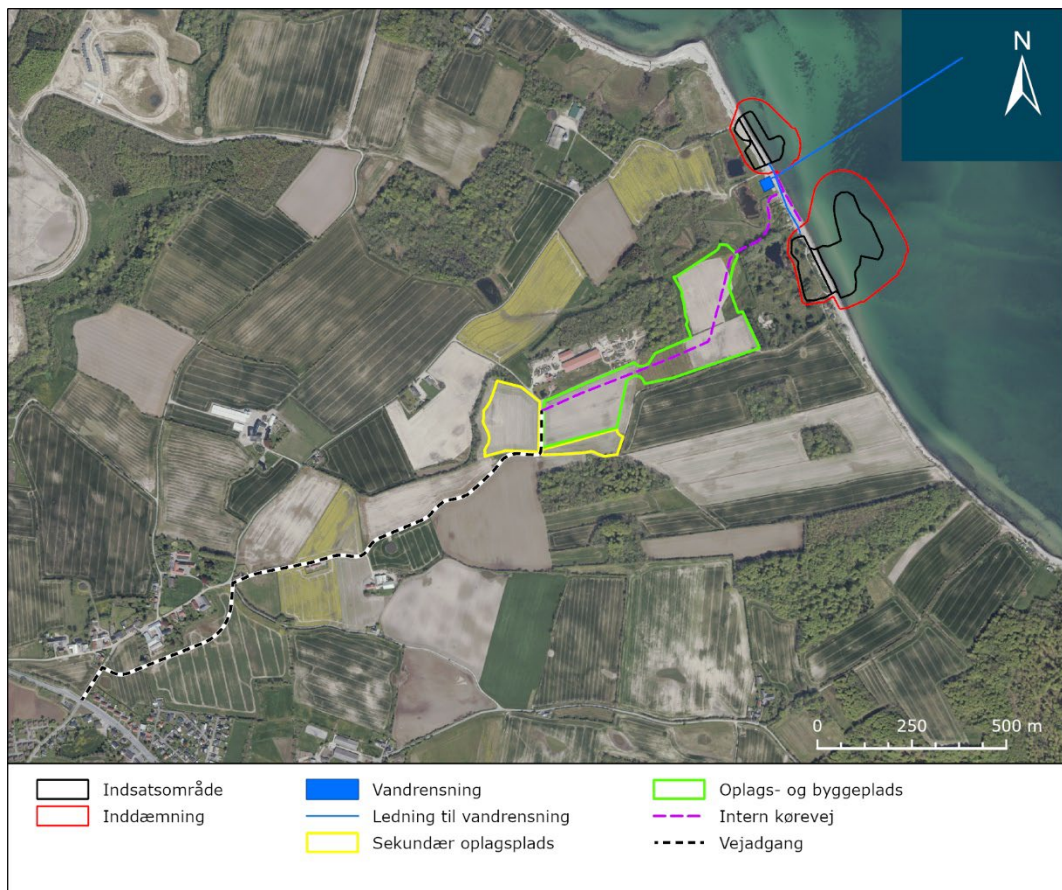


1. BILAG 2: MODELLERING AF STRØM OG SEDI- MENTSSEDNING

1.1 Introduktion samt opsummerende konklusioner

Ved Himmark Strand på Nordals findes to områder, hvor der forekommer en såkaldt generationsforurening. I 1950'erne og 1960'erne blev der brændt og deponeret store mængder industriaffald, hvilket har forurennet jorden og havbunden i en sådan grad, at et badeforbud er udstedt i området. Dette badeforbud ønskes ophævet i forbindelse med etableringen af et nyt rekreativt område umiddelbart nord for projektlokaliteten, hvilket medfører, at forureningen skal fjernes.

Projektområdet med tilhørende adgangsvej er vist på Figur 1-1. "Indsatsområde" henviser til de områder, hvor der forekommer forurennet jord. Inden oprensning af jorden kan begynde, skal områderne inddæmme, dels for at muliggøre en tør opgravning og dels for at sikre, at der ikke sker en opslæmning og spredning af forureningen via grund- eller havvand. Dette kan gøres med spunsvægge evt. kombineret med dæmninger på vand. Dæmningernes ydre grænse følger omtrentligt de røde linjer på Figur 1-1.



Figur 1-1. Oversigt over projektlokaliteten på Nordals nær byen Himmark.

Nærværende notat har til formål at analysere påvirkningen fra etableringen af dæmningerne, herunder spredning af sediment i forbindelse med etablering af dæmninger,

evt. påvirkning af områdets kystmorfologi grundet tilstedeværelsen af dæmningerne, samt fortynding af forurening udledt ved tilbageledning af opgravet vand. Der er ikke gennemført analyser af spredning af forurenede materiale, da det er en forudsætning, at dette ikke vil forekomme grundet inddæmningen af forureningen inden oprensningen påbegyndes. Alle påvirkninger er relateret til anlægsfasen.

Forureningen strækker sig ud i vandet og dæmningerne vil blive placeret i Natura 2000 område og delvist på beskyttet habitatnatur. Der er derfor i forbindelse med planlægningen af projektet behov for detaljerede vurderinger af i hvilket omfang etableringen af dæmningerne giver anledning til negative miljøkonsekvenser. De negative miljøkonsekvenser pga. sedimentation kan potentielt være i form af lysreduktion grundet suspenderet/sedimenteret sediment, og/eller kraftig erosion på den nærliggende kyststrækning grundet ændringer i områdets strømfelt.

Vurderinger af, strømninger og sedimentspredning er baseret på numerisk modellering.

1.1.1 Indflydelse på lokalt strømfelt og kystudvikling

Der er gennemført modelberegninger af strømfeltet omkring projektlokaliteten med og uden den største af dæmningerne. Dermed kan relative betragtninger af påvirkningen af strømfeltet analyseres. Den nordlige dæmning er ikke medtaget i modelleringerne af strømforhold, da det vurderes, at den største påvirkning af strømforholdene skyldes den mest markante blokering.

Konklusionen er, at der nord for dæmningen vil kunne opstå et mindre underskud i sedimentbudgettet hvilket kan lede til en lokal øget stejlehed af kystprofilen med større akut erosion til følge, da bølger vil propagere længere ind mod land før de brydes. Det konstateres ydermere, at strømmen ved pynten nord for projektlokationen vil blive mildere i perioden hvor dæmningen er til stede. Påvirkningerne er dog forholdsvis kortvarige, da den samlede projektperiode inklusive etablering, oprensning og reetablering forventes at være omkring 2,5-3,5 år. Effekten vil formentlig være sammenlignelig med den naturlige variation af kystprofilen fra år til år.

1.1.2 Spredning af sediment

I forbindelse med etablering af de dæmninger, der skal indkapsle det forurenede materiale, kan der blive udvasket fint materiale, som vil blive ført med strømmen og aflejres, når strømmen bliver for svag til at holde materialet suspenderet.

Modelberegningerne viser, at der kan forekomme overskridelse af 10 mg/l suspenderet sediment i op til 225 timer af anlægsfasens 55 dage for den sydlige dæmning. En maksimal koncentration på ca. 75 mg/l forekommer primært helt tæt på dæmningen. Den maksimale akkumulerede sedimentlagtykkelse er estimeret til ca. 2,25 cm.

Da alt finstoffet udvaskes fra materialet der anvendes til den store sydlige dæmning, antages det genanvendte materiale herfra til den nordlige dæmning ikke at sprede kritiske mængde finstof.

1.2 Baggrund

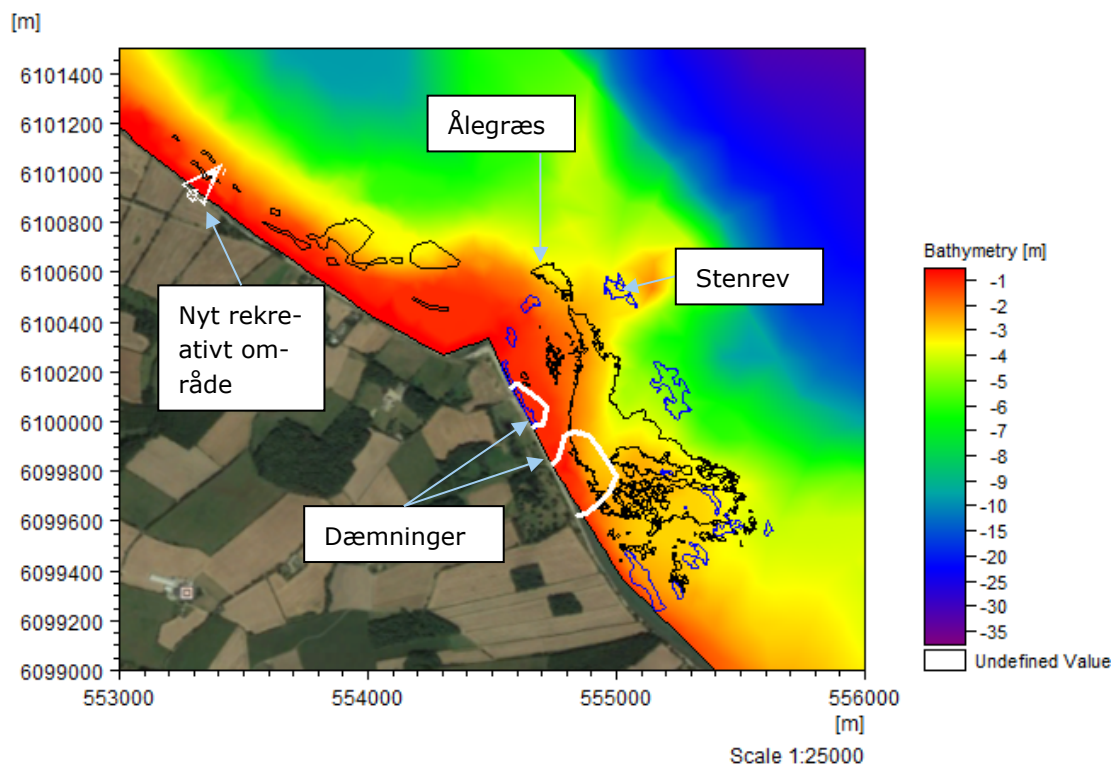
Region Syddanmark ønsker i et partnerskab med Danfoss A/S og Sønderborg kommune at oprense generationsforureningen ved Himmarn Strand. Formålet med projek-

