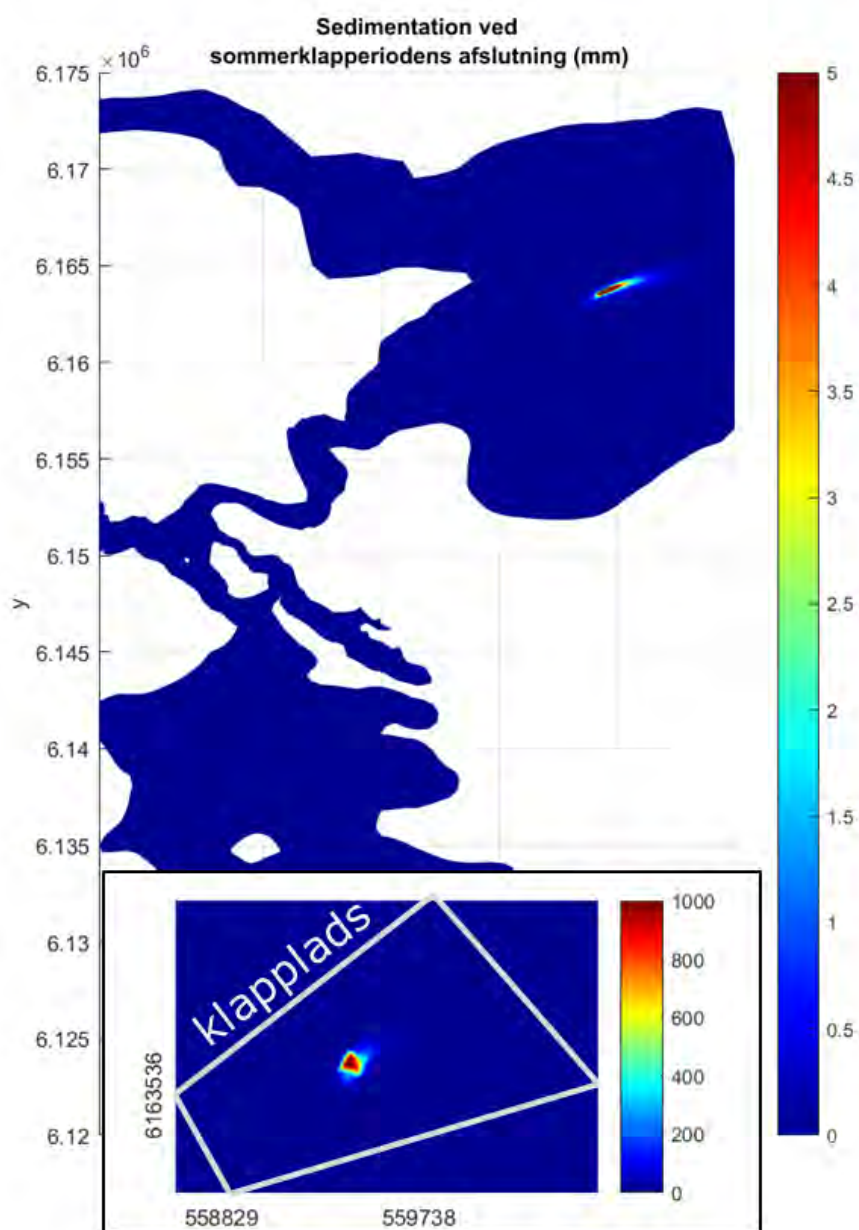


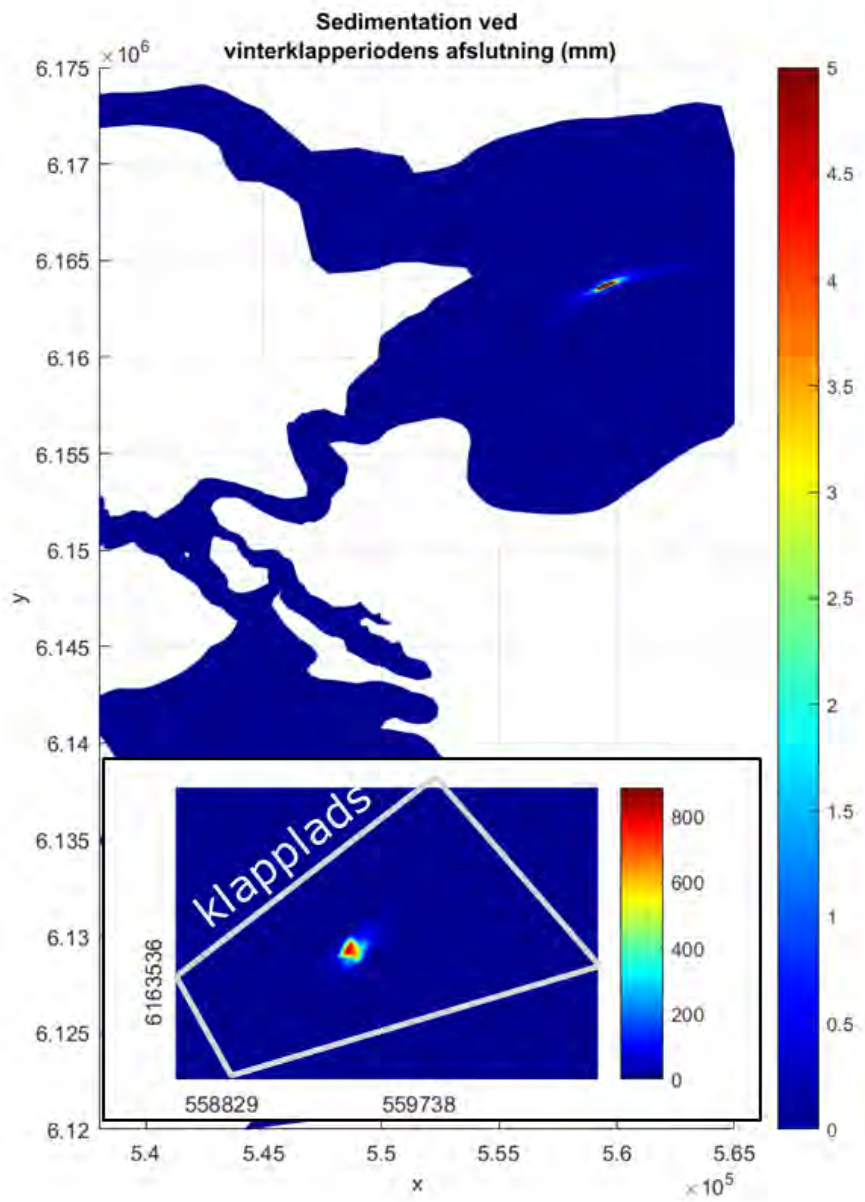
7.2.2 Sedimentation ved klappladsen

Følgende resultater er præsenteret i figurer af hver 2 figurer, der viser sommer (øverst) og vinter (nederst). Materialet sedimenteres generelt omkring klappladsen.

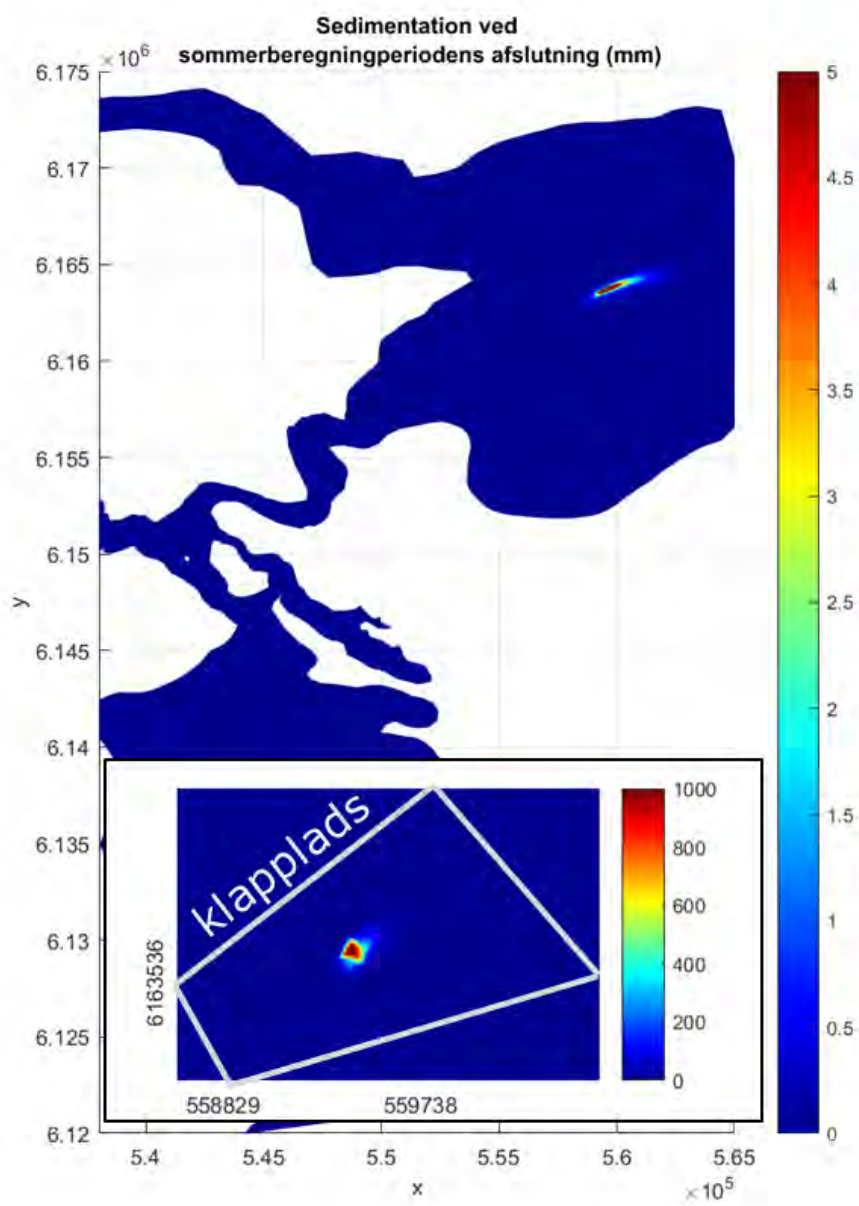
Da uddybningsplanen er ændret efter modelberegningerne er udført, skal tallene i figurerne ændres som angivet i Tabel 5.4 i Afsnit 5.3. Dette medfører, at værdierne på skalaen skal ganges med 1,06. De områder, hvor der er angivet at sedimentationen er 5 mm, er den reelt 5,3 mm.

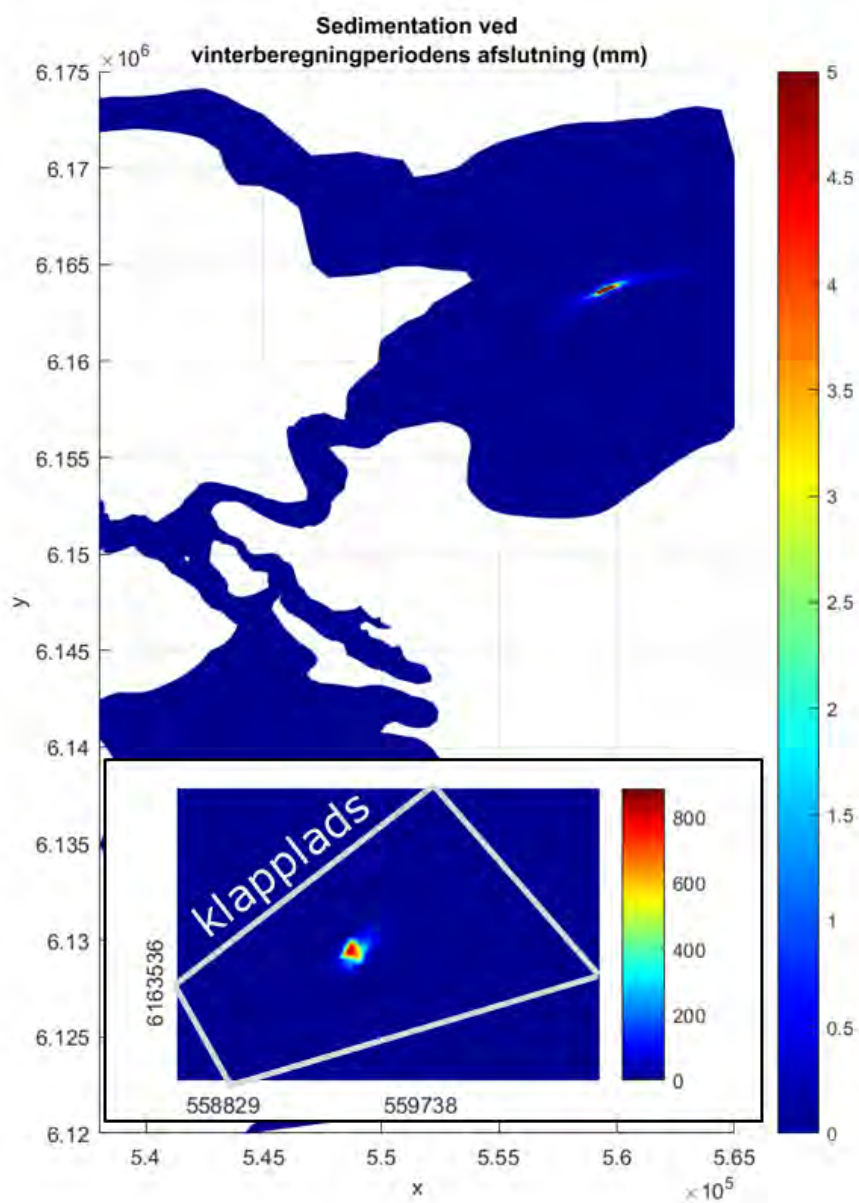
Figur 7.33: Klappladsen.
Figurerne viser sedimentation ved sommerklapperperiodens afslutning (øverst) og vinterklapperperiodens afslutning (nederst).





Figur 7.34: Klappladsen.
Figurerne viser sedimentation ved sommerberegningsperiodens afslutning (øverst) og vinterberegningsperiodens afslutning (nederst).





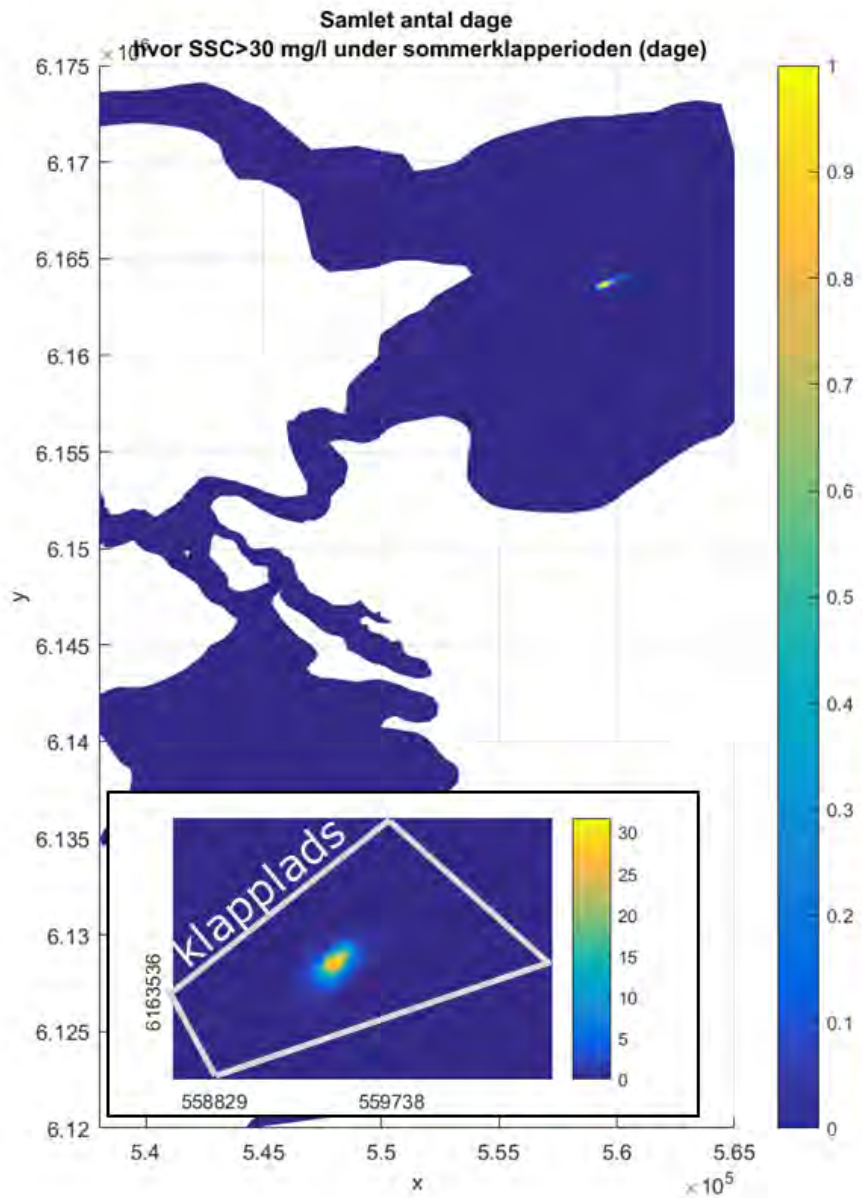
7.2.3 Overskridelse af sedimentkoncentration

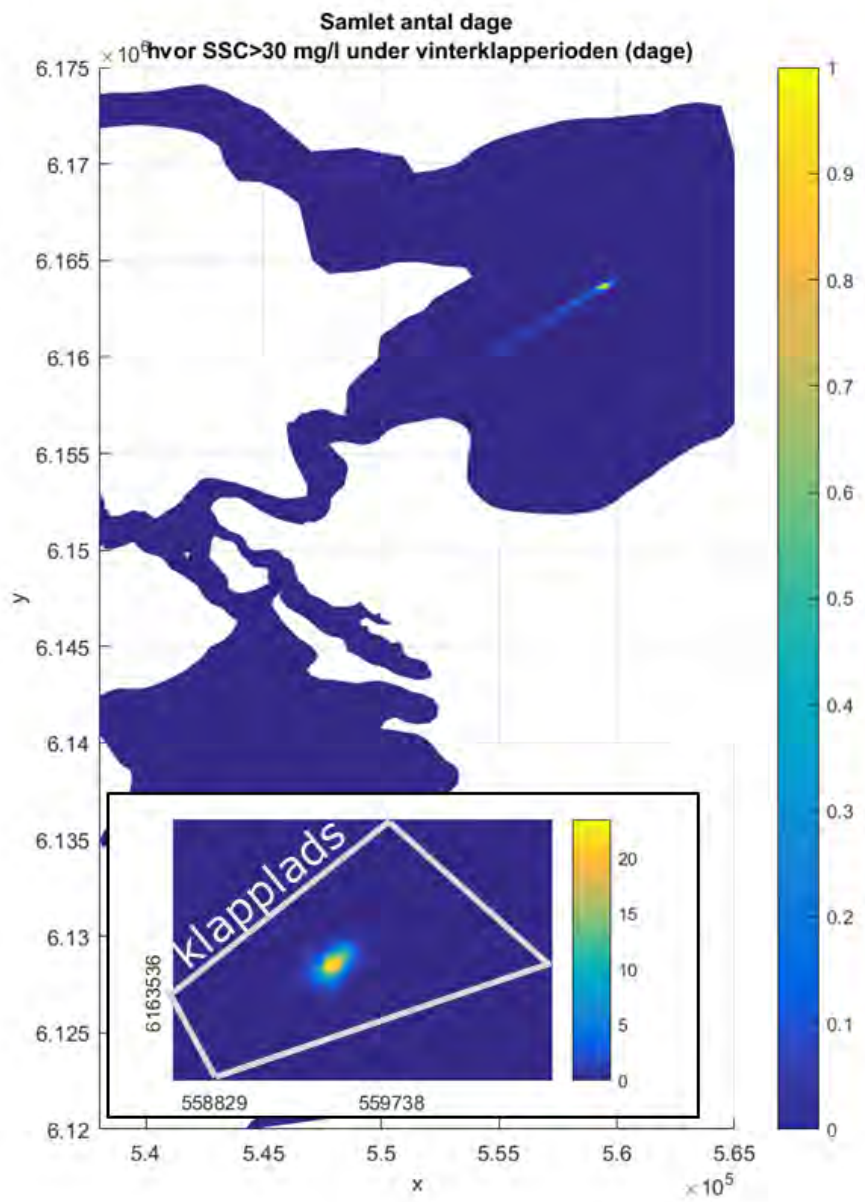
7.2.3.1 Samlet antal dage

Følgende figurer viser samlet antal dage, hvor der overskrides sedimentkoncentrationer af 30, 20, 15, 10, 8 og 2 mg/l om sommeren (øverst) og om vinteren (nederst).

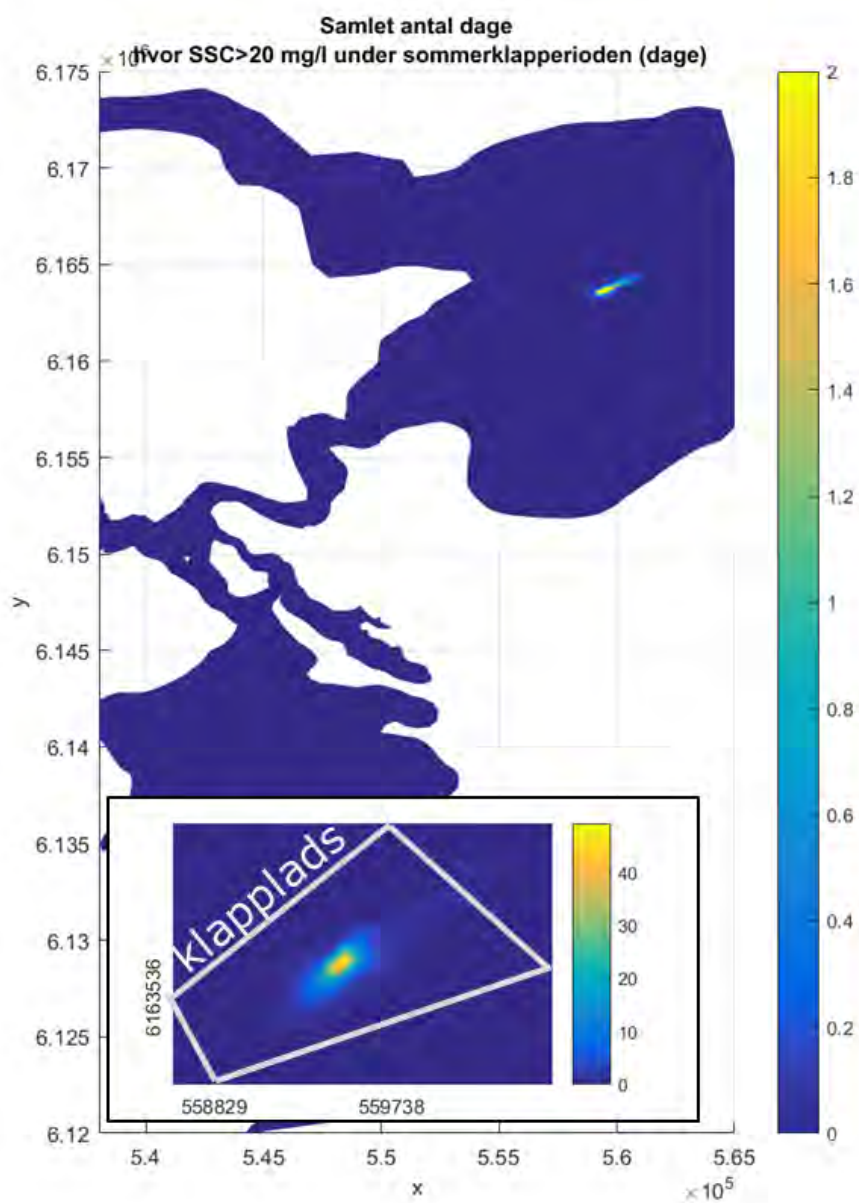
Da uddybningsplanen er ændret efter modelberegningerne er udført, skal tallene i figurerne ændres som angivet i Tabel 5.4 i Afsnit 5.3. Dette medfører, at værdierne på skalaen skal ganges med 1,06. I områder, hvor der er angivet 5 dage med overskridelse, er det reelt 5,3 dage. De områder, hvor der er angivet 30 dage med overskridelse, er det reelt 31,8 dage.

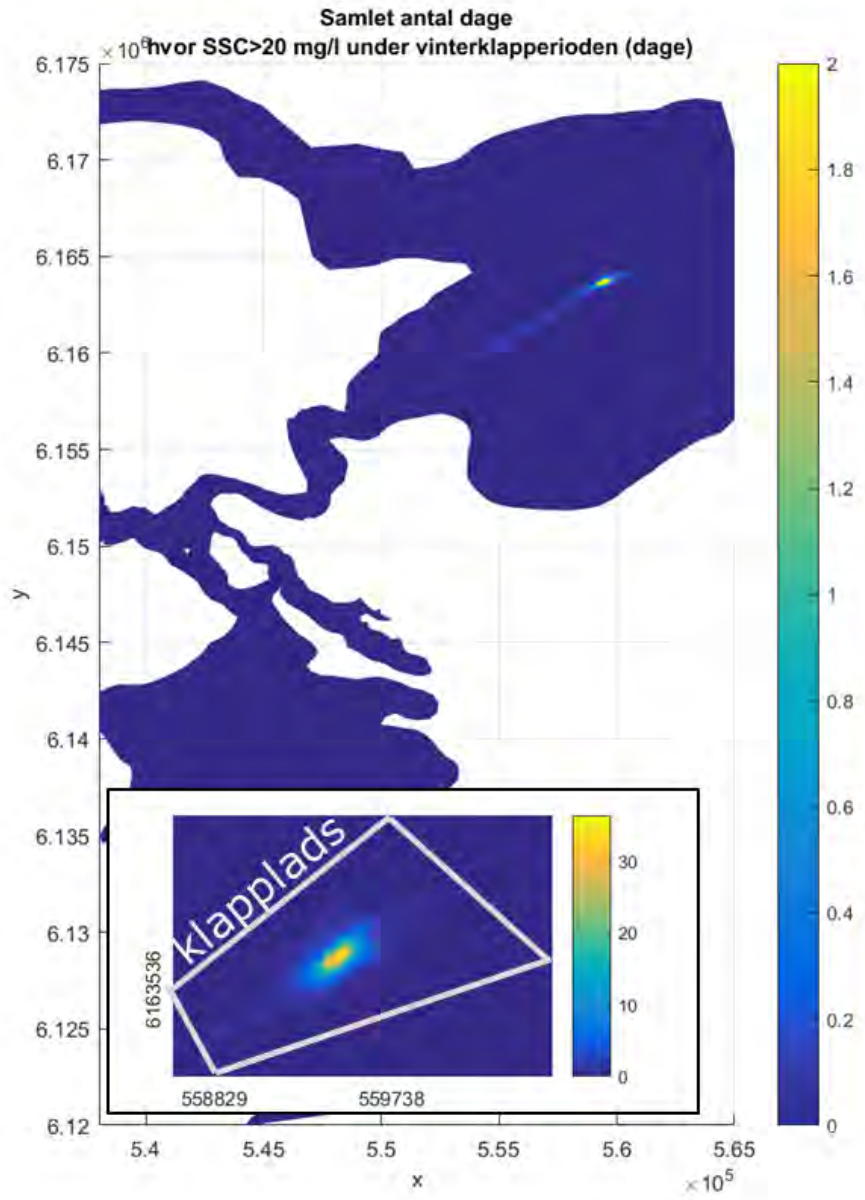
Figur 7.35: Klappladsen. Figurerne viser antal dage, hvor sedimentkoncentrationen (SSC) overstiger 30 mg/l under sommerklapperperioden (øverst) og under vinterklapperperioden (nederst).



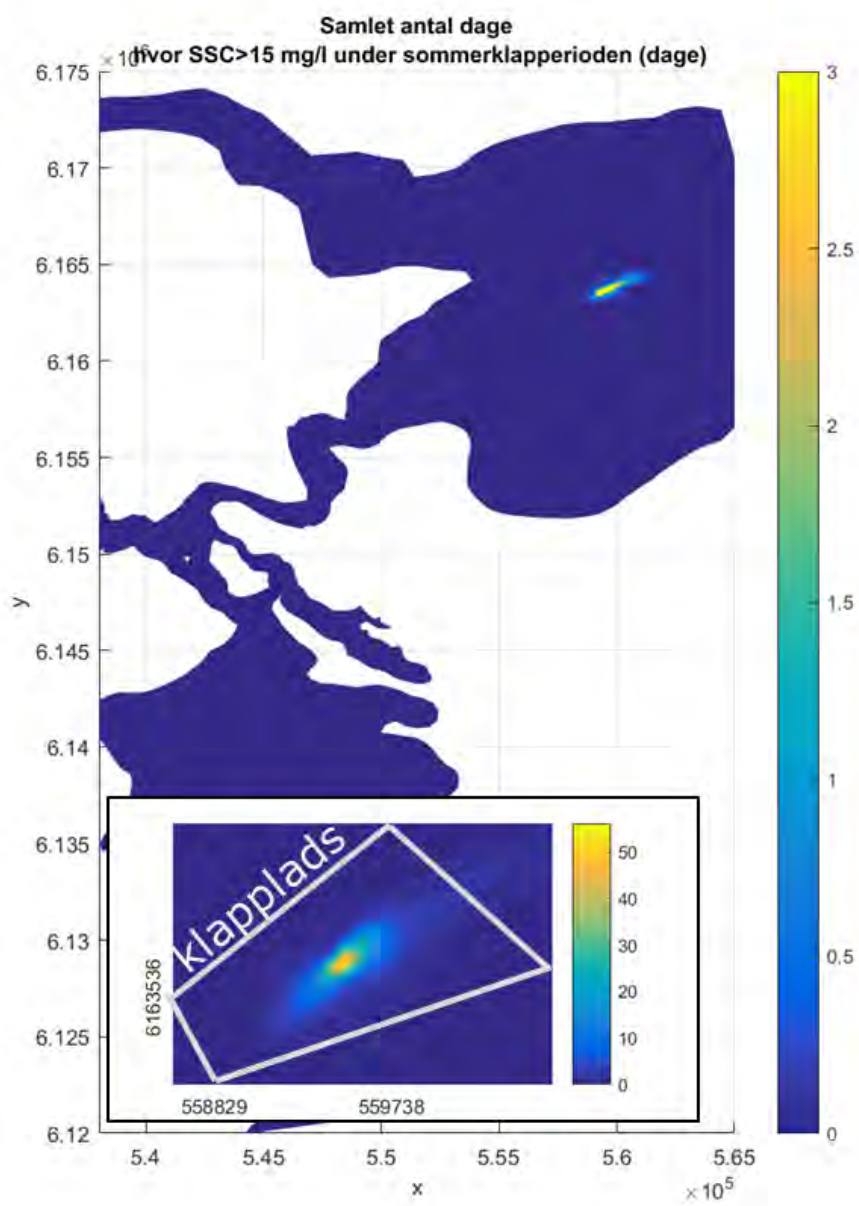


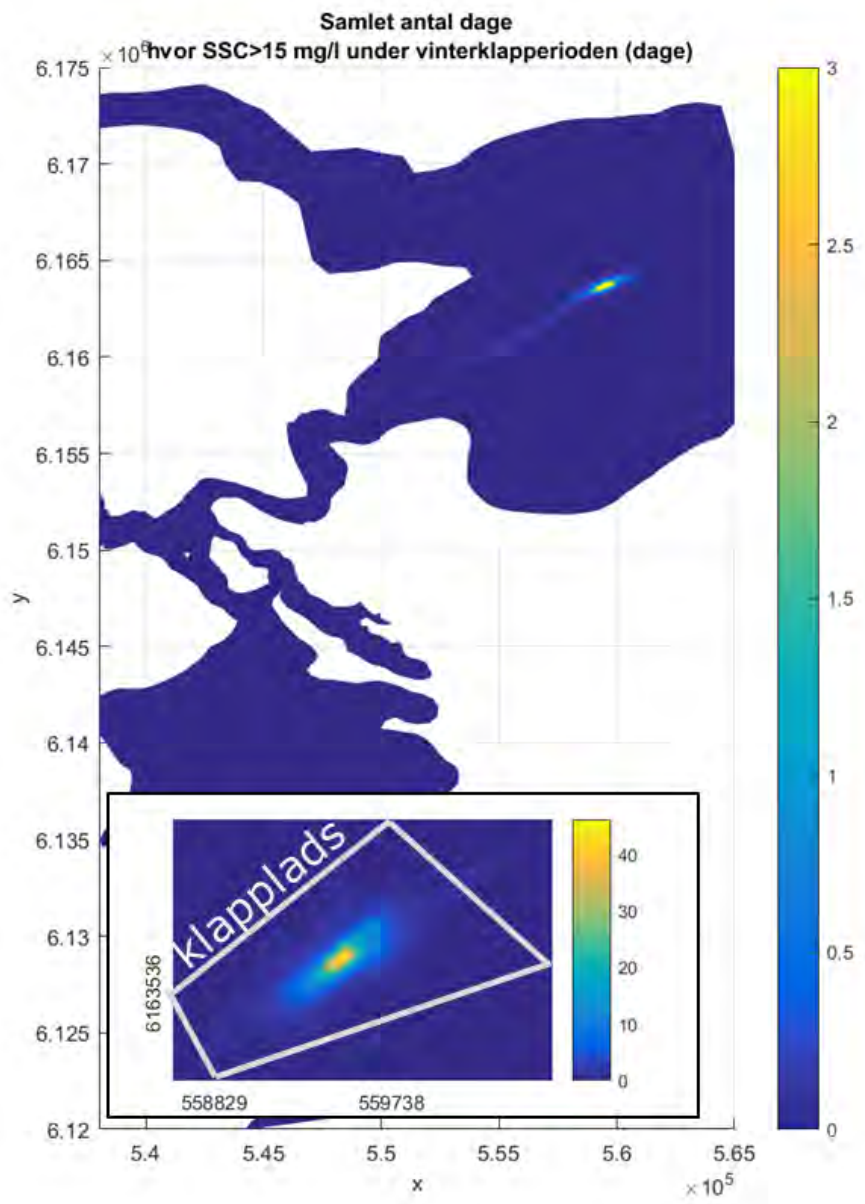
Figur 7.36: Klappladsen.
Figureerne viser antal dage, hvor sedimentkoncentrationen (SSC) overstiger 20 mg/l under sommerklapperperioden (øverst) og under vinterklapperperioden (nederst).