tet er at forbedre jord- og vandkvaliteten, så området ikke udgør en fare for menneskers og dyrs sundhed. Herunder er formålet også at kunne ophæve badeforbuddet på strækningen, og at området udvikles i en bæredygtig retning til gavn for borgerne, naturen og besøgende i kommunen.

For at opfylde ovenstående formål skal forureningen fjernes og for at sikre mod spredning af forureningen under oprensning, indkapsles denne vha. spunsjern rammet igennem en midlertidig dæmning og ned i underliggende lerlag.

Forureningen samt de nødvendige midlertidige konstruktioner er delvist placeret på søterritoriet og strækker sig ind i Natura 2000-område nr. 197 (Habitatområde H173, Fuglebeskyttelsesområde nr. 64), "Flensborg Fjord, Bredgrund og farvandet omkring Als". Desuden er der på lokaliteten forekomst af ålegræs på sandbund og tilstedeværelsen af makroalger på stenrev, se Figur 1-2, der viser et zoom omkring Himmark Strand, med angivelse af dæmninger, ålegræs og stenrev på en baggrund, der viser vanddybden i området.

I Natura 2000-området er der i dele af projektområdet udpeget naturtyperne (1110) sandbanke og (1170) stenrev, der bl.a. udgør en del af udpegningsgrundlaget for Natura 2000-område N197. Som følge af havbundskortlægningen foretaget i sommeren 2020 (se afsnit 1.4.1) er der desuden kortlagt tilstedeværelsen af større sammenhængende ålegræsbede. Som redegjort for i miljøkonsekvensrapportens afsnit 18.4.1 og afsnit 18.4.2 for henholdsvis påvirkningen af spredning af sediment i vandsøjlen og sedimentering som følge af sedimentspild, er især stenrev og ålegræs kategoriseret som sårbare habitater overfor bl.a. suspension og tildækning af sediment. For at visualisere den modellerede koncentration af suspenderet sediment (SSC) og sedimentation ift. registrerede sårbare habitater er tilstedeværelsen af udpeget stenrev og ålegræs vist i Figur 1-2. Vurdering af projektets væsentlige virkninger på N197 er håndteret i Bilag 6 Natura 2000 konsekvensvurdering.



Figur 1-2. Aftegning af nyt rekreativt område og dæmninger (angivet med hvidt omrids), placering af ålegræs (angivet med sort omrids), samt placering af stenrev (angivet med blå omrids). Baggrundsbillede er hentet fra [Google Earth, 2020].

I dette bilagsnotat præsenteres forudsætninger, fremgangsmåde samt resultater fra gennemførte analyser, der ligger til grund for vurdering af:

- hvorvidt eller i hvilket omfang etableringen af dæmningerne kan forventes at give anledning til en midlertidig påvirkning af kystlinjen.
- hvorvidt udledning af suspenderet/sedimenteret sediment fra opførelsen af dæmningerne vil give anledning til en påvirkning af områdets marinbiologiske miljø.

Påvirkningen af kystlinjen kan forårsages af ændringer i erosions-/sedimentationsforholdene som følge af ændrede strømforhold samt hel eller delvis blokering af den langsgående sandtransport. Dette kan medføre kysttilbagerykning nedstrøms for dæmningen. Dæmningerne fjernes efter endt oprensning, så eventuelle påvirkninger forventes ikke at være permanente.

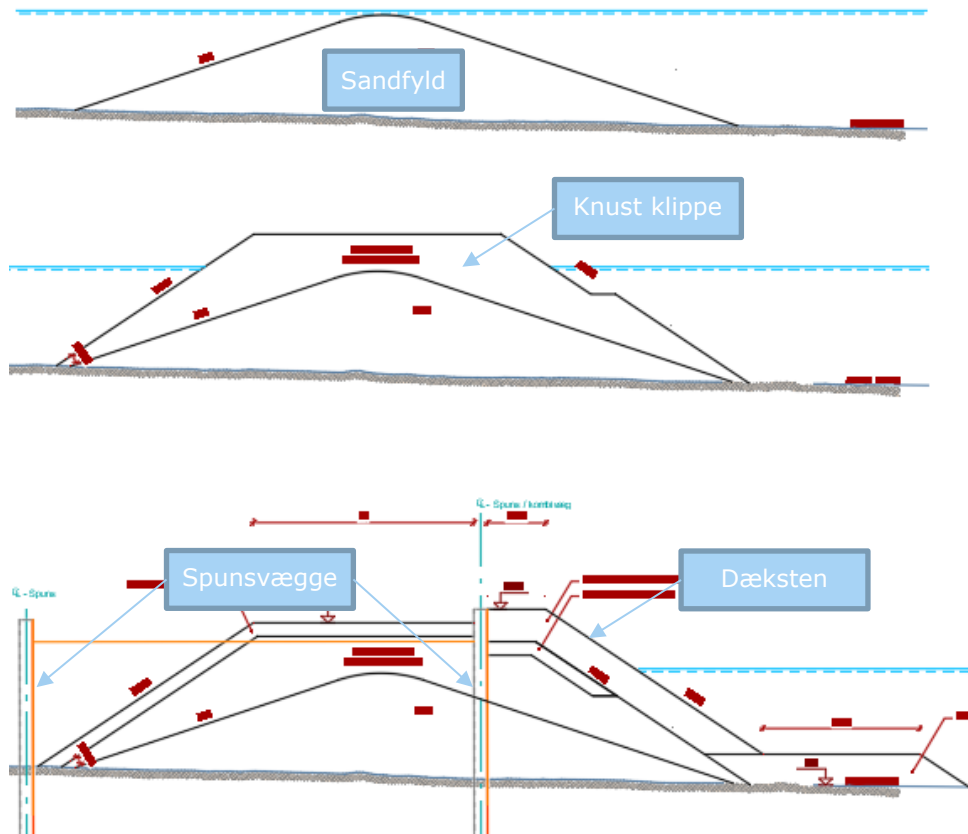
De overordnede miljøvurderinger gennemføres i de respektive kapitler i miljøkonsekvensvurderingen. Nærværende bilagsnotat indeholder således kun forudsætninger, beskrivelser, og resultater fra de gennemførte modelberegninger samt en vurdering af kystudviklingen som følge af ændringer i områdets strømfelt.

1.2.1 Arbejdstakt

I forbindelse med etablering af indkapslingen af forureningen skal der etableres to dæmninger; en stor mod syd og en lille mod nord, jf. Figur 1-2. Dæmningerne etableres fra land og selve opbygningen foregår i trin vist oppe fra og ned på Figur 1-3:

- Dæmnings sandkerne udlægges.
- Sandfyldet beskyttes med knust klippe.
- Dæmningen beskyttes yderligere med dæksten og spunsvæggene rammes.

Den større sydlige dæmning etableres først og når forureningen i det område er håndteret, anvendes materiale fra den sydlige dæmning i den nordlige dæmning.



Figur 1-3. Trinvis opbygning af dæmningerne til indkapsling af området med forurennet havbund.

1.3

Kystmorfologi og sedimenttransport på lokaliteten

Bølge- og tidevandsgenereret strøm kan generelt give anledning til en transport af sand. Under normale forhold (dvs. under typiske strøm- og bølgeforshold) kan der genereres en såkaldt langsgående sandtransport (dvs. en sandtransport langs med kysten). Dette sker specielt i områder, hvor den dominerende bølgeretning ikke er vinkelret på kysten. I forbindelse med kraftige bølger, f.eks. under storm, kan der forekomme en såkaldt akut erosion, hvilket kan resultere i en sandtransport vinkelret på kysten. Da den akutte erosion under storm er vinkelret på kysten, vil denne ikke påvirkes af tilstedeværelsen af dæmningen og derfor analyseres der i nærværende notat ikke yderligere på akut erosion.