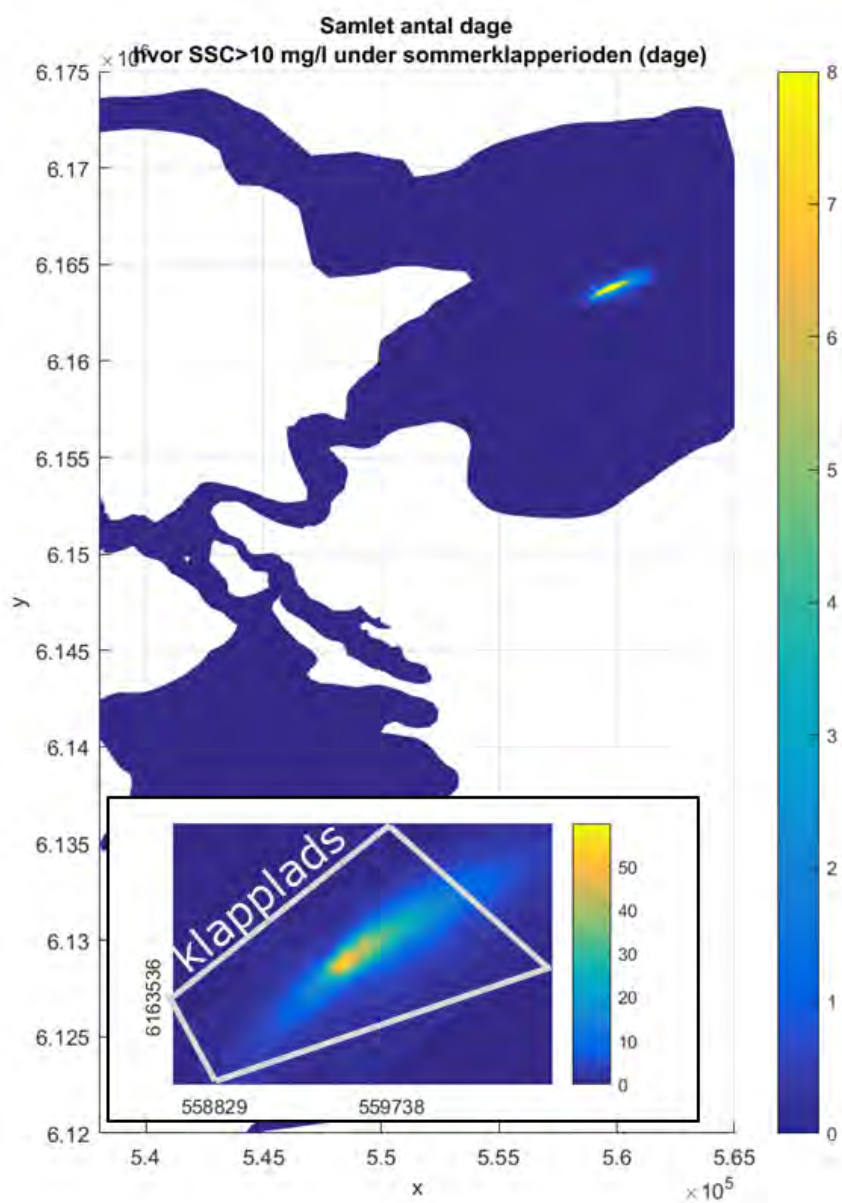


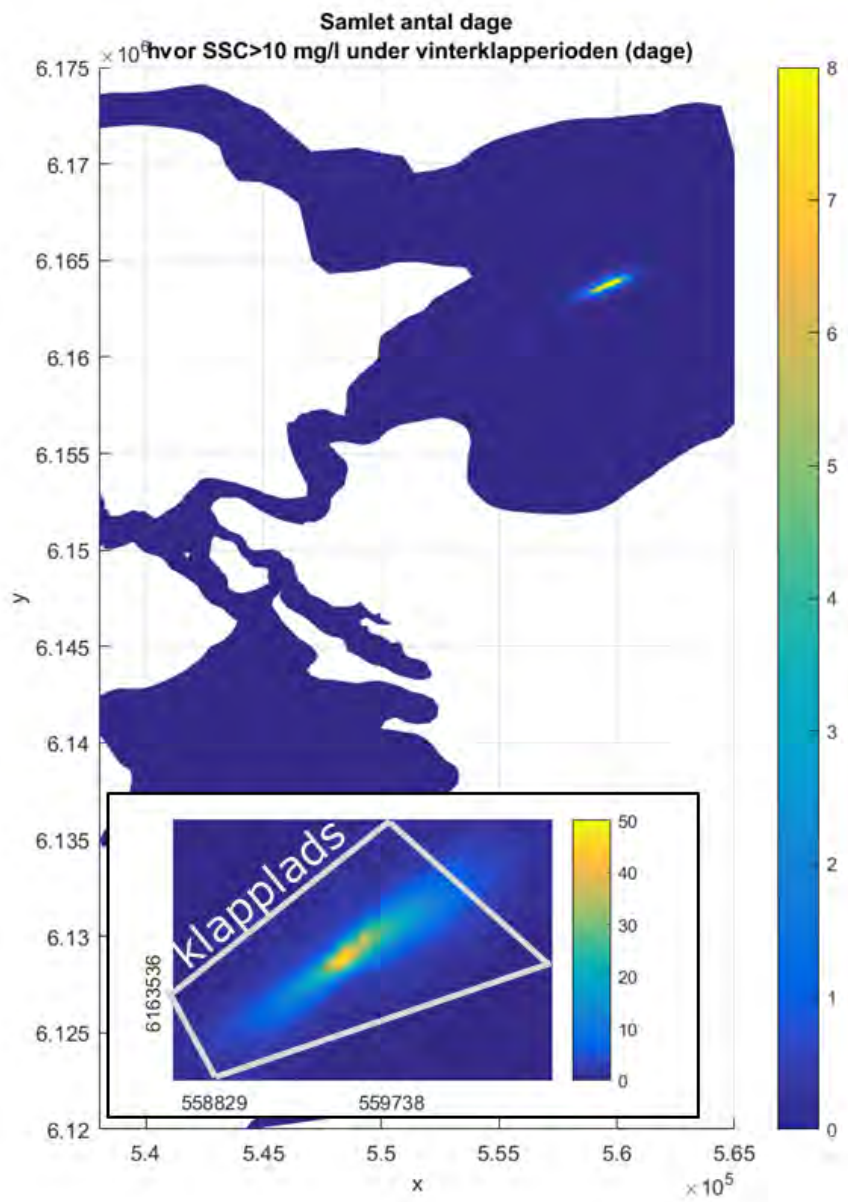
Figur 7.37: Klappladsen.
Figureerne viser antal dage, hvor sedimentkoncentrationen (SSC) overstiger 15 mg/l under sommerklapperperioden (øverst) og under vinterklapperperioden (nederst).



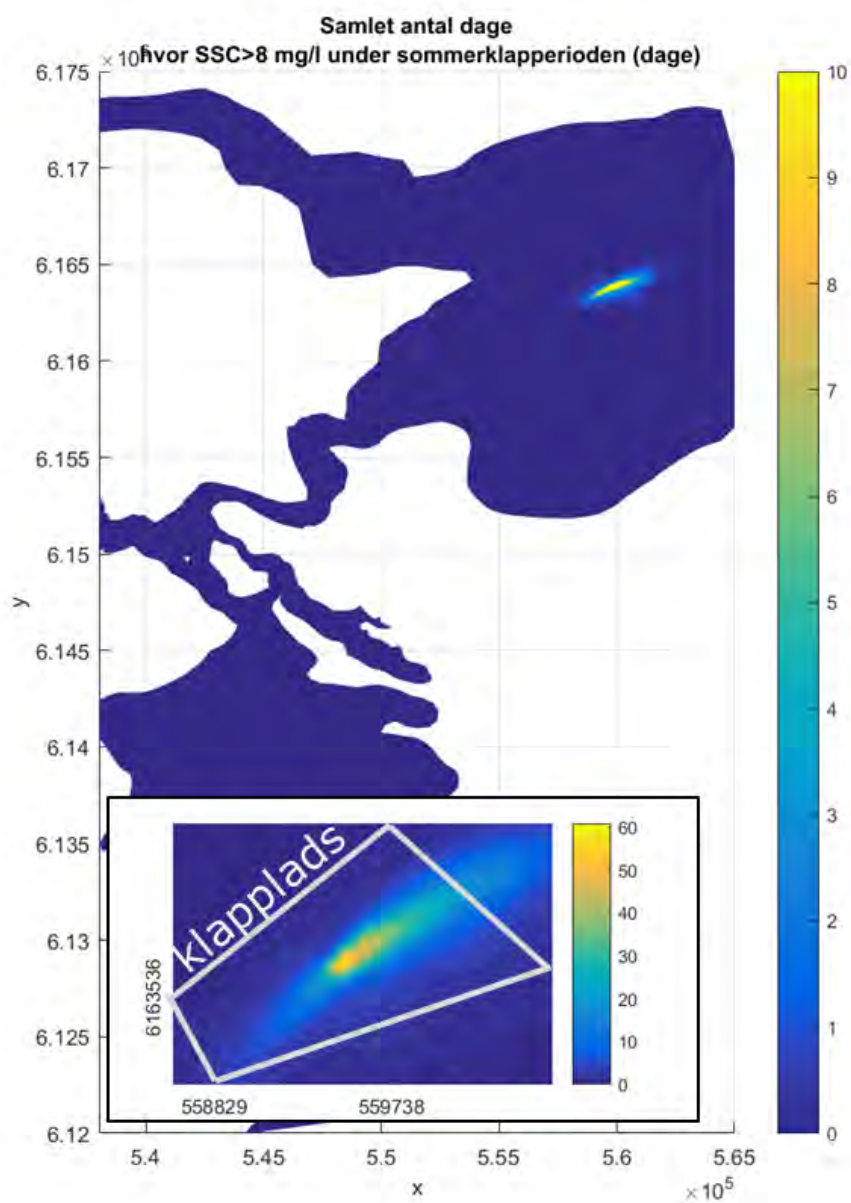


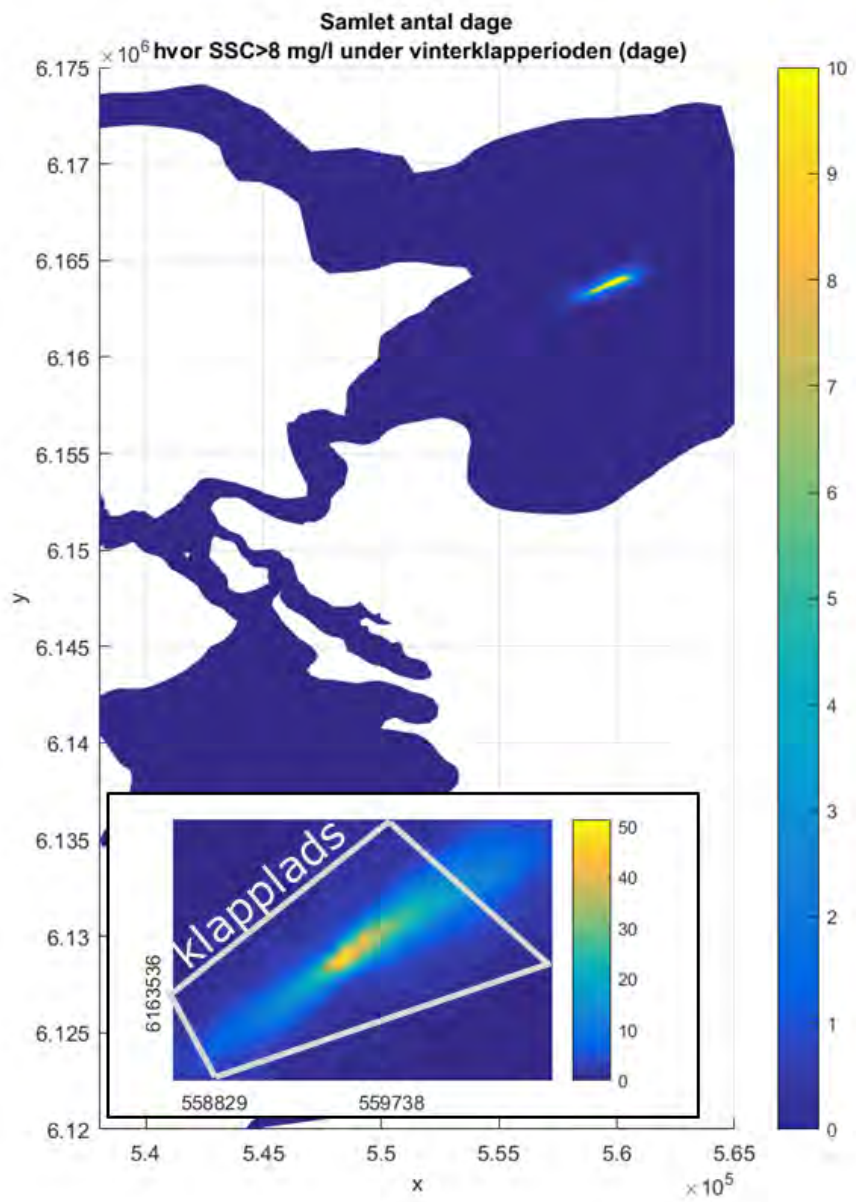
Figur 7.38: Klappladsen.
Figureerne viser antal dage, hvor sedimentkoncentrationen (SSC) overstiger 10 mg/l under sommerklapperperioden (øverst) og under vinterklapperperioden (nederst).



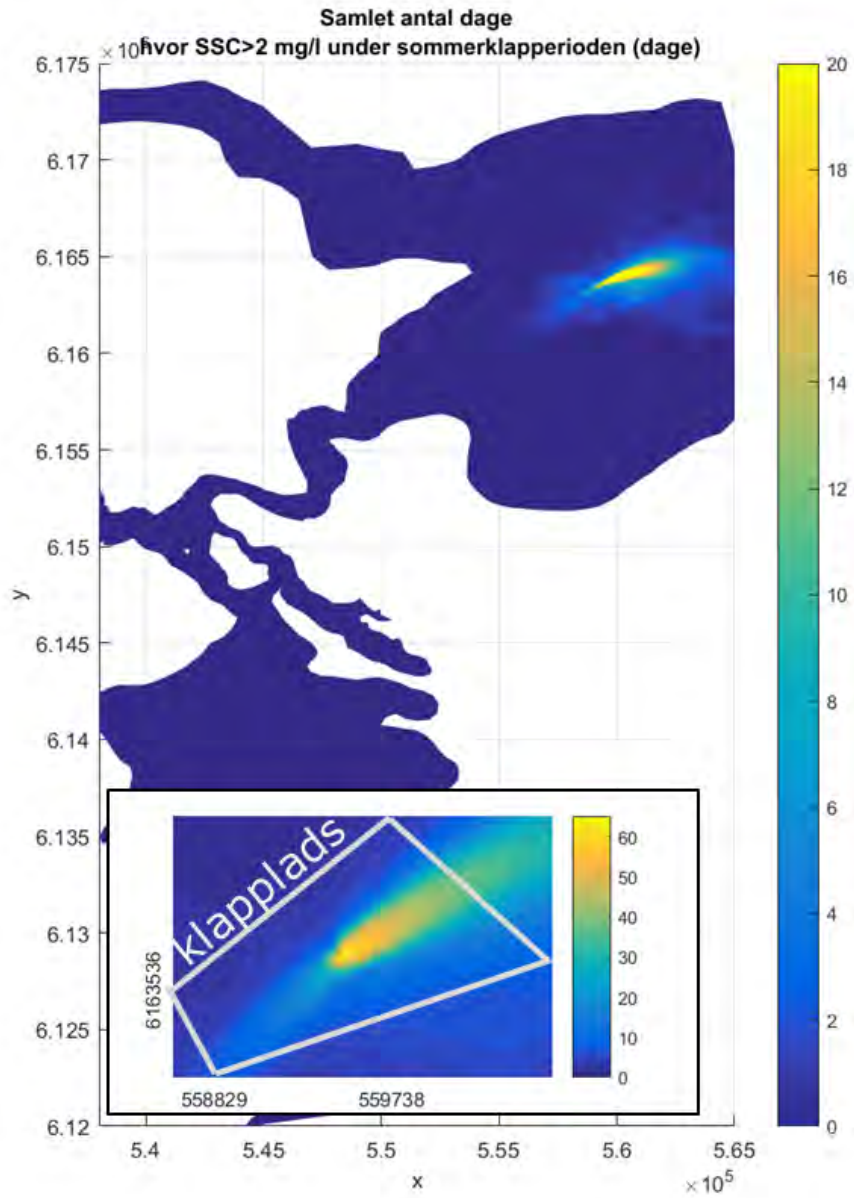


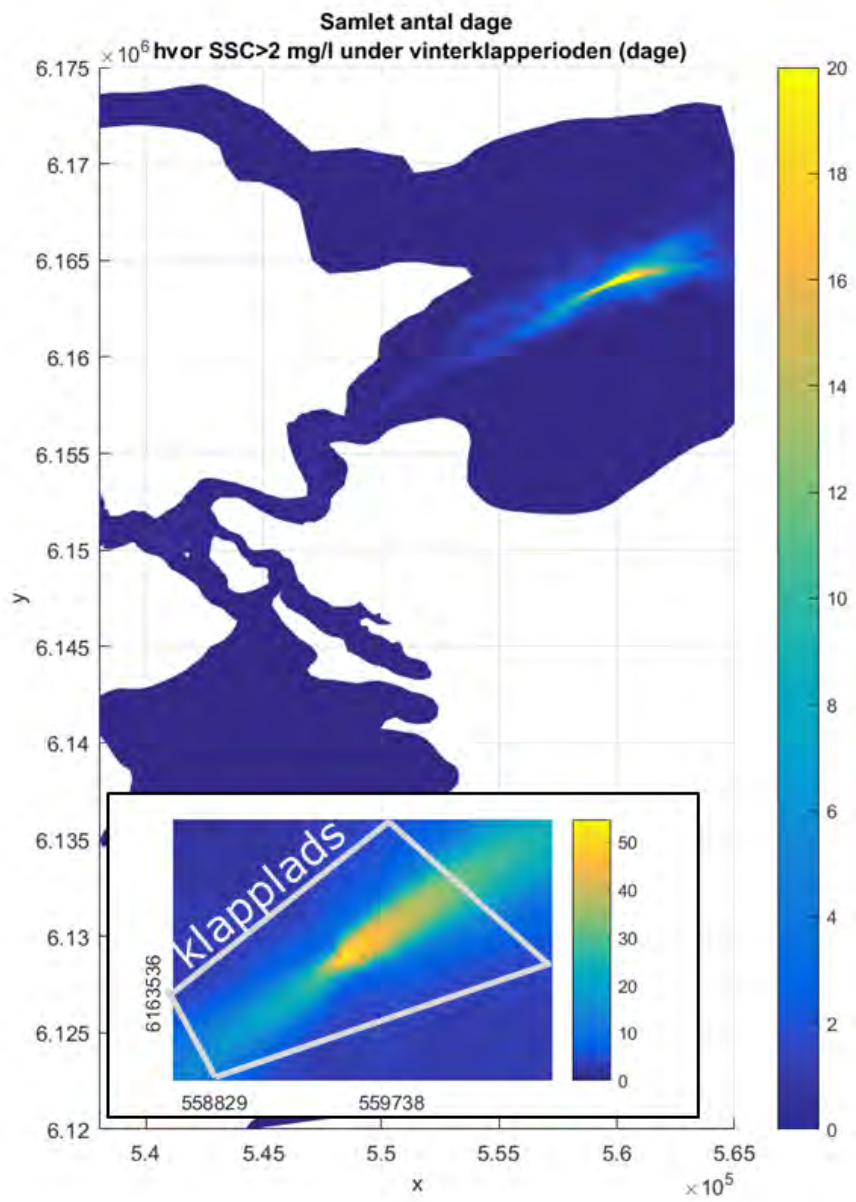
Figur 7.39: Klappladsen.
Figureerne viser antal dage, hvor sedimentkoncentrationen (SSC) overstiger 8 mg/l under sommerklapperperioden (øverst) og under vinterklapperperioden (nederst).



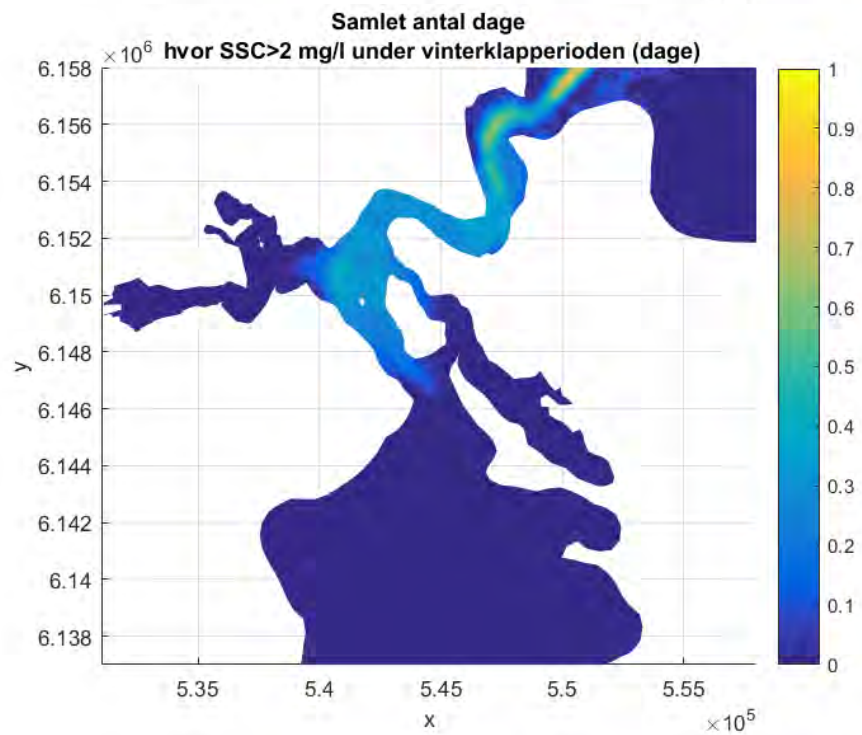
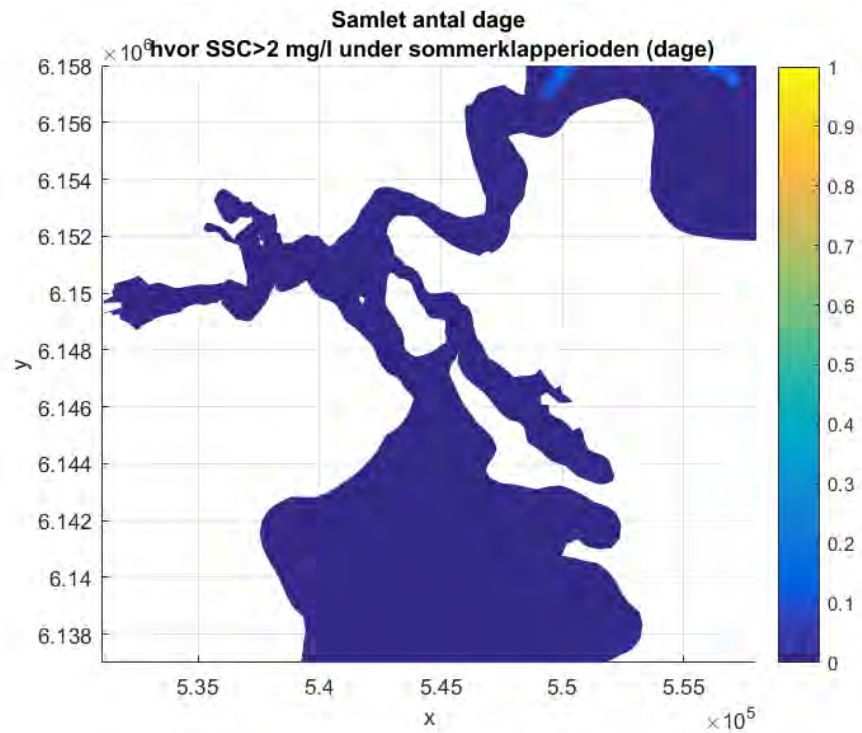


Figur 7.40: Klappladsen.
Figurene viser antal dage, hvor sedimentkoncentrationen (SSC) overstiger 2 mg/l under sommerklapperperioden (øverst) og under vinterklapperperioden (nederst).





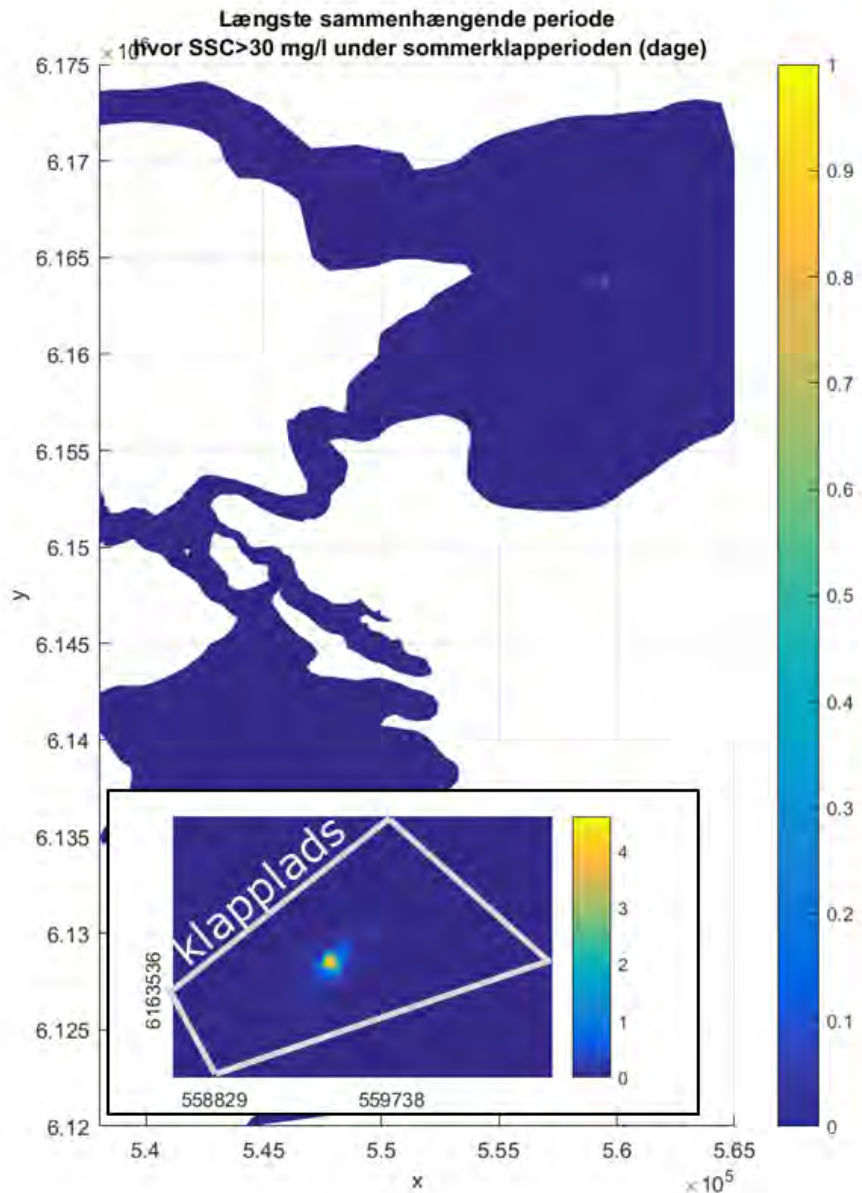
Figur 7.41: Klappladsen. Figurerne viser længste sammenhængende periode i dage, hvor sedimentkoncentrationen (SSC) overstiger 2 mg/l under sommerklapperperioden (øverst) og under vinterklapperperioden (nederst) i Lillebælt.