Figur 1-4 viser Kystdirektoratets Kystatlas for området omkring dæmningerne. Det fremgår, at den resulterende langsgående sandtransportretning umiddelbart er nordgående (vist ved de røde pile) på strækningen ved Himmark Strand. Af Figur 1-4 fremgår det desuden, at den kroniske erosion er moderat ved projektlokaliteten.



Figur 1-4. Resulterende sedimenttransportretning (røde pile) samt grad af kronisk erosion på kyststrækningen ved projektlokaliteten (rød cirkel). [Kystdirektoratets Kystatlas, 2021].

Figur 1-5 viser den lille pynt, der befinder sig nord for dæmningerne. Mønsteret af sedimentation omkring pynten bakker op om en nordgående nettotransport ved Himmark Strand.



Figur 1-5. Illustration af kystlinje omkring pynten umiddelbart nord for dæmningsområdet [Google Earth, 2019].

1.4

Modelopsætning

Analysen til vurdering af ændringer i strømfelter samt sedimentspredning, er baseret på numeriske modelberegninger ved anvendelse af programpakken MIKE21 FM udviklet af DHI. MIKE21 er et to-dimensionelt numerisk simuleringsværktøj, der består af en række moduler, der kan kombineres efter behov.

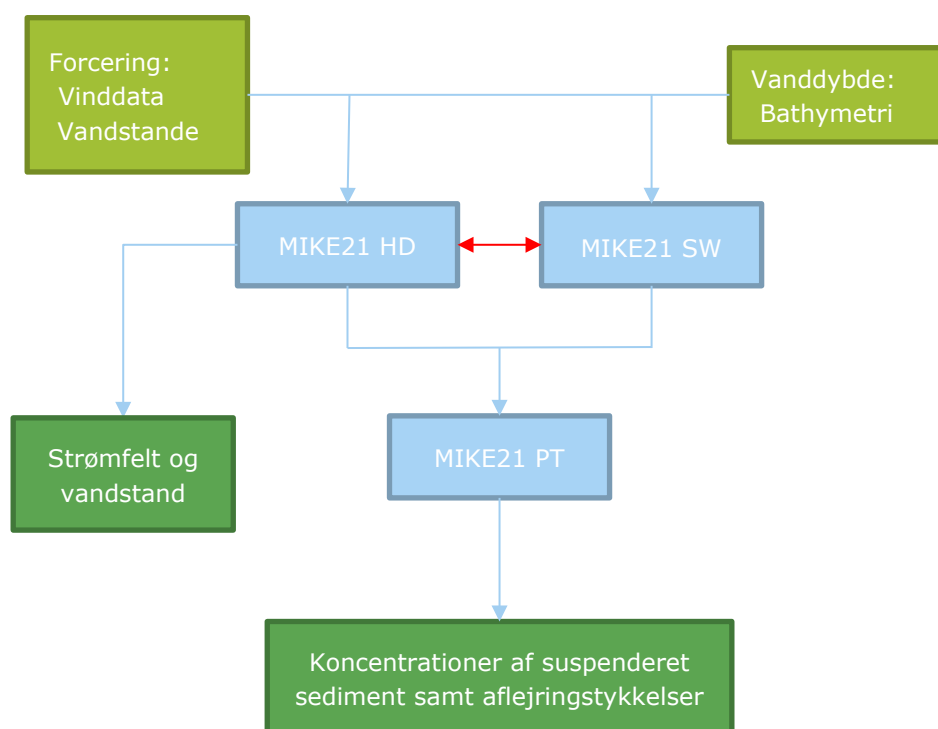
Til simulering af transport af udvasket sediment og kystudvikling, er der anvendt følgende model-moduler:

- MIKE 21 SW (spektral bølge modul) - til modellering af bølger og bølgegenereret strøm.
- MIKE 21 HD (hydrodynamisk modul) - til modellering af strømfelter og vandsandsvariationer.
- MIKE 21 PT (partikeltransportmodul) - til modellering af spredning af partikler i vandsøjlen.

Bølgemodellen er opstillet i MIKE21 SW, som er en såkaldt spektral bølgemodul, der kan anvendes til at gennemføre detaljerede simuleringer af de vindgenererede bølger og dønninger i kyst- og offshore-områder. Modellen medtager alle vigtige processer i forbindelse med generering, transformation og dissipation af bølger i både åbent og kystnært hav. I det aktuelle projekt anvendes bølgemodellen til at generere input til strøm- og partikeltransportmodulerne (MIKE21 HD og MIKE21 PT), således inkluderes den bølgeinducerede strøm i både de hydrodynamiske beregninger og spredningsberegningerne.

Det hydrodynamiske modul, MIKE21 HD, er udviklet til anvendelse ved offshore og kystnære områder, hvor der forekommer en fri overfladestrømning. Strømmen genereres af de påførte randbetingelser samt af input fra bølgemodelleringen, så den bølgeinducerede strømning samt eventuelt bølge-setup tages i regning. Simulerede strømninger og vandspejlsændringer bruges som input i partikeltransportmodulet.

Ved anvendelse af MIKE21 FM PT simuleres transport af partikler ved en Lagransk model, hvor det udledte/frigivne materiale beskrives ved et antal partikler, der transporteres med det beregnede strømfelt (partiklerne/partikelintensiteten påvirker ikke strømfeltet). Hver partikel tilskrives egenskaber i form af f.eks. en faldhastighed, og inden for hvert tidsstep flyttes hver af partiklerne både horisontalt og vertikalt. Partiklerne flyttes i modellen via både advektion og dispersion. Partiklerne sedimenterer/aflejres, når de er i et område hvor strømhastighederne er tilstrækkelig lave til, at de ikke kan transportere sedimenterne videre.



Figur 1-6. Illustration af den overordnede tilgang til gennemførelse af den numeriske modellering. Den røde pil markerer, at HD og SW-modulerne henter input fra hinanden under modelleringen (de kører koblet). Lysegrøn boks er input, blå boks er moduler og mørkegrøn boks er output.

Til at vurdere på ændringer i kystmorfologien opstilles to modeller:

- Model af eksisterende forhold.
- Model af fremtidige forhold (inkl. den sydlige dæmning).

Til at vurdere på spredning af sediment opstilles udelukkende én model. I strømnings-simuleringerne, der ligger til grund for sedimentspredningssimuleringerne, medtages dæmningerne ikke. Dette vil medføre større strømhastighed og dermed mere sedimentspredning.

Vurderinger af den påvirkning, som dæmningerne kan have på kystmorfologien, er baseret på relative betragtninger af modelresultaterne med og uden dæmning (dvs. relative sammenligninger af strømforhold for den eksisterende og fremtidige situation).

Følgende input er nødvendige i forbindelse med opstilling af de numeriske modeller:

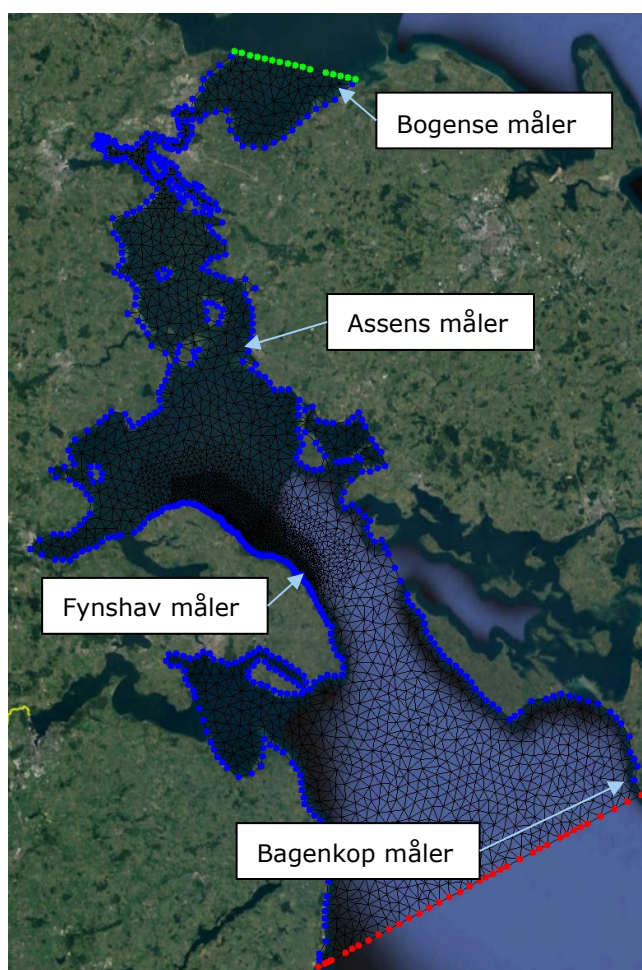
- Digitaliseret bathymetri (dybdeforhold).
- Udformning af de planlagte dæmninger.
- Tidsserie af vindforhold (hastighed og retning).
- Tidsserier af vandstandsforhold.
- Valideringsdata.
- Sedimentkarakteristika (middel-kornstørrelse, d_{50} , gradering og faldhastighed)
- Arbejdsbeskrivelse ift. etablering af dæmninger.

I det følgende gennemgås modelopsætning, modelparametre og forudsætninger.