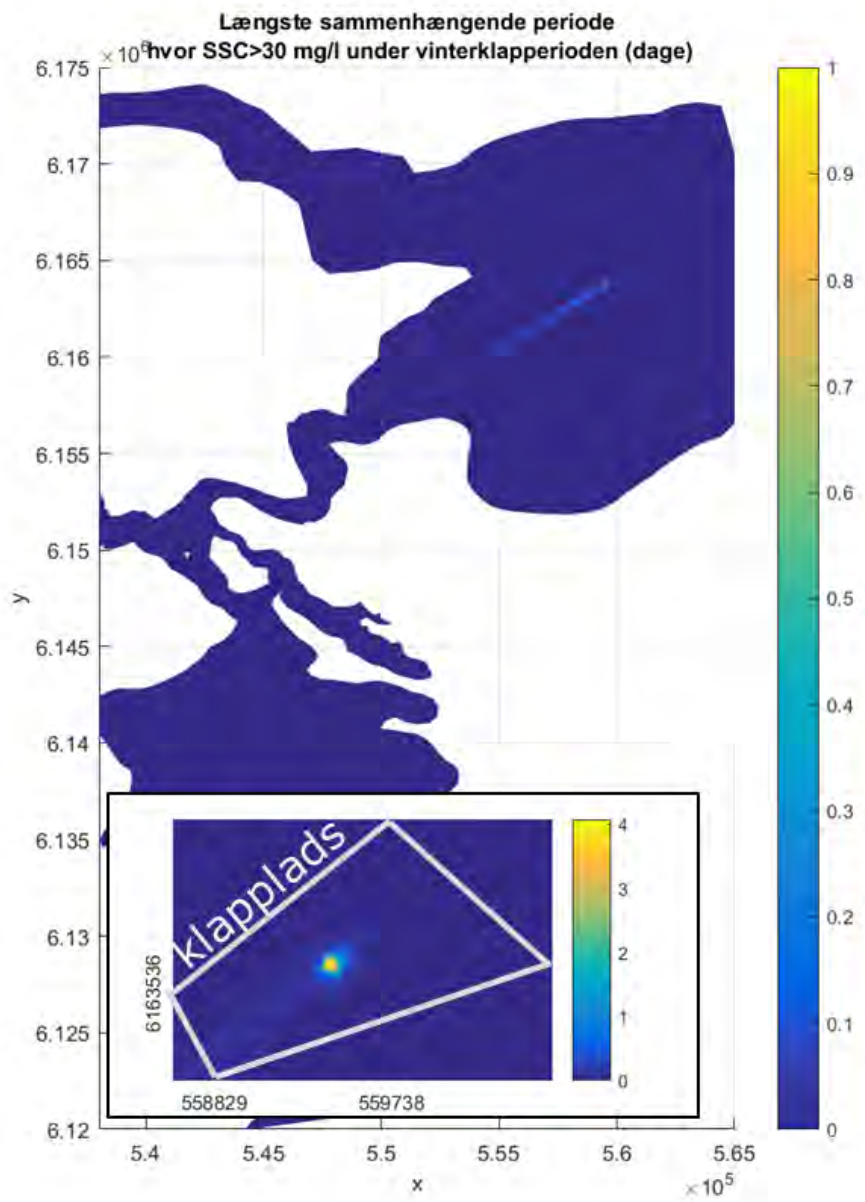


7.2.3.2 Længste sammenhængende periode

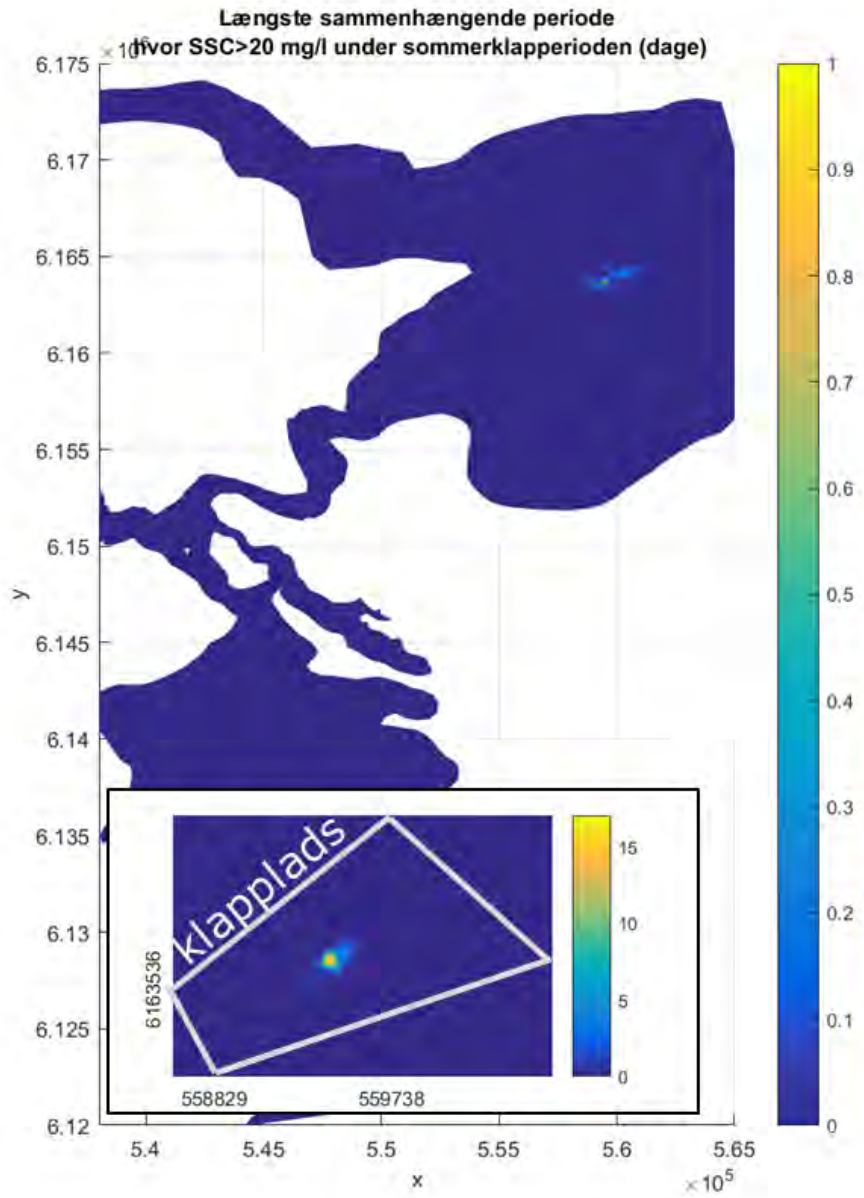
Til sidst vises længste sammenhængende periode i dage, hvor der overskrides samme udvalgte koncentrationer om sommeren (øverst) og om vinteren (nederst). Der er stor overensstemmelse mellem spredning om sommeren og vinteren.

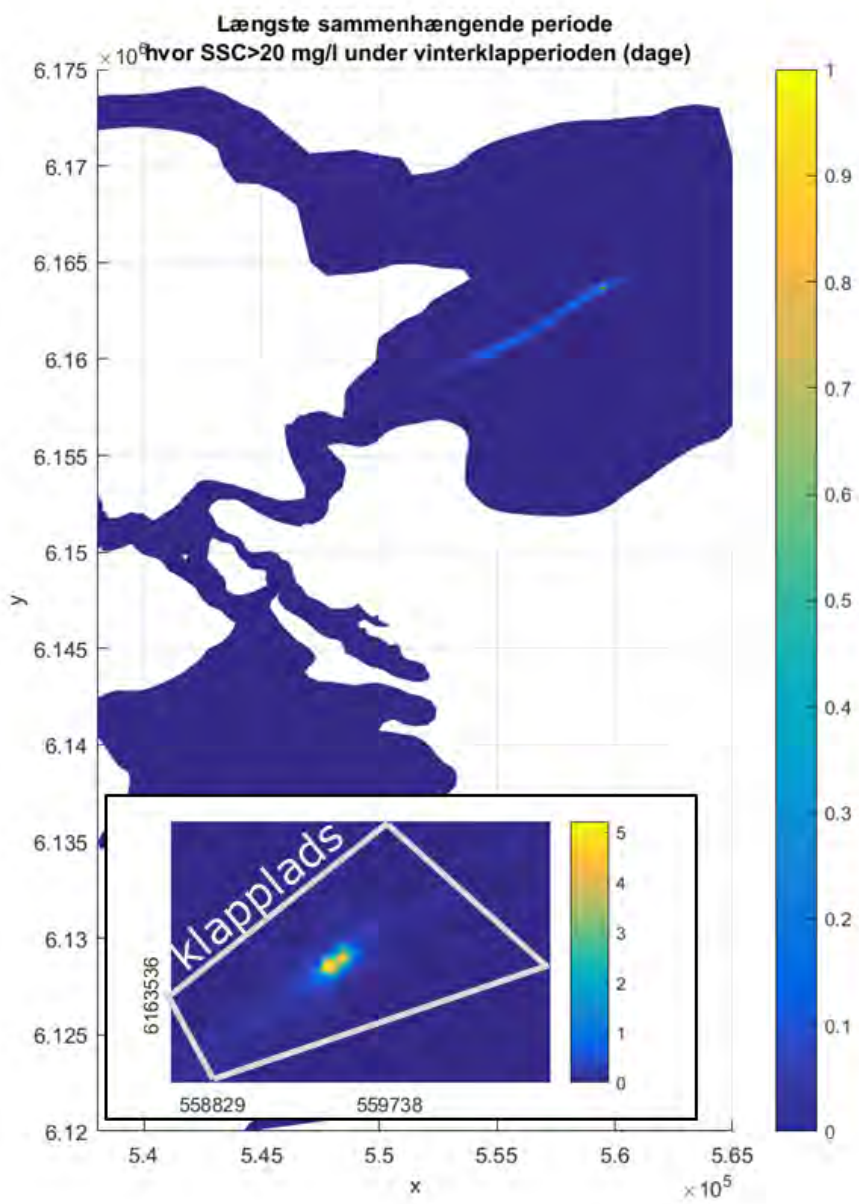
Figur 7.42: Klappladsen. Figurerne viser længste sammenhængende periode i dage, hvor sedimentkoncentrationen (SSC) overstiger 30 mg/l under sommerklapperperioden (øverst) og under vinterklapperperioden (nederst).



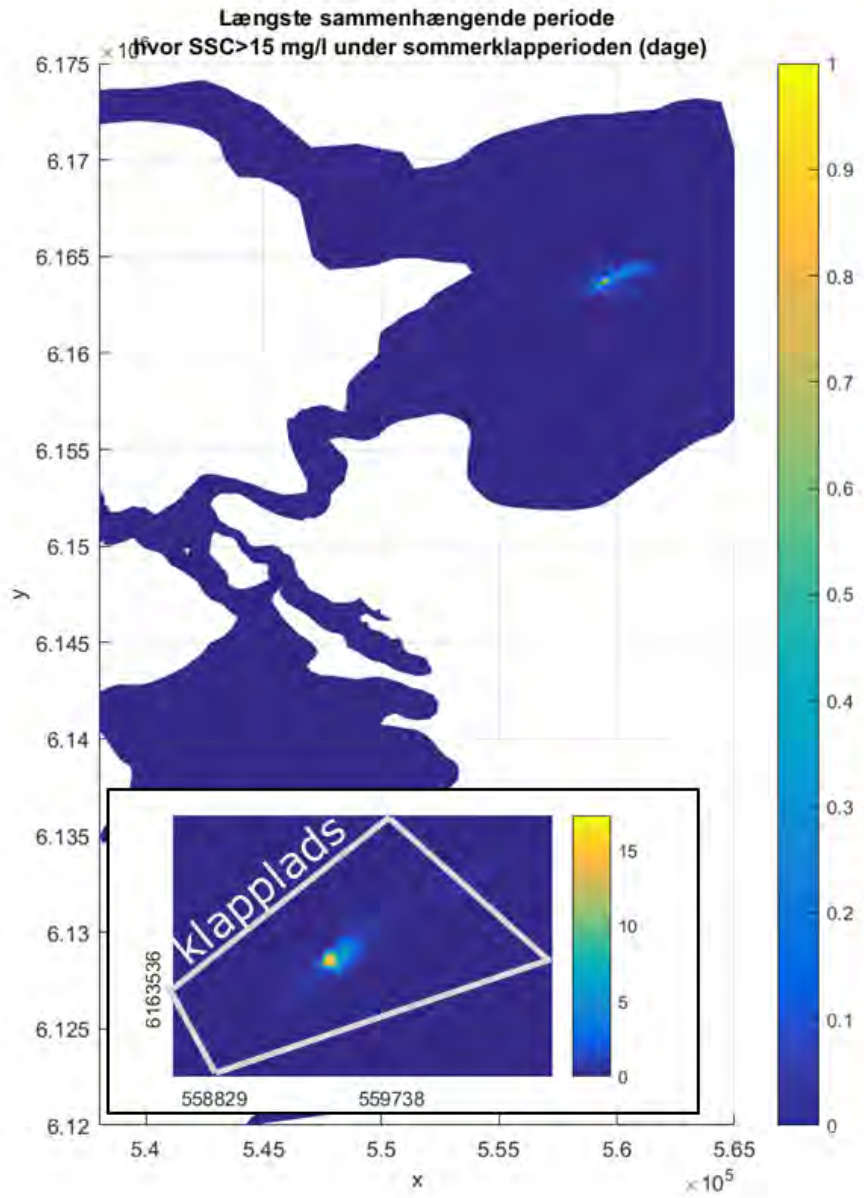


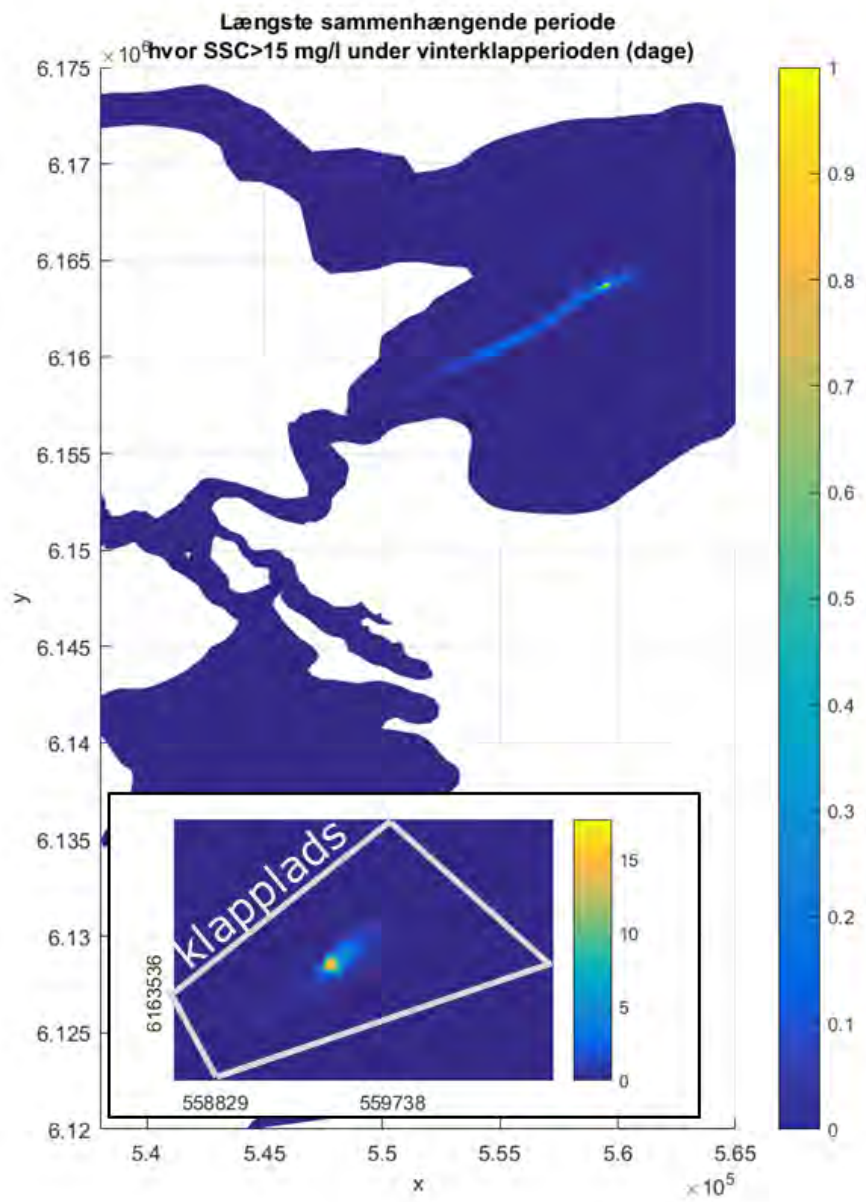
Figur 7.43: Klappladsen. Figurerne viser længste sammenhængende periode i dage, hvor sedimentkoncentrationen (SSC) overstiger 20 mg/l under sommerklapperperioden (øverst) og under vinterklapperperioden (nederst).



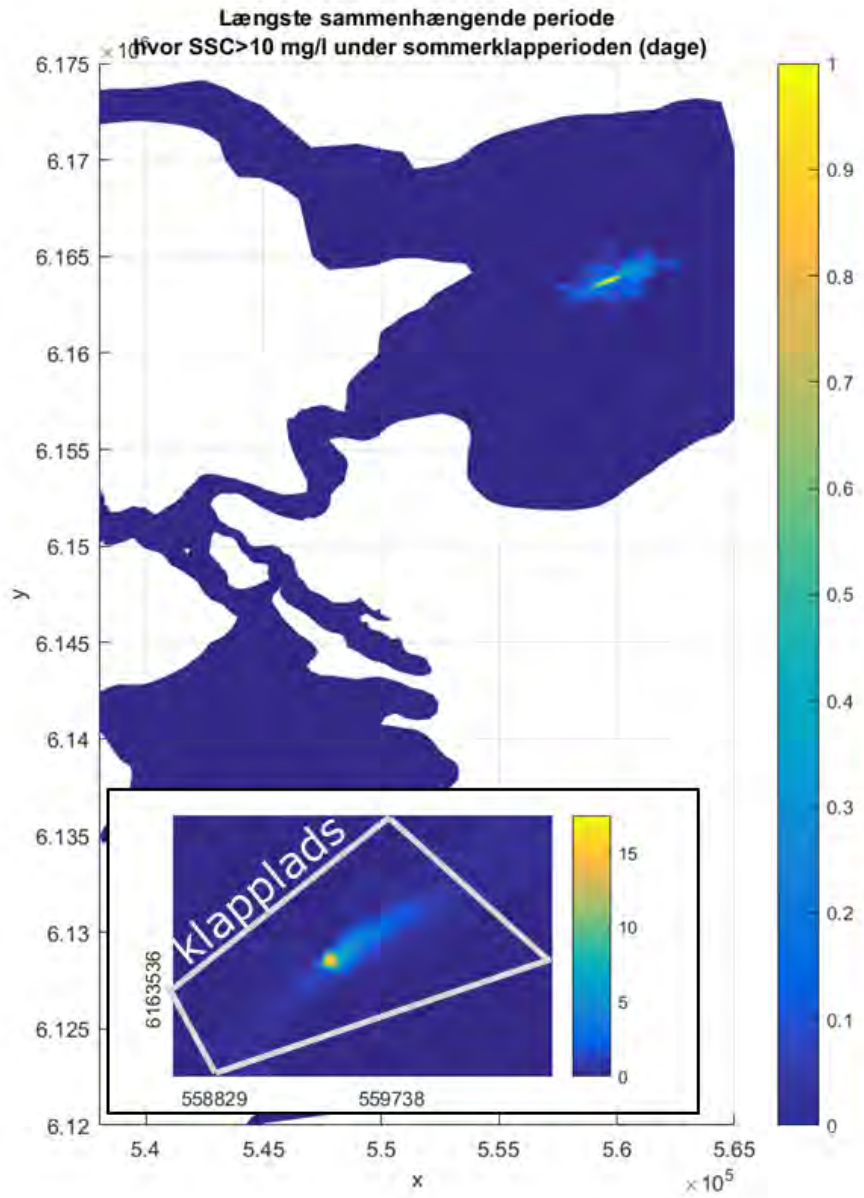


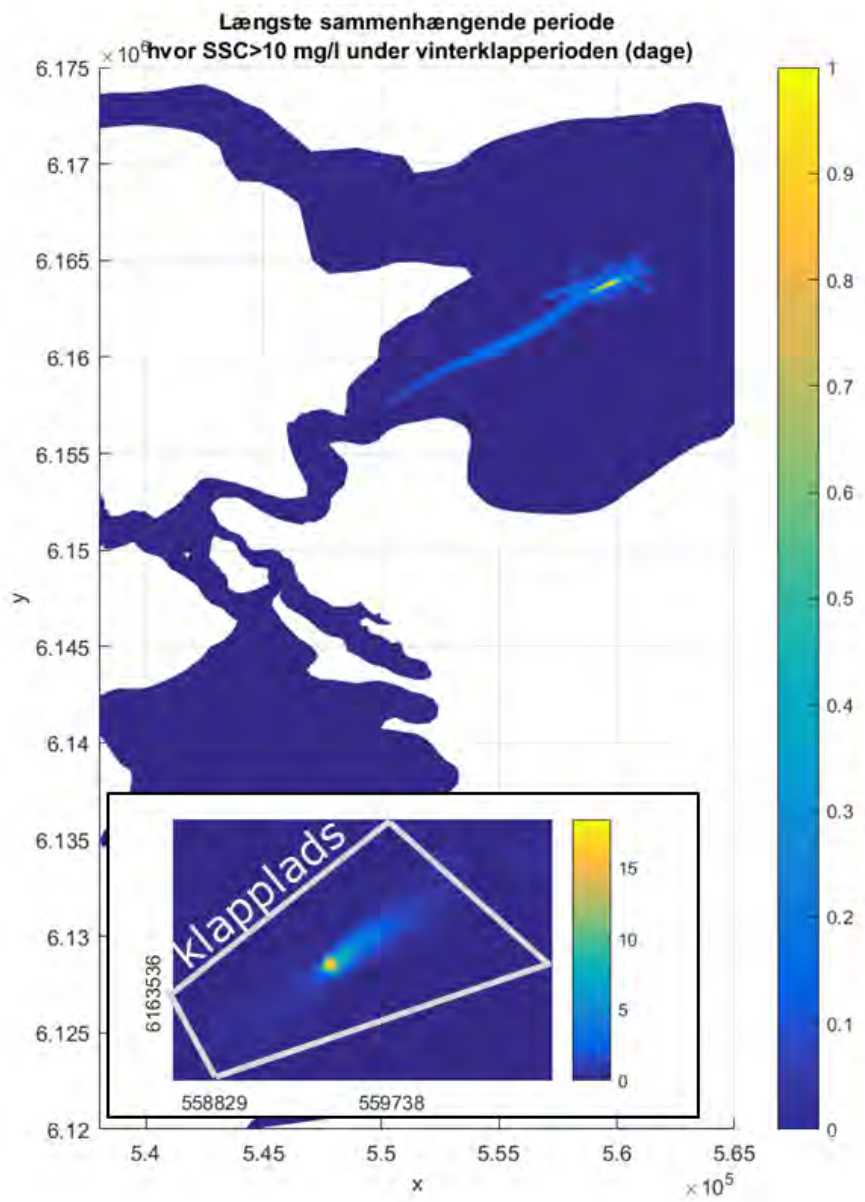
Figur 7.44: Klappladsen.
Figurene viser længste sammenhængende periode i dage, hvor sedimentkoncentrationen (SSC) overstiger 15 mg/l under sommerklapperperioden (øverst) og under vinterklapperperioden (nederst).



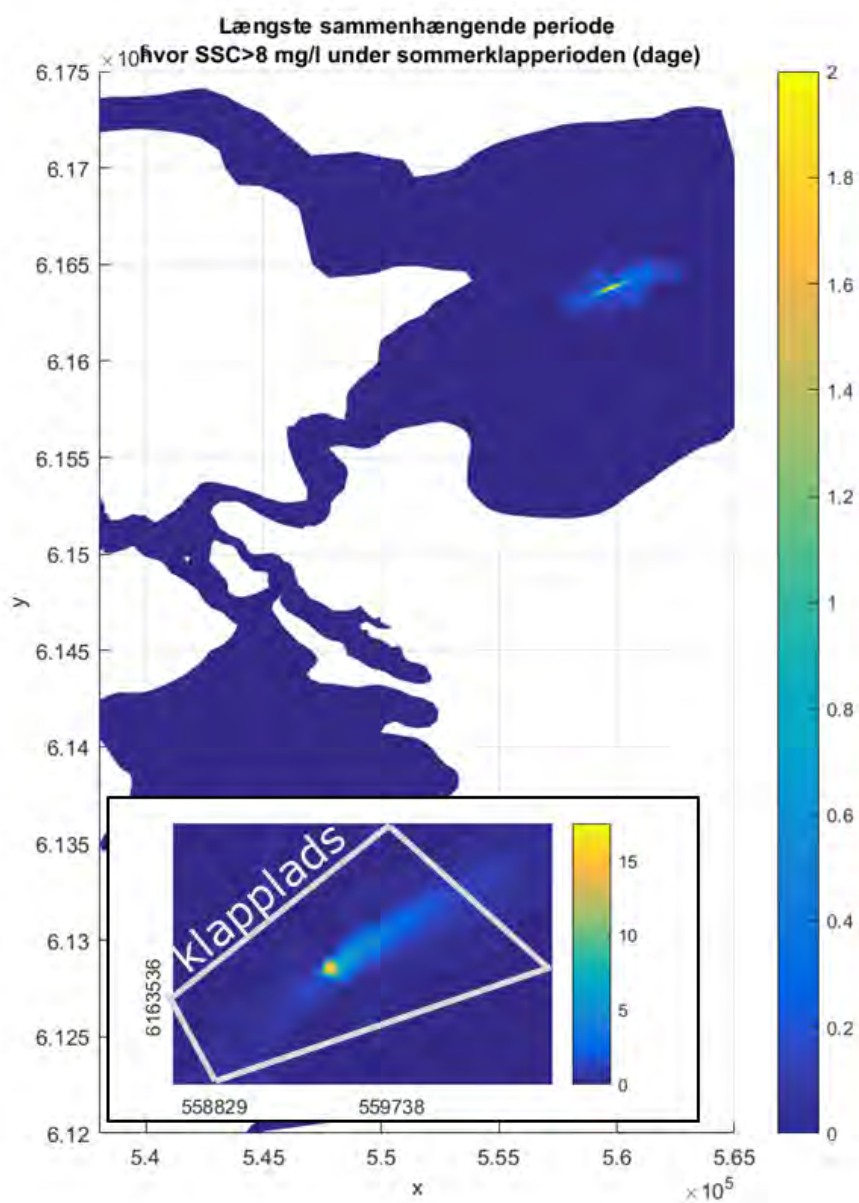


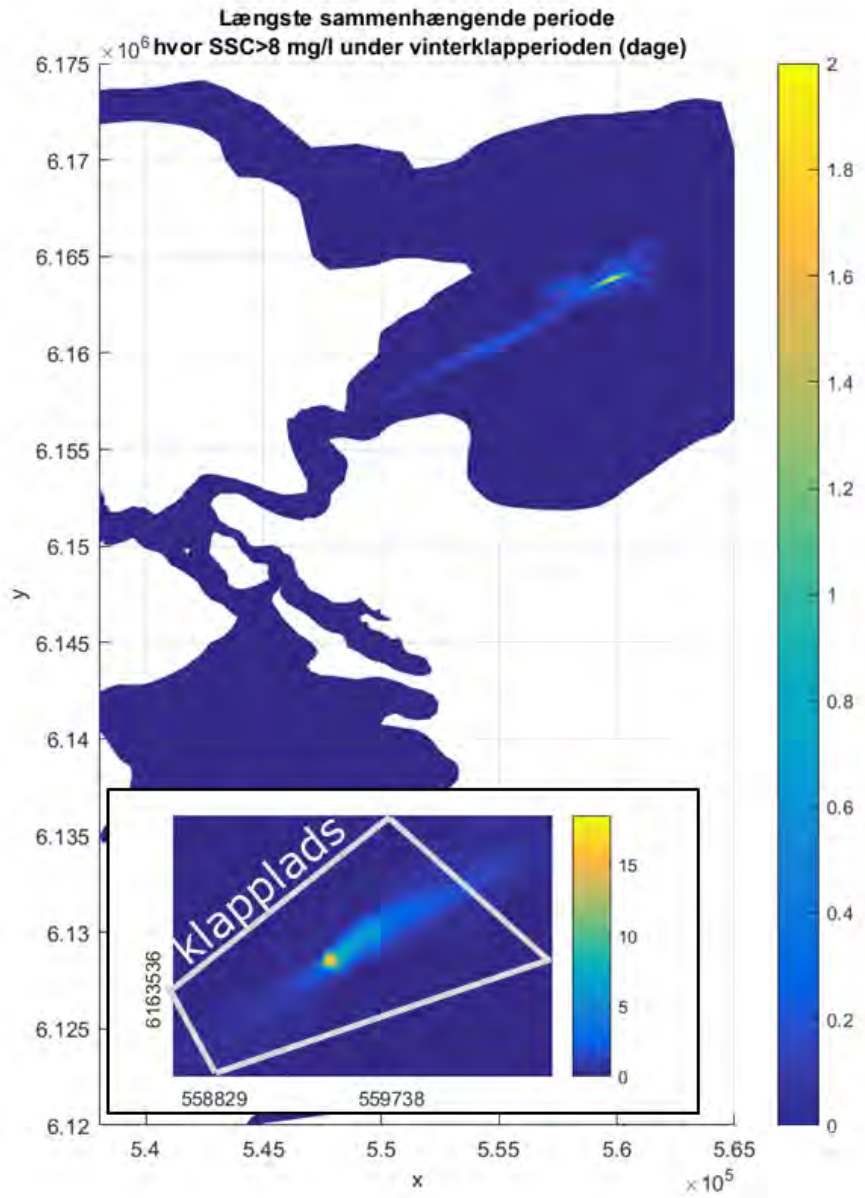
Figur 7.45: Klappladsen. Figurerne viser længste sammenhængende periode i dage, hvor sedimentkoncentrationen (SSC) overstiger 10 mg/l under sommerklapperperioden (øverst) og under vinterklapperperioden (nederst).



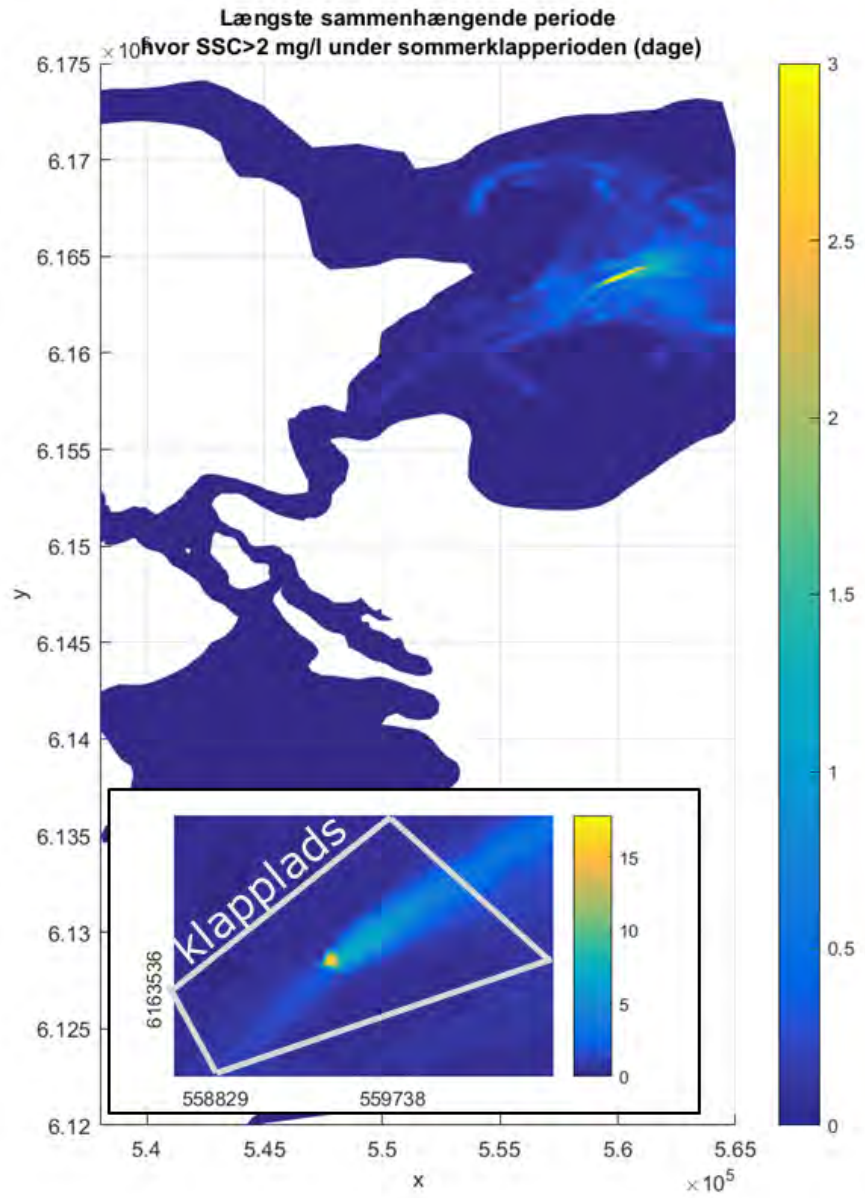


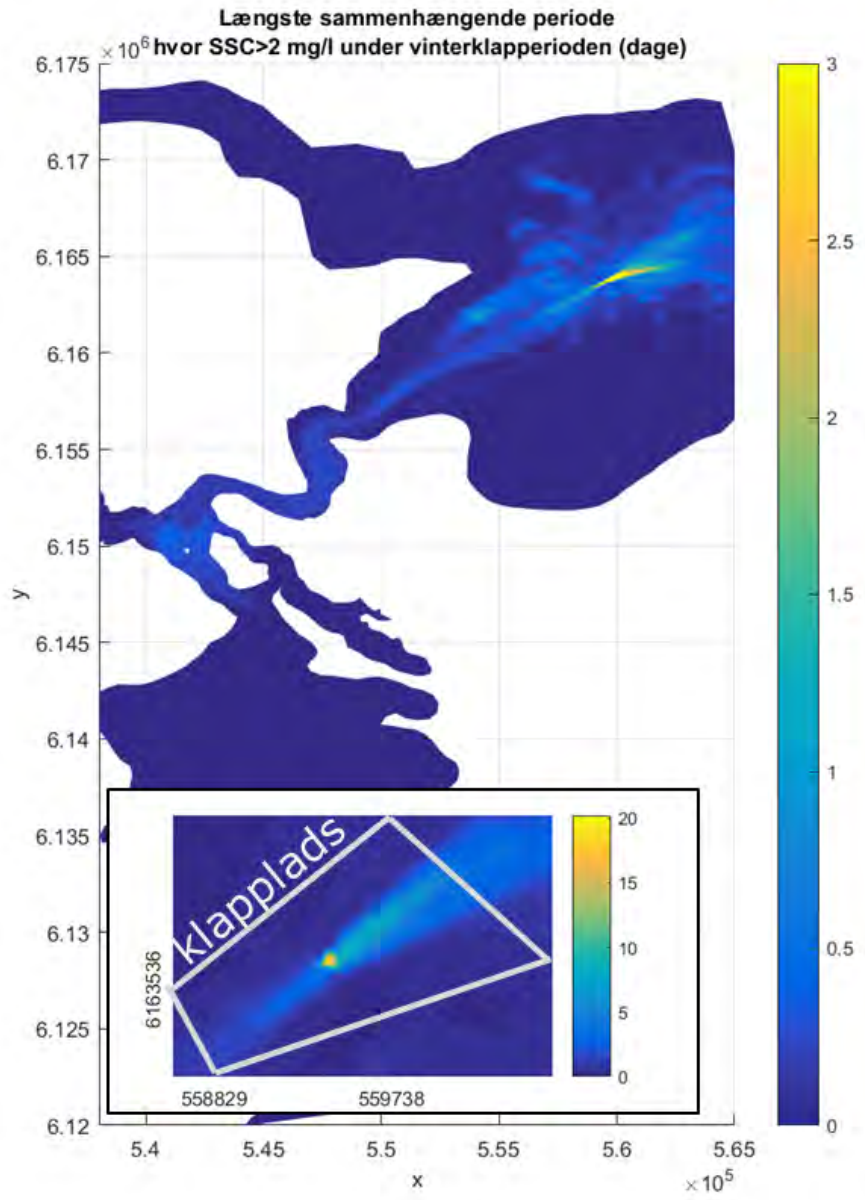
Figur 7.46: Klappladsen.
Figurene viser længste sammenhængende periode i dage, hvor sedimentkoncentrationen (SSC) overstiger 8 mg/l under sommerklapperperioden (øverst) og under vinterklapperperioden (nederst).