1.4.1 Modeldomæne og dybdeforhold

Det anvendte modeldomæne og beregningsnet til simuleringerne i MIKE21 fremgår af Figur 1-7. Som det ses af figuren, anvendes et fleksibelt beregningsnet, bestående af store elementer (groft beregningsnet) i stor afstand fra projektlokaliteten og mindre elementer (finere net) tæt ved. For at inkludere tidevandseffekter fra Lillebælt begrænses domænet i nord ved Bogense og i syd ved Bagenkop på Sydlangeland. Modelområdet sikrer dermed, at de lokalt vindgenererede bølger fra det sydfynske øhav inkluderes.

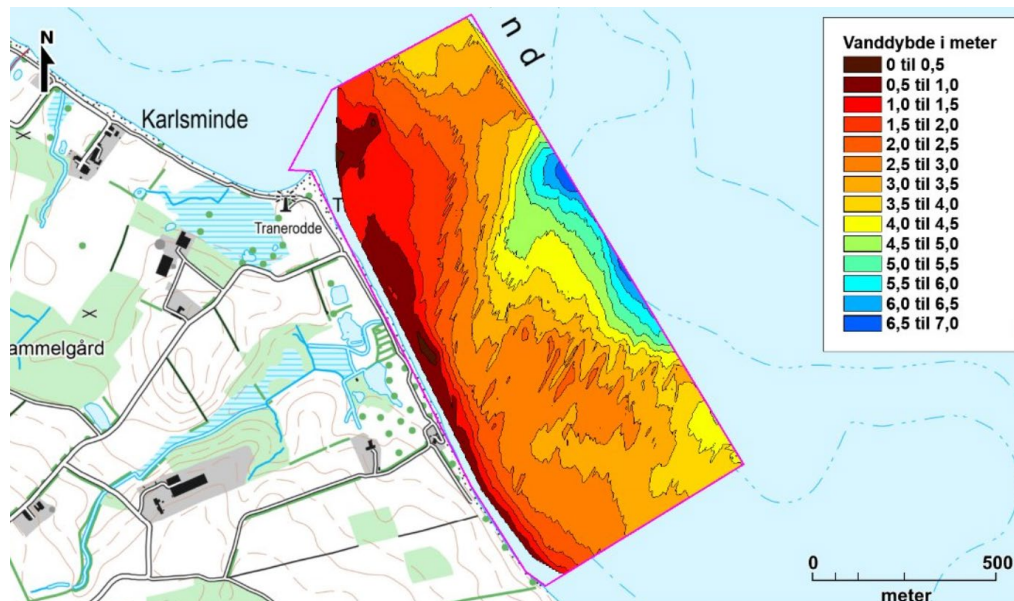
Figur 1-7 viser ligeledes omtrentlige lokationer for fire vandstandsmålestationer. Data fra målerne ved Bagenkop og Bogense bruges til forcering af modellerne mens data fra Fynshav og Assens bruges til validering.



Figur 1-7. Anvendte modeldomæne samt diskretisering til simuleringen i MIKE21. Baggrundsbilleder er fra [Google Earth, 2019].

Beliggenheden af kystlinjen samt vanddybderne i modellen er baseret på input fra søkort (DHI C-map). Lokalt omkring dæmningerne er detaljerede pejlinger implementeret. Disse data er vist på figur 1-8. Der er efterfølgende foretaget yderligere pejlinger af området. Disse er ikke implementeret i modellen idet de ikke vurderes at ændre på konklusionerne fra de simulerede resultater.

I beregningerne for udledning af rensat vand er domænet vertikalt opdelt i to lige tykke lag af beregningsmæssige hensyn.



Figur 1-8: Vanddybder i området omkring dæmningerne interpoleret fra lokale pejlinger.

1.4.2 Forcering af modellen

Forcering af modellen er baseret på målte vandstande ved Bogense og Bagenkop samt varierende vind- og trykpåvirkning (vindstyrke og vindretning) i hele modelområdet.

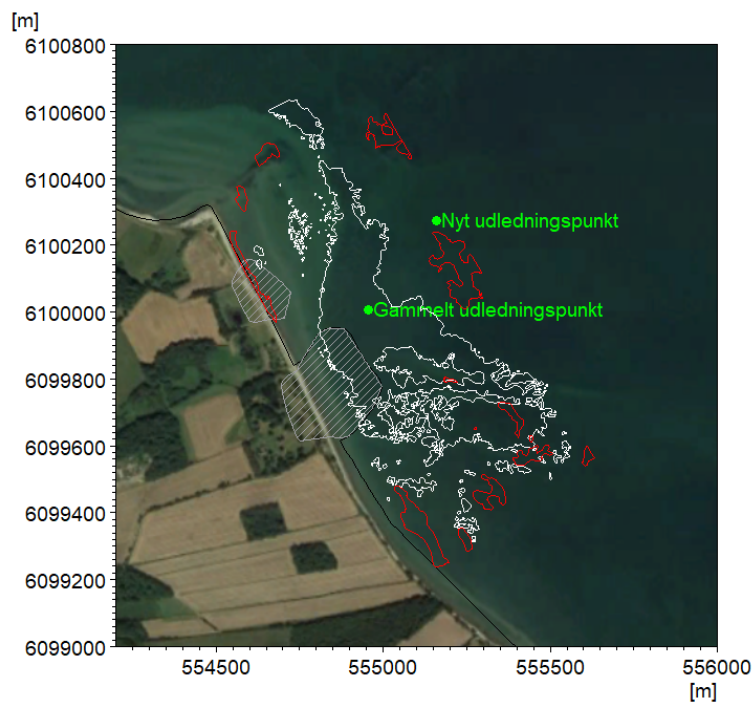
Modellen er valideret ved at sammenligne målte og modellerede vandstande ved Fynshavn Havn samt ved Assens havn, se afsnit 1.5. Da strøm og vandstande er direkte korrelerede ved projektlokaliteten, vurderes, at en korrekt gengivelse af vandstanden tæt ved projektlokaliteten også betyde en overordnet korrekt gengivelse af strømmen (som er styrende for sedimenttransporten), men lokale strømforhold er ikke valideret.

Rambøll er ikke i besiddelse af bølgemålinger ved projektlokaliteten, og derfor kan der ikke foretages en validering af disse. Da påvirkningen fra dæmningen på kystmorfologien primært baseres på relative betragtninger imellem modellerede eksisterende og fremtidige situation, vurderes det, at eventuelle unøjagtigheder udlignes. Dette er dog ikke tilfældet for spredningsmodellerne, hvorfor dette bør medtages i endelige konklusioner.

Vandstandsdataene fra Bagenkop, Bogense og Fynshavn er leveret fra DMI. Dataindsamlingsfrekvensen er 10 min og dataperioden er 2008 - 2019. Der er en del udfald i vandstandsmåleren ved bl.a. Bagenkop, hvilket har nødvendiggjort pre-processering af dataene før de er påsat modellen. Pre-processeringen har bl.a. inkluderet en seks timers løbende midling af dataene og i visse tilfælde en justering med repræsentative data fra tidsperioden omkring det manglende interval. Indflydelsen fra pre-processeringen af dataene forventes ikke at influere resultaterne nævneværdigt da der modelleres et scenarie med høje strømhastigheder og et med roligere forhold, ikke direkte perioder.

Vind- og trykdata til forceringen af modellen er baseret på såkaldte hindcast CFSR-data leveret fra NOAA. Data haves fra perioden 1979 – 2019 og opløsningen af dataene er $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ i sted og 1 time i tid.

I modellen til vurdering af udledning af rensed vand indføres en "simple source" af $70 \text{ m}^3/\text{h}$ vand forurenet med en koncentration på 1 pr. m^3 vand. "Simpel source" begrebet dækker over, at kildens vand ikke har nogen hastighed når det tilføres modellen. Udledningspunktet er sat til $(x,y)=(555.159, 6.100.272)$ baseret på UTM 32 svarende til ca. 500 m fra kysten. Kilden er placeret ved havbunden i det nederste beregningsslag.

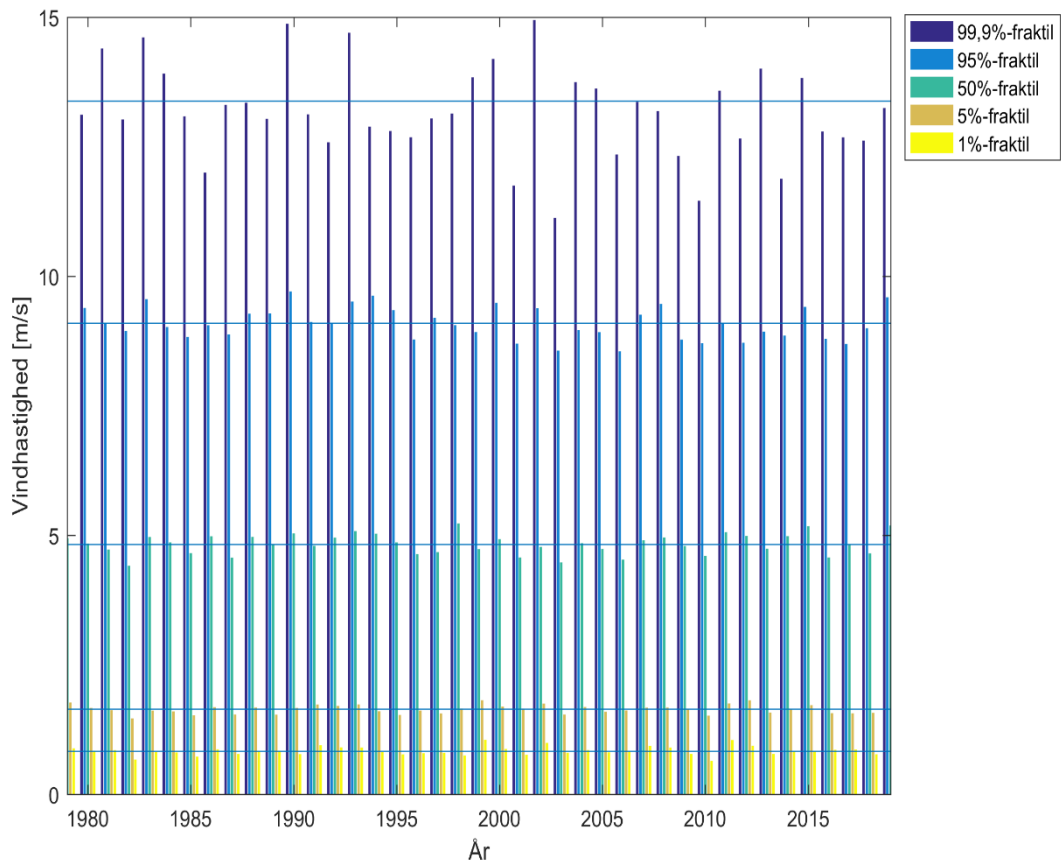


Figur 1-9. Udledningpunkt fra gammel og ny beregning på udledning af rensed vand. Rødt og hvidt omrids er områder med hhv. stenrev og ålegræs. Det er grå skraverede område er dæmningerne. Baggrundsbillede er fra [Google Earth, 2024].

1.4.3 Reference-år samt perioder anvendt i modelberegningerne

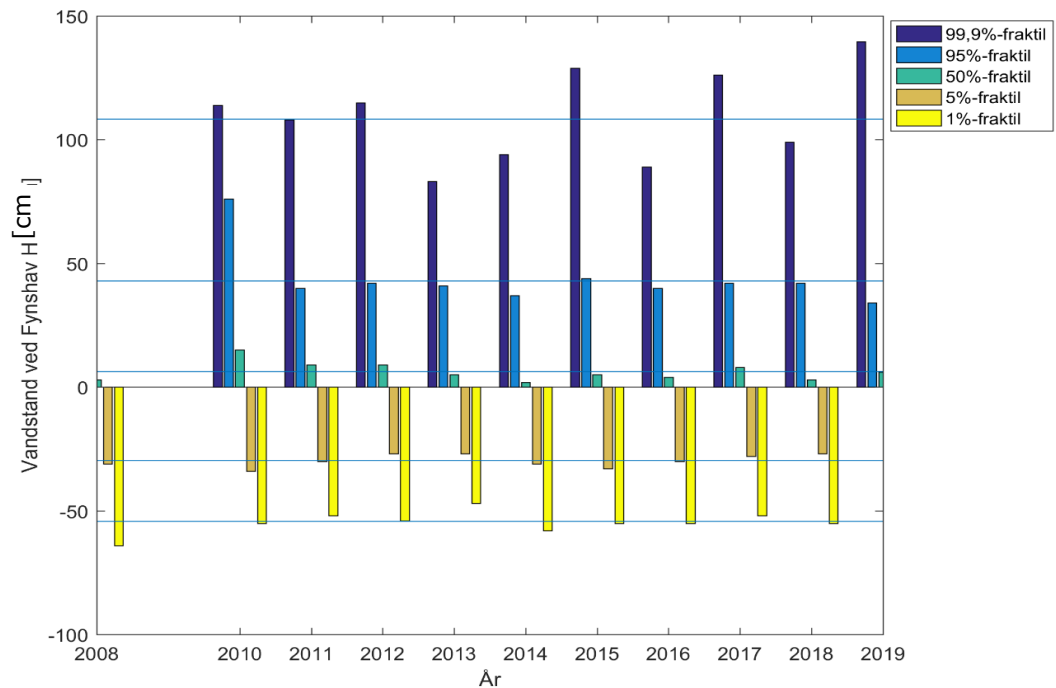
Strøm-, vandstand- samt bølgeforskel varierer typisk fra år til år og hen over året, hvorfor der i nærværende projekt er taget udgangspunkt i et såkaldt reference-år, som er repræsentativ for typiske strøm- og sedimenttransportforhold på lokaliteten.

Reference-året er defineret ud fra, at det repræsenterer et gennemsnitsår i forhold til vindhastighed samt vandstand tæt ved lokaliteten. Figur 1-10 angiver såkaldte fraktiler for vindhastigheder for hvert år i perioden 1979 – 2019 samt gennemsnitsfraktiler (angivet ved vandrette streger i figuren). Som det fremgår af figuren, er fraktilerne for år 2011 generelt relativt tæt ved de gennemsnitlige vindhastighedsfraktiler for hele perioden.



Figur 1-10. Sammenligning af vindstatistik i perioden 1979 – 2019 til fastsættelse af referenceår for modelberegningerne. Vandrette streget indikerer middelværdier for de forskellige fraktiler i perioden.

På samme vis er der i Figur 1-11 angivet såkaldte fraktiler for målte vandstande ved Fynshav-måleren for hvert år i perioden 2008 – 2019 samt gennemsnitsfraktiler (angivet ved vandrette streger i figuren). Som det fremgår af figuren, er fraktilerne for år 2011 generelt relativt tæt ved de gennemsnitlige vandstandsfraktiler for hele perioden, og dermed kan det konkluderes, at 2011 kan betragtes som værende et gennemsnit-sår mht. vandstande og vindhastigheder.

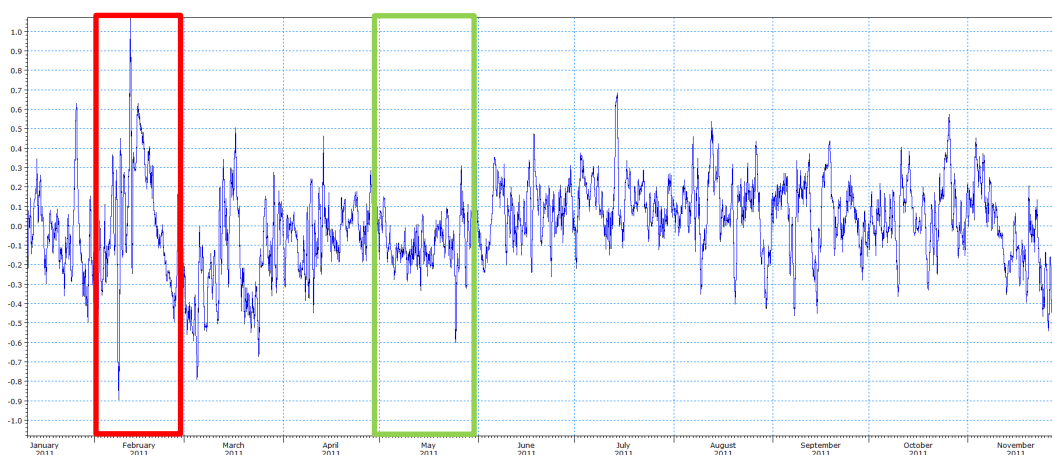


Figur 1-11. Sammenligning af vandstandsstatistik ved Fynshav-måleren i perioden 2008 – 2019 til fastsættelse af reference-år til modelberegningerne. Vandrette streget indikerer middelværdier for de forskellige fraktile i perioden. Der foreligger ikke data fra 2009.

Simuleringsperioder for sedimentspredningsberegningerne

I forbindelse med sedimentspredningsberegningerne er der udtaget to enkelt perioder i reference-året:

- Februar 2011; en periode, der repræsenterer forhold med høje strømhastigheder (rød markering på Figur 1-12).
- Maj 2011; en periode med mere rolige forhold (grøn markering på Figur 1-12).



Figur 1-12. Vandstandsvariationer i området ved Himmark Strand for reference-året, rød markering er den periode, der er udvalgt til at repræsentere en periode med højere strømhastigheder og vandstandsvariationer og grøn markering er den periode, der er udvalgt til at repræsentere mere stille forhold.

Simuleringsperioder for ændring i strømfelt

Modelberegninger af strømfelter til brug ved vurdering af dæmningernes indflydelse på kystmorfologien i området er gennemført for intensive forhold, hvor der forekommer høje strømhastigheder.

Simuleringsperioder for udledning af rensed vand

Rolige forhold vælges til modellering af udledning af rensed vand. Her fortynder forurening forventeligt langsommere hvilket leder til højere koncentrationer lokalt. Hvis disse resultater overstiger kritiske grænseværdier, bør intensive forhold også modelleres for at fastslå, om den øgede spredning tillige overstiger kritisk koncentration, men i et større område.

1.4.4 Sedimentkarakteristik og forudsætninger anvendt til simulering af sedimentspredning

På nuværende tidspunkt er det ikke fastlagt, hvilket materiale der anvendes til opbygningen af dæmningerne inderste sandfyldskerne, eller hvor materialet kommer fra. Ift. at gennemføre forholdsvis robuste miljøvurderinger med en høj grad af frihed for entreprenøren er der taget udgangspunkt i, at fyldsandet vil være marint indvundet. Den knuste klippes finstofindhold baseres på kornkurver for lignende sedimentfraktioner og sættes til 1%.

I forbindelse med modellering af sedimentspredning er det andelen og egenskaberne af de fineste sedimentfraktioner, der har interesse. De groveste fraktioner vil falde til bunds tilnærmelsesvist momentant og dermed ikke spredes uden for projektlokaliteten, mens de fineste fraktioner vil kunne transporteres og dermed give anledning til en påvirkning i en afstand fra dæmningerne.

Sedimentspredningsberegningerne vil dermed kun indeholde fraktionerne med kornstørrelse, $d < 0,125$ mm. Ift. at estimere indholdet af fint sand er der taget udgangspunkt i kornkurver fra et marint indvindingsområde nord for Lillebælt. Kornkurverne viser et indhold af sediment med $d < 0,125$ mm på op til omkring 4 %. I modelberegningerne antages $d < 0,125$ mm = 5 %.

Prøvenavn:	Gennemfald [%]	
	0.125 mm	0.063 mm
201.03.24 BS Vandel	3.8 / 3.9	2.4 / 2.5
17038 Sigteanalyse	0,3	0,3
Nysigte01	2,4	2,4
Nysigte02	2,4	2,3

Tabel 1-1. Gennemfaldsprocent af fine fraktioner i prøver af marint sand.

Fraktionsfordelingen for den fine fraktion $d < 0,125$ mm kendes ikke og det er i modelberegningerne, antaget at denne er ligelig opdelt i tre fraktioner: fint sand, grov silt og fin silt, se tabel 1-2.

Ud over en fordeling af det opgravede sediment på fraktioner har de enkelte fraktioners faldhastighed afgørende betydning for sedimentspredningen. Der foreligger ikke analyser af faldhastighederne for det anvendte materiale og der tages således udgangspunkt i faldhastigheder estimeret ved Stokes lov, W_s , af en enkelt fri partikel:

$$W_s = \frac{(\rho_s - \rho)gd^2}{18\nu}$$

I formlen indgår densiteterne for hhv. sediment og vand, ρ_s og ρ , tyngdeaccelerationen, g , kornstørrelsen d og vands dynamiske viskositet ν . Middelkornstørrelsen for hver fraktion er anvendt til at bestemme den gennemsnitlige faldhastighed.

I tabel 1-2. er fraktionsfordelingen, kornstørrelsen og faldhastigheder for de modellerede fraktioner samlet.

Fraktioner	Kornstørrelse [mm]			Indhold [%]	Faldhastighed [mm/s]
	Max	Min	Middel		
Fint sand	0,125	0,060	0,093	1/3	5,88
Grov silt	0,060	0,010	0,035	1/3	0,84
Fint silt	0,010	0,002	0,006	1/3	0,02

Tabel 1-2. Egenskaber for de modellerede sedimentfraktioner, herunder indhold af de modellerede fraktioner.

Dæmningerne opføres, som beskrevet i afsnit 1.2.1. I modelberegningerne er antaget, at hele fraktionen af fint materiale $d < 0,125$ mm udvaskes og således bringes i suspension, samt at materialet ledes ud i vandoverfladen, hvormed opholdstiden i vandsøjlen er længst mulig. Disse er konservative antagelser ift. vurderingen af påvirkningsområdet og påvirkningsniveauet som følge af sedimentspredning. Da alt finstoffet udvaskes fra materialet ved anvendelse til den store sydlige dæmning, antages det genanvendte materiale til den nordlige dæmning ikke at sprede kritiske mængde finstof.

Mængde og tidsestimater ved opførsel af dæmninger

Mængden af sandfyld og knust klippe anvendt i den sydlige dæmning er angivet i Tabel 1-3.

Dæmning	Knust klippe [m ³]	Sandfyld [m ³]	Dagsarbejder
Sydlig	17000	22600	55

Tabel 1-3 Estimerede mængde- og tidsforbrug ved etablering af dæmninger.

Gravemaskinernes kapacitet fastsættes ved antagelse om at kernematerialet udlægges med konstant hastighed spredt ud over alle 55 dage. Der regnes med 10 timers arbejdsdage. Det er desuden forudsat, at der arbejder 2 gravemaskiner ad gangen (én fra hver ende). Gravemaskinerne starter med den sydlige dæmning, hvorefter de går videre til den nordlige dæmning, hvor kernematerialet fra den sydlige dæmning anvendes.

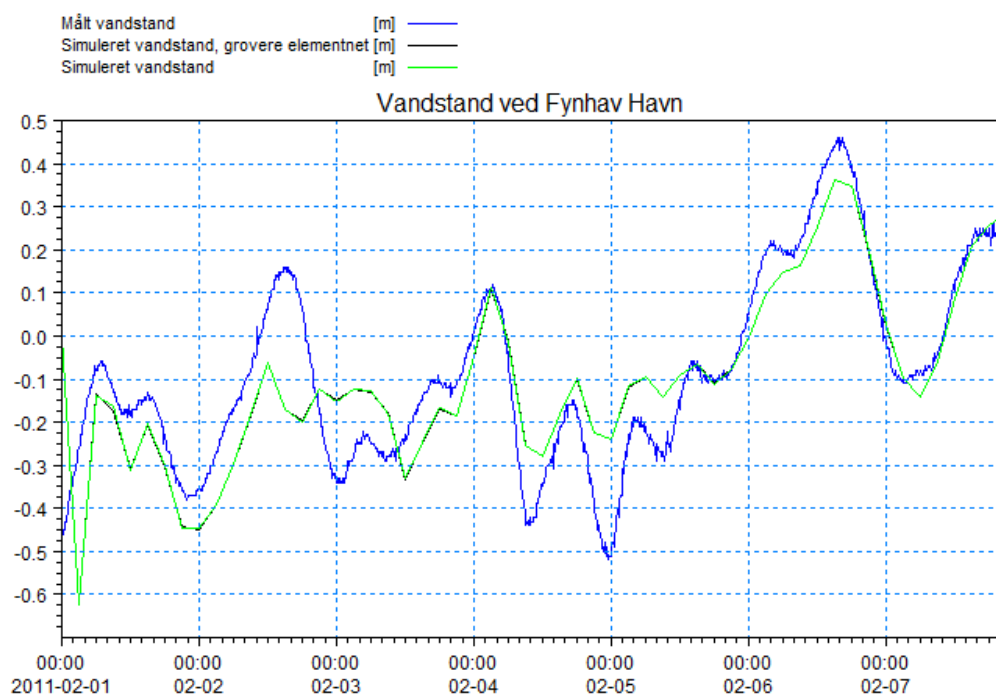
Teoretisk vil den fineste fraktion af sedimenterne (fint silt) forblive i vandsøjlen i 13-40 timer ved en vanddybde på mellem 1 m og 3 m, mens mellem fraktionen (silt) vil have en teoretisk opholdstid på mellem 20 min og 1 time.

1.5 Validering af model

Som tidligere nævnt valideres modellen ved sammenligning af målte og modellerede vandstande ved Fynshav Havn og Assens Havn. Endvidere sammenlignes modellerede vandstande omkring projektlokaliteten for to finheder af beregningsnettet, for at sikre, at resultaterne er uafhængige af det anvendte beregningsnet (modellen er konvergeret).

1.5.1 Validering af vandstandsforhold i model

Figur 1-13 og figur 1-14 viser et eksempel på målte og modellerede vandstande ved hhv. Fynshav Havn og Assens havn. Som det fremgår af figurerne, er der forholdsvis god overensstemmelse imellem målte og modellerede vandstande, på begge lokaliteter, og det forventes således at også strømhastighederne i modellen er af realistisk størrelsesorden.

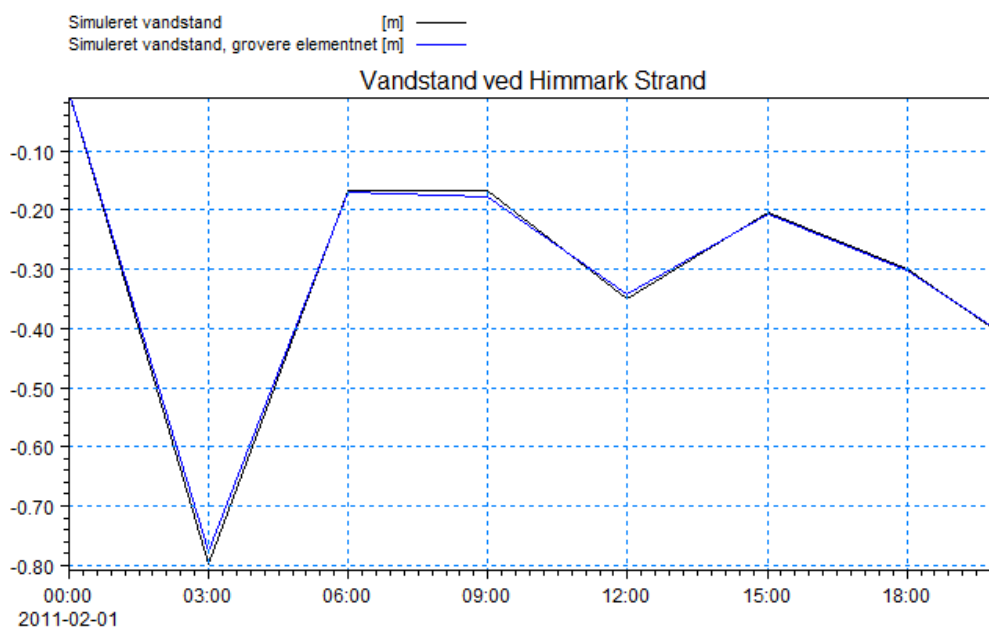


Figur 1-13. Målt (blå kurve) og simuleret (grøn og sort kurve) vandstandsvariation ved Fynshav Havn.



Figur 1-14. Målt (blå kurve) og simuleret (grøn og sort kurve) vandstandsvariation ud for Assens Havn.

Desuden viser ensartetheden af simuleringerne med fint og grovere beregningsnet, at konvergens er opnået. Figur 1-15 viser en sammenligning af vandstanden ved Himmark Strand for en kort periode med fint og grovere beregningsnet. Det ses, at de to simuleringer ligger meget tæt hvilket også er tilfældet ved Fynshav Havn og Assens Havn. Konvergens konstateres derfor opnået.



Figur 1-15. Simuleret vandstand ved Himmark Strand ved fin (sort kurve) og grovere (blå kurve) elementinddeling.

1.6 Resultater: Påvirkninger som følge af etablering af dæmninger

Spild og spredning af sedimenter i forbindelse med anvendelse af sandfyld til dæmnin-
gerne giver anledning til en udvaskning af de fineste sedimentfraktioner og dermed en
koncentration af suspenderet sediment (SSC) i vandsøjlen og potentielt aflejring af se-
dimenter uden for anlægsområdet. Som tidligere nævnt er det kun de fineste fraktio-
ner, der er inkluderet i sedimentspredningsberegningerne idet grovere fraktioner vil
falde til bunds tilnærmelsesvist momentant og dermed ikke bidrage til sedimentspred-
ning og påvirkning af andre områder.

De beregnede koncentrationer af suspenderet sediment er baseret på en dybdemidling
og afvigelser mellem faktiske og antagne vanddybder kan således have en signifikant
betydning for resultaterne.

Påvirkning, som følge af etablering af dæmningerne analyseres på baggrund af føl-
gende direkte output fra modelsimuleringerne:

1. Indflydelse fra etablering af sydlig dæmning på lokale strømforhold.
2. Indflydelse fra etablering af sydlig dæmning på koncentrationen af sediment i vandsøjlen.
3. Lagtykkelse af sedimenteret kernemateriale i området omkring projektløkation-
nen.

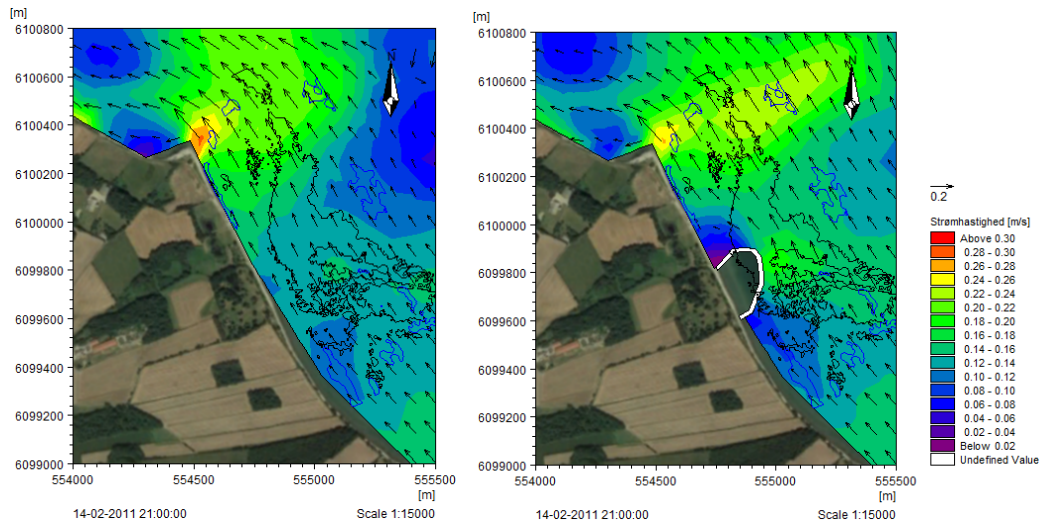
1.6.1 Indflydelse fra etablering af sydlig dæmning på lokale strømforhold

Etableringen af konstruktioner i vandet vil give anledning til en ændring af strømfor-
holdene, da den naturlige strømning blokeres i større eller mindre grad.

Strømmen transporterer sedimentet omkring dæmningen og således vil en accelera-
tion af strømmen potentielt medføre en erosion af havbunden, hvorimod en decelera-
tion af strømmen potentielt vil medføre en sedimentation. Erosionen vil dog kun ske i
det tilfælde, hvor strømhastigheden er tilstrækkelig kraftig til at transportere sedi-
mentet (dvs. at bundforskydningen fra strømmen er tilstrækkelig høj) og hvor der er sedi-
ment tilgængeligt til at ophvirvle og bringe i suspension. Sedimentationen sker efter-
følgende når strømhastigheden bremses tilstrækkelig til at det suspenderede sediment
kan bundfældes. Ændringer i strømforhold giver dog en første indikator af den potenti-
elle påvirkning af sedimenttransportforholdene.

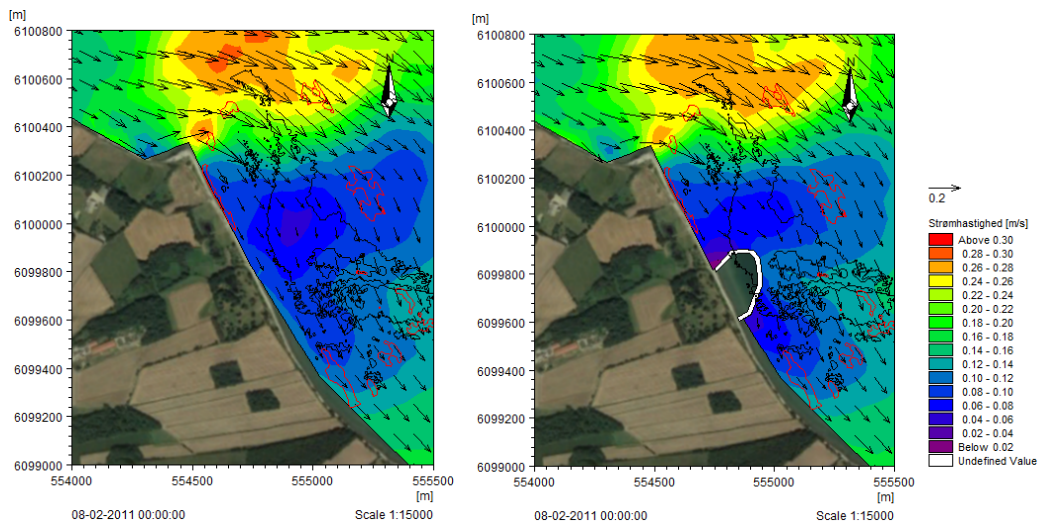
Figur 1-16 viser et øjebliksbillede af strømforholdene for et scenarie med nordgående
strøm med og uden dæmning. Ved sammenligning af de to scenarier kan det, som for-
venteligt, observeres, at der vil opstå et strøm-læ tæt ved kysten, da strømmen pres-
ses udenom dæmningen. Desuden ses, at der kan forekomme en reduktion af strøm-
hastigheden ved pynten nord for dæmningen.

Bemærk at strømforholdene er vurderet på baggrund af simuleringer foretaget med en
tidligere iteration af dæmningstracéet. Konklusionerne vurderes fortsat valide for det
opdaterede trace, da de to tracéer strækker sig omtrent lige langt ud i havet.



Figur 1-16. Strømførhold ved nordgående strøm i tilfældet uden dæmning (venstre) og med dæmning (højre). Ålegræs med sort omrids, stenrev med blå omrids. Baggrundsbillede er hentet fra [Google Earth, 2020].

Figur 1-17 viser et momentant strømbillede for et scenarie med sydgående strøm med og uden den sydlige dæmning. På samme vis som ved scenariet med nordgående strøm kan det observeres, at der vil opstå et strøm-læ tæt ved kysten. Strøm-læ er af mindre udbredelse og intensitet sammenlignet med scenariet med nordgående strøm. Dette skyldes formentlig, at den sydgående strøm ledes ud mod havet grundet pynten.

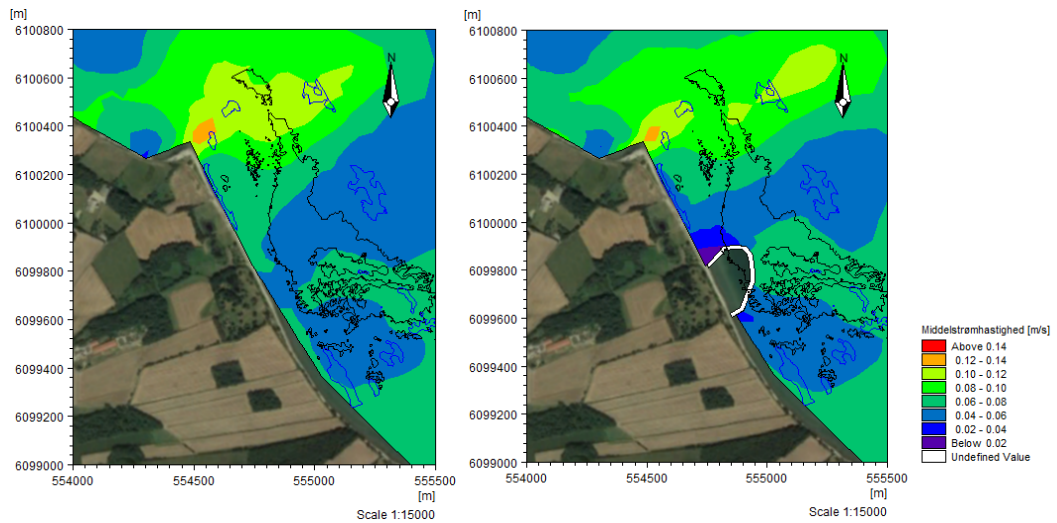


Figur 1-17. Strømførhold ved sydgående strøm i tilfældet uden dæmning (venstre) og med dæmning (højre). Ålegræs med sort omrids, stenrev med rødt omrids. Baggrundsbillede er hentet fra [Google Earth, 2020].

Figur 1-18 viser middelstrømhastigheden på projektlوکationen i en periode med generelt høje strømhastigheder med og uden den sydlige dæmning. Det ses, at middelstrømhastigheden ikke ændres markant ved den nordlige pynt. Strømlæet på den nordlige side af dæmningen ses tydeligt.

Etableringen af den nordlige dæmning med materiale fra den sydlige leder til en situation hvor den nordlige dæmning etableres og den sydlige reduceres til en høftelig-nende konstruktion ud i vandet. Grundet "høften" vil der formentlig forekomme en reduktion af strømhastigheden mellem de to dæmninger svarende til læet nord for den

modellerede dæmning. Den høftelignende rest af den sydlige dæmning kan give anledning til hvirveldannelse op mod den nordlige dæmning ved nordgående strøm.



Figur 1-18. Middelstrømhastighed i tilfældet uden dæmning (venstre) og med dæmning (højre). Ålegræs med sort omruds, stenrev med blå omruds. Baggrundsbillede er hentet fra [Google Earth, 2020].

Strømfeltsændringernes indflydelse på kystmorfologien i projektområdet

De lokale ændringer i strømfeltet kan give anledning til en lokal og kortvarig ændring i sedimentations-/erosionsforholdene. Disse ændringer forventes dog ikke at være større end hvad kan forventes af den naturlige årlige variation af kysten.

Eventuelle ændringer i kysten forårsaget af den midlertidige ændring af strømfeltet forventes at udlignes med tiden til forhold der minder om de nuværende.

1.6.2 Indflydelse fra etablering af dæmninger på sedimentkoncentrationer og -aflejringer

Udvaskning og spredning af sedimenter, som følge af anvendelse af sandfyld til dæmningerne, vil give anledning til en forhøjet SSC i vandsøjlen og aflejringer af sediment udenfor anlægsområdet. Vurderinger af koncentrationsniveauer samt aflejringstykkelser baseres på simuleringer af to forskellige perioder:

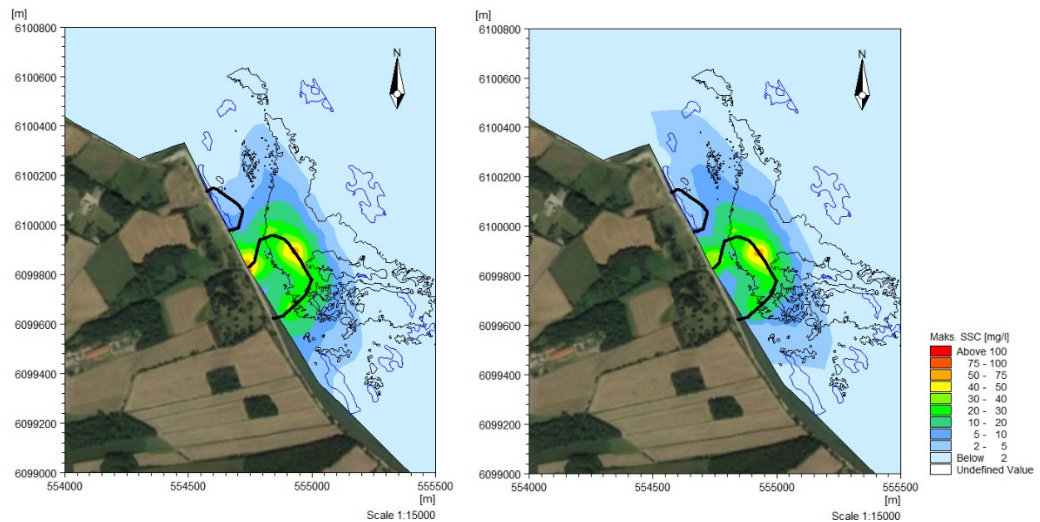
- En periode repræsenterende høje strømhastigheder og deraf stor spredning af sedimenter og lave koncentrationer i vandsøjlen.
- En periode repræsenterende roligere forhold og forholdsvis lave strømhastigheder og deraf lille spredning af sedimenter og et højt koncentrationsniveau.

Resultater fra sedimentspredningsberegningerne består af:

- Arealplots, der viser maks. og middel SSC.
- Varighed for overskridelse af $SSC \geq 10$ mg/l.
- Lagtykkelser for aflejret sedimentlag beregnet under forudsætning af en densitet på 1500 kg/m^3 .

Maksimale og gennemsnitlige værdier af sedimentkoncentration i vandsøjlen

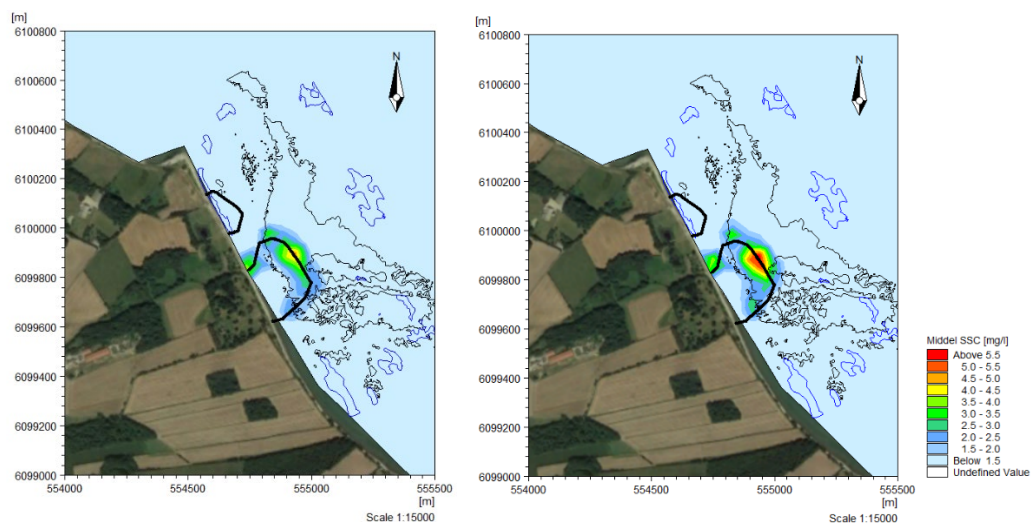
Figur 1-19 viser en sammenligning af den maksimale sedimentkoncentration i vandsøjlen fra en måned med rolige forhold (venstre) og en måned med højere strømshastigheder (højre). Der ses lidt større udbredelse ved de kraftigere strømforhold. Dette er forventeligt, da de kraftigere strømme hurtigere leder sedimentet væk og spreder det ud over et større område.



Figur 1-19. Maksimale koncentrationer af sediment i vandsøjlen i tilfældet med rolige strømforhold (venstre) og høje strømshastigheder (højre). Ålegræs med sort omrids, stenrev med blå omrids, dæmninger med fedt sort omrids. Baggrundsbillede er hentet fra [Google Earth, 2020].

På Figur 1-20, som viser middel koncentration af suspenderet sediment