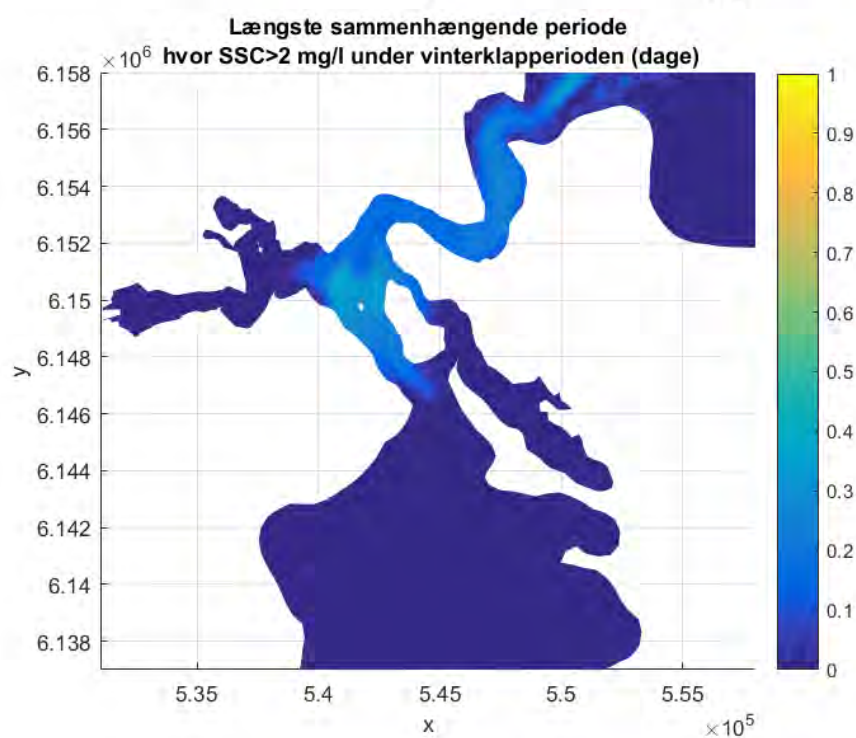
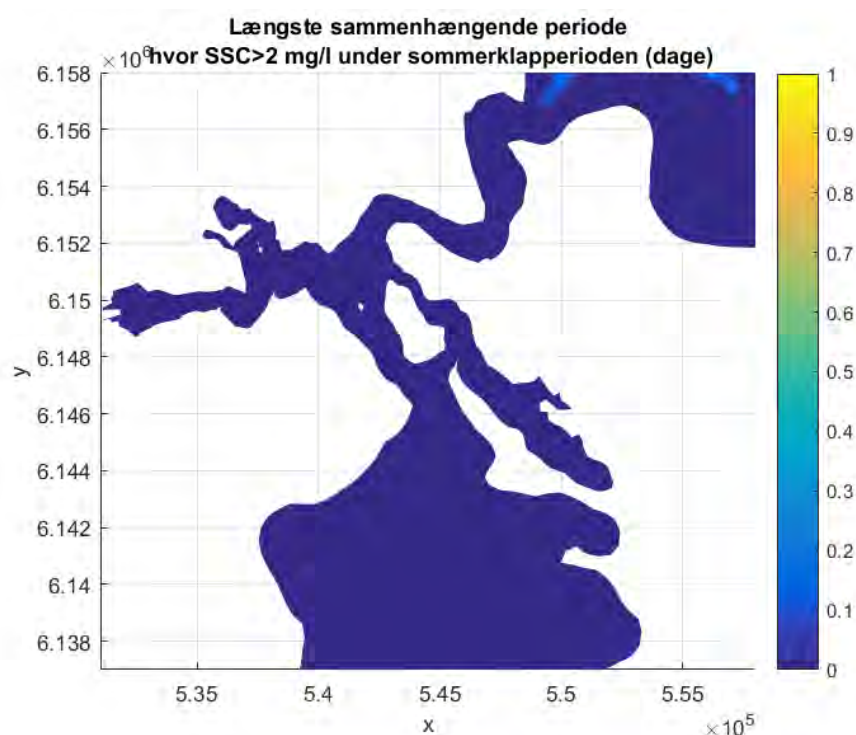


Figur 7.47: Klappladsen. Figurerne viser længste sammenhængende periode i dage, hvor sedimentkoncentrationen (SSC) overstiger 2 mg/l under sommerklapperperioden (øverst) og under vinterklapperperioden (nederst) i hele beregningsområdet.





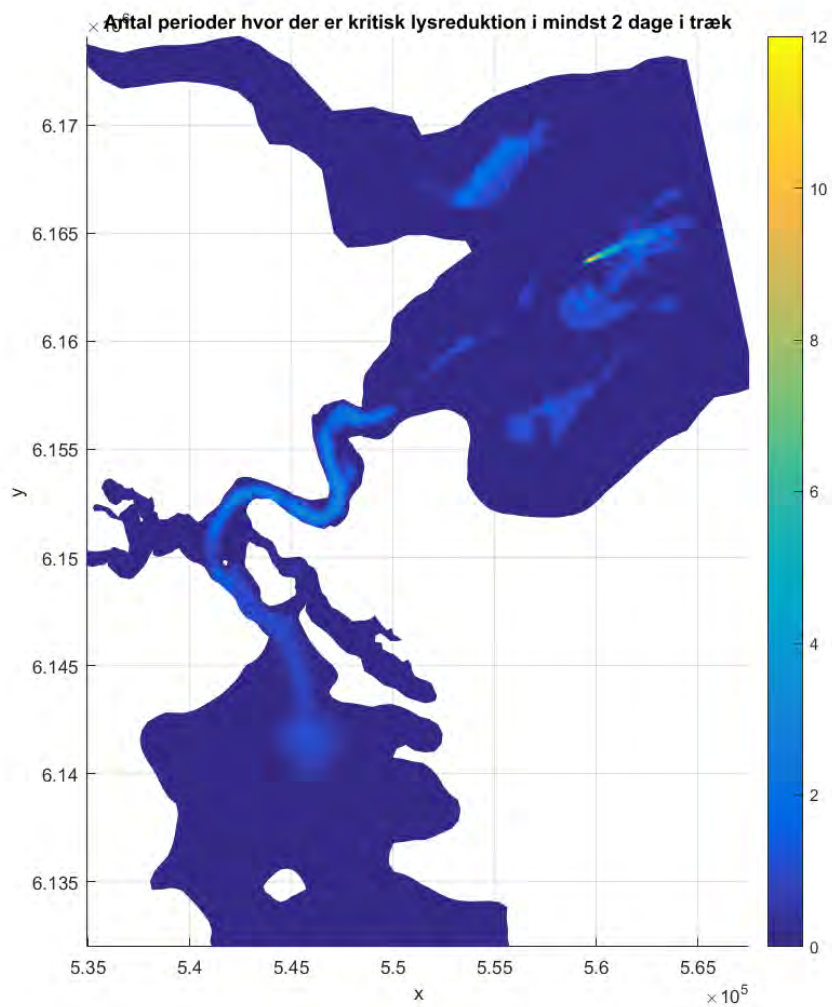
Figur 7.48: Klappladsen. Figureerne viser længste sammenhængende periode i dage, hvor sedimentkoncentrationen (SSC) overstiger 2 mg/l under sommerklapperperioden (øverst) og under vinterklapperperioden (nederst) i Lillebælt.

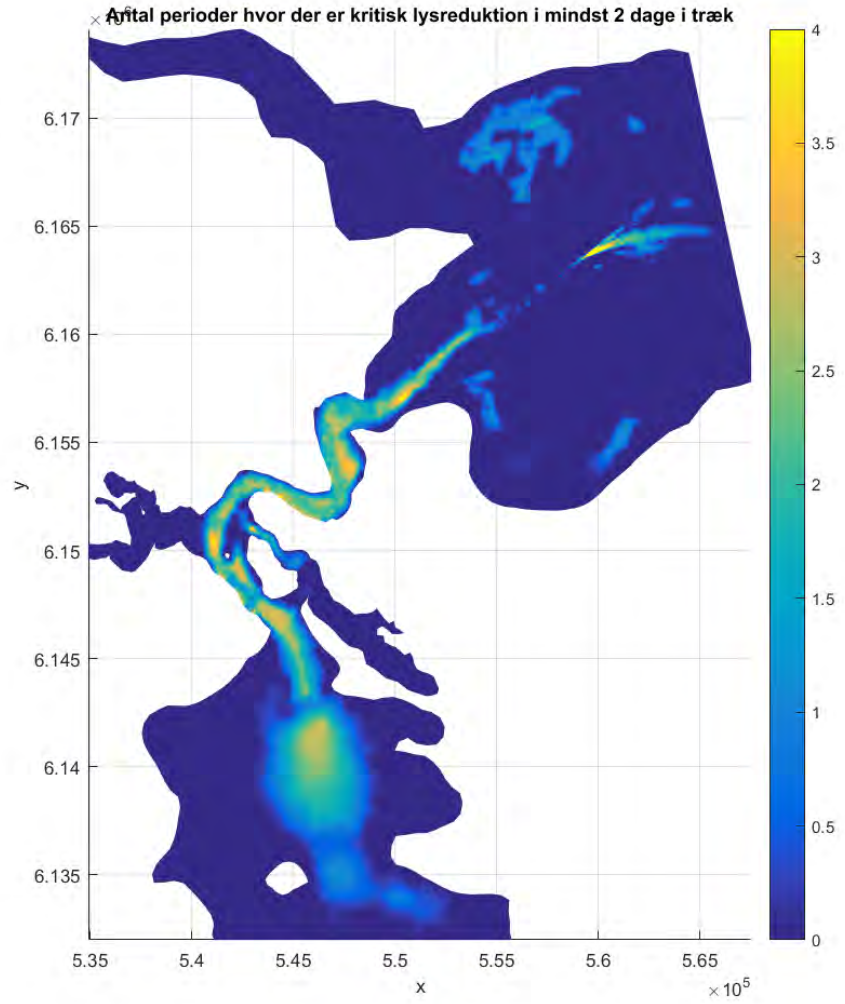


7.2.4 Kritisk lysreduktion ved klappladsen

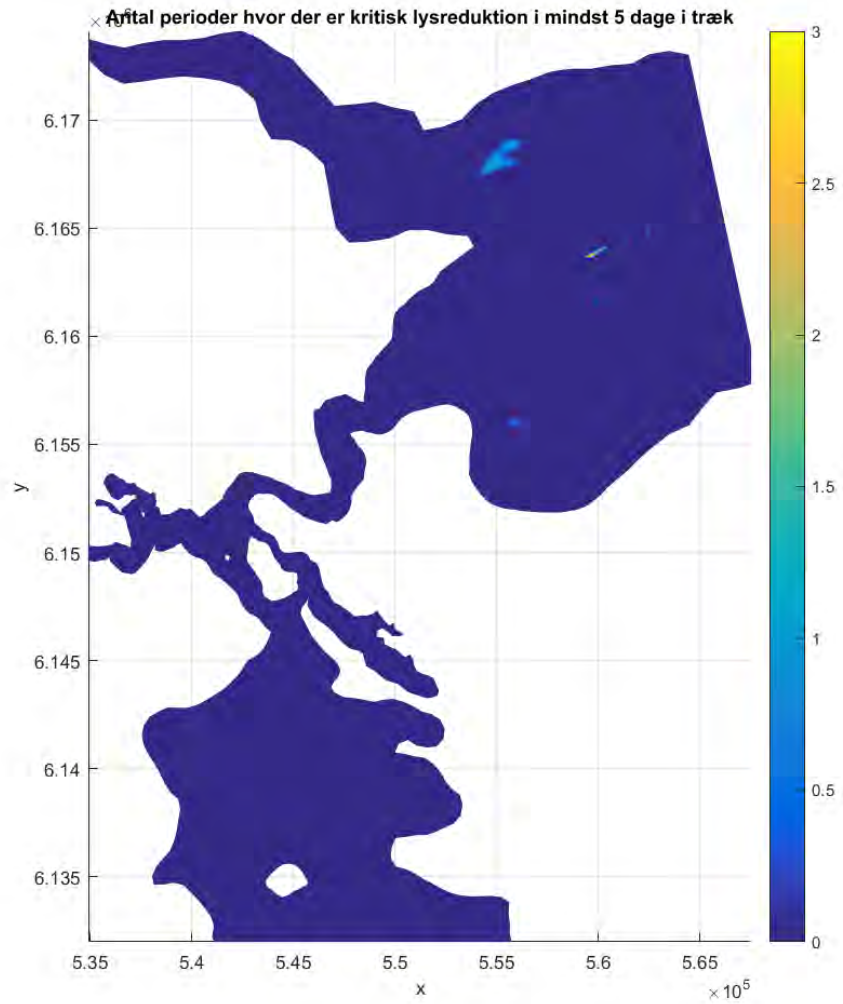
Følgende resultater er præsenteret i figurer af hver 2 underfigurer, der viser sommer (øverst) og vinter (nederst). Størrelsesordenen på lysreduktionen er den samme sommer og vinter, men der sker lysreduktion i et større område om vinteren. Det må skyldes, at sedimentet transporteres længere væk om vinteren på grund af større strømhastigheder.

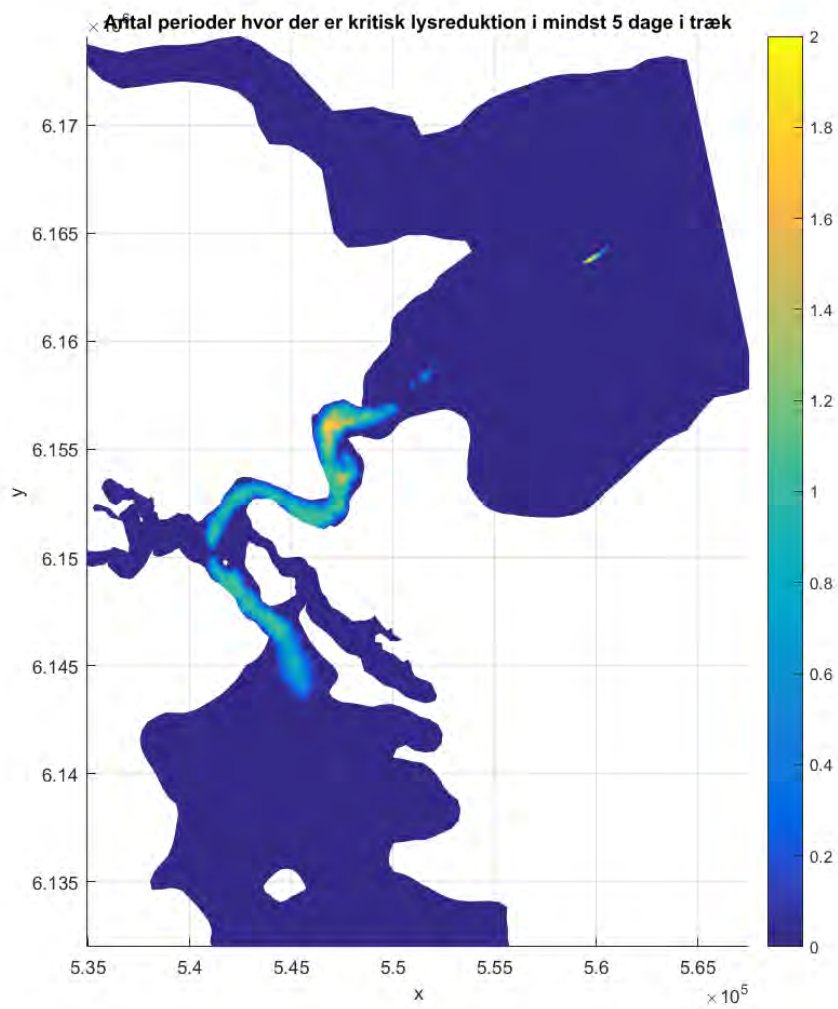
Figur 7.49: Klappladsen. Figureerne viser antal perioder, hvor der er kritisk lysreduktion i mindst 2 dage i træk, fra graveperioden starter og indtil beregningsperioden slutter. Sommer (øverst) og vinter (nederst).



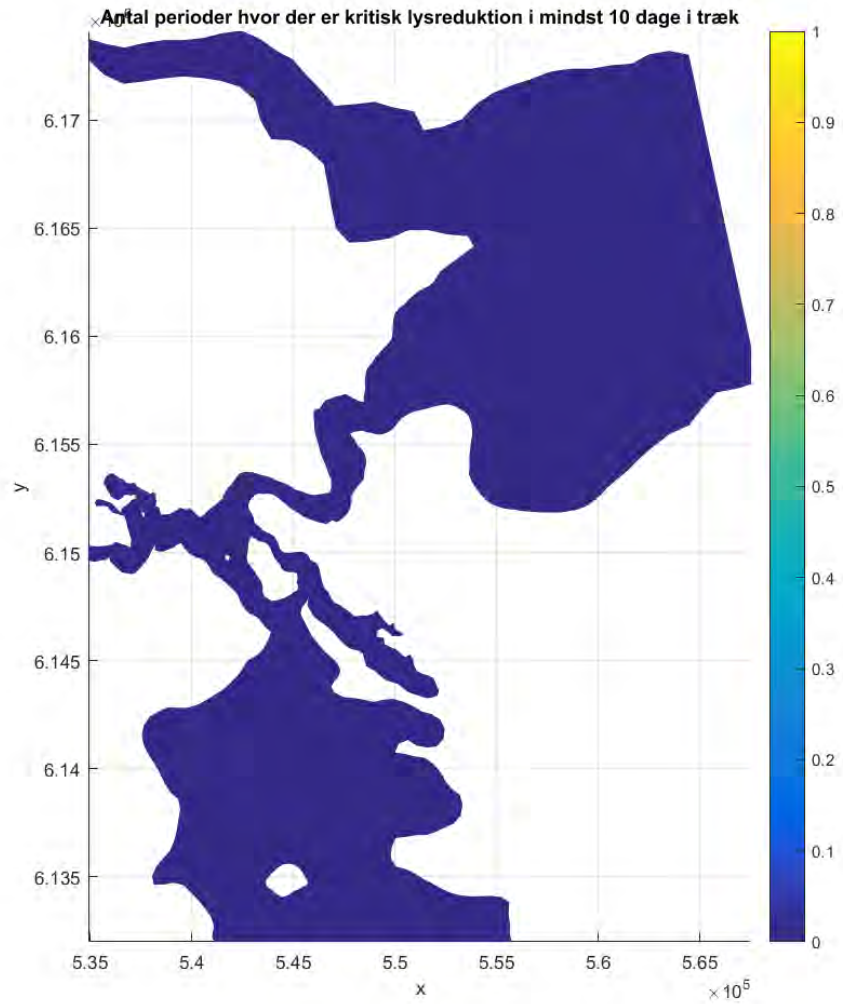


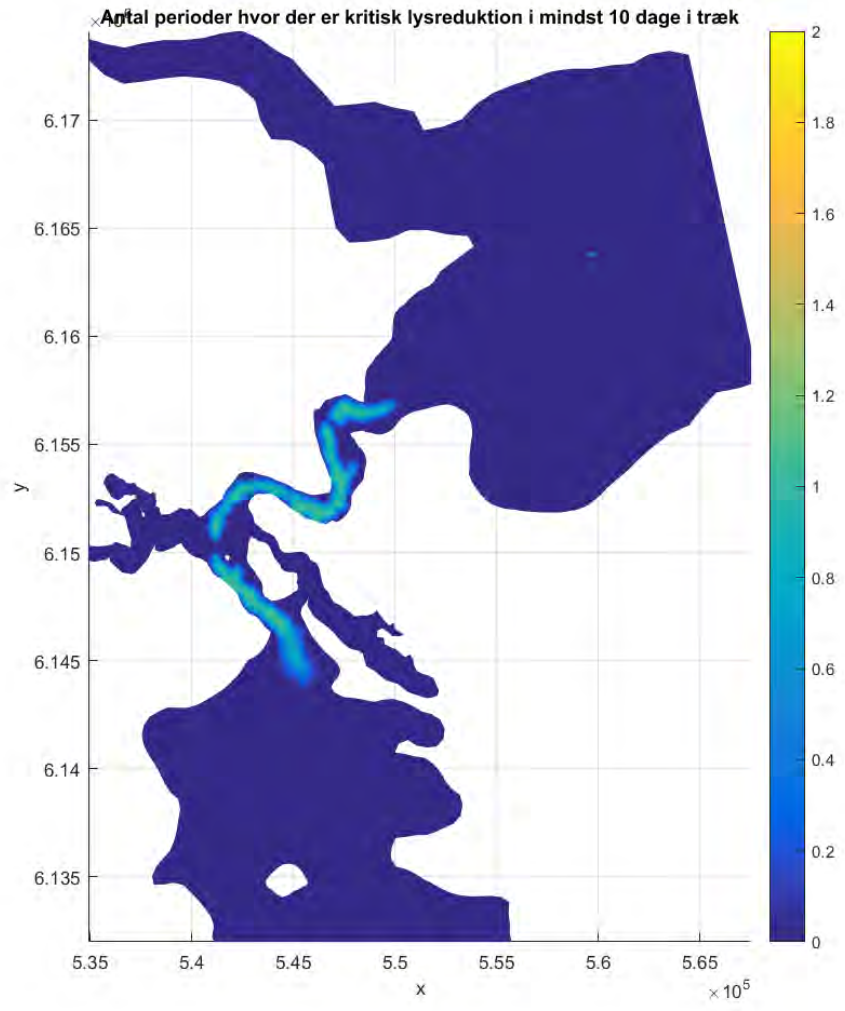
Figur 7.50: Klappladsen.
Figurerne viser antal perioder, hvor der er kritisk lysreduktion i mindst 5 dage i træk, fra graveperioden starter og indtil beregningsperioden slutter. Sommer (øverst) og vinter (nederst).



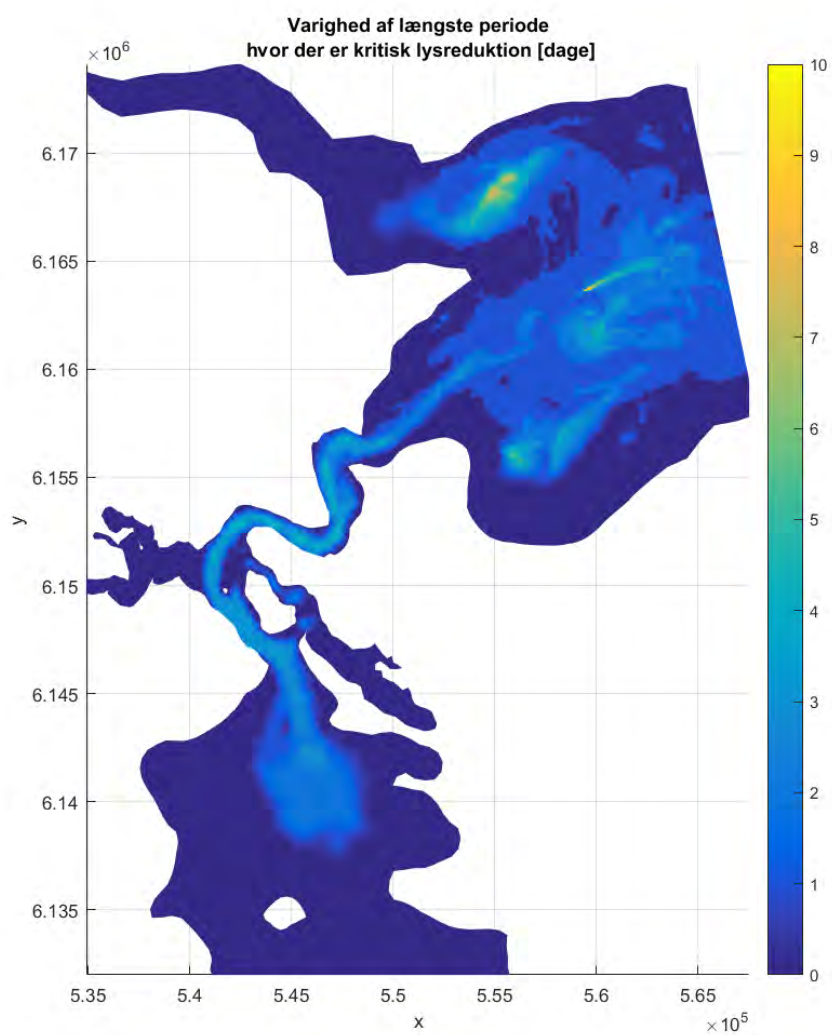


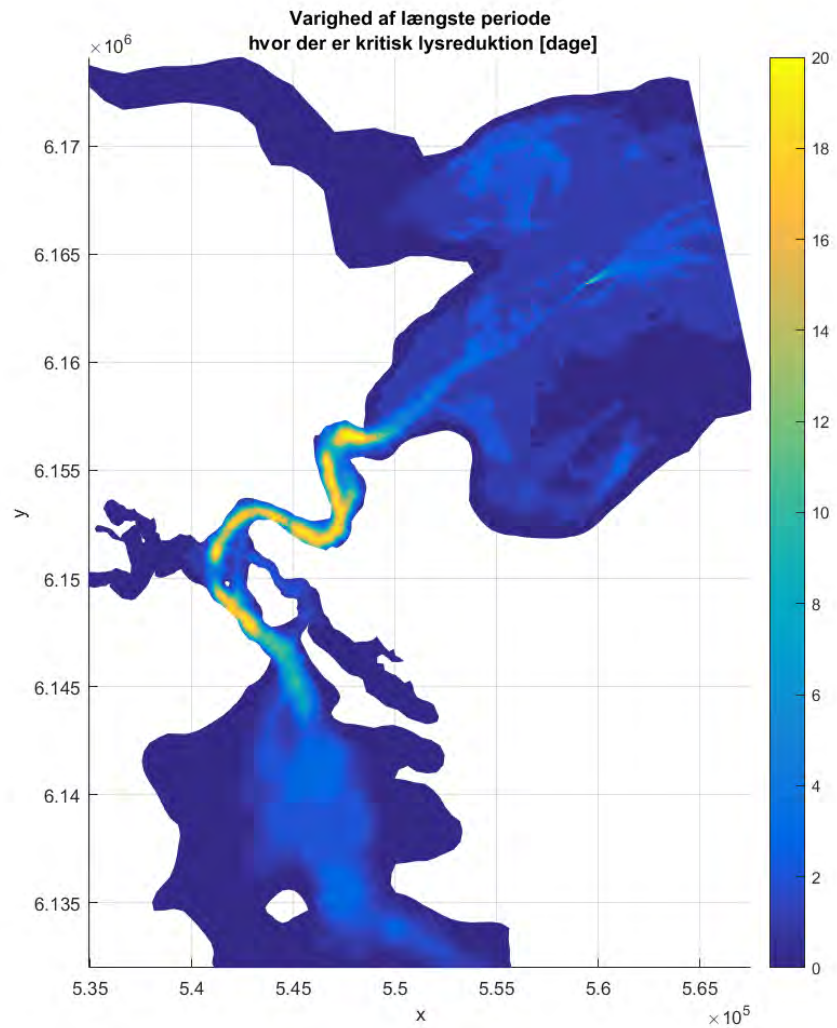
Figur 7.51: Klappladsen.
Figurerne viser antal perioder, hvor der er kritisk lysreduktion i mindst 10 dage i træk, fra graveperioden starter og indtil beregningsperioden slutter. Sommer (øverst) og vinter (nederst).





Figur 7.52: Klapplassen. Figureerne viser varighed af længste periode, hvor der er kritisk lysreduktion, fra graveperioden starter og indtil beregningsperioden slutter. Sommer (øverst) og vinter (nederst).





8 Bibliografi

- [1] Geodatastyrelsen, »Danske søkort,« Geodatastyrelsen, 22 08 2017. [Online]. Available: <http://www.danskehavnelods.dk/indexkort/danskesoekort.html>. [Senest hentet eller vist den 22 08 2017].
- [2] Rambøll, »05 Hydrogeografiske forhold. Kolding Lystbådehavn,« 2015.
- [3] »Danmarks Miljøportal, Data om miljøet i Danmark,« Miljø- og Fødevareministeriet, KL og Danske Regioner, [Online]. Available:

- <http://arealinformation.miljoeportal.dk/distribution/>. [Senest hentet eller vist den 14 07 2017].
- [4] COWI, »Marina City Kolding - Undersøgelse af sediment,« 2017.
- [5] Jacobsen, Harramës , Krebs Ovesen og Moust, Lærebog i geoteknik 1, årg. 5, Polyteknisk forlag, 2003.
- [6] NIRAS, »VVM-undersøgelse for ny jernbaneforbindelse på tværs af Vejle Fjord. Miljøvurderingsrapport. Del 2 - Natur,« 2016.
- [7] NIRAS, »VVM Vejle fjord bro, Bestemmelse af sedimentkarakteristika for spildberegninger,« NIRAS, 2015.
- [8] Rambøll, »Marina City Helhedsplan,« 2017.
- [9] Geodatastyrelsen, »Den danske havnelods,« Geodatastyrelsen, 03 03 2017. [Online]. Available: <http://www.danskehavnelods.dk/#HID=175>. [Senest hentet eller vist den 08 08 2017].
- [10] Farvandsvæsenet, »Farvandets hjemmeside,« [Online]. Available: http://frv.dk/Maalinger/Farvandsmaalinger/Dybder/Pages/Digitale_dybdemo_deller.aspx . [Senest hentet eller vist den 15 4 2010].
- [11] M. J. Devlin, J. Barry, D. K. Mills, R. J. Gowen, J. Foden, D. Sivyer og P. Tett, »Relationships between suspended particulate material, light attenuation and Secchi depth in UK marine waters,« *Estuarine, Coastal and Shelf science*, 2008.
- [12] G. Ærtebjerg, »Iltsvind i de danske farvande i juli-august 2006,« Danmarks Miljøundersøgelser, 2006.
- [13] S. Markager og H. Fossing, »Lyssvækkelse, Teknisk anvisning,« Århus Universitet, 2015.
- [14] NIRAS, »Bilag 3 - Hydraulisk modellering af bølger og strøm omkring Rønne Havn,« 2016 C.
- [15] Harremoës, Krebs Ovesen og Moust Jacobsen, Lærebog i geoteknik 1, årg. 5, Polyteknisk forlag, 2003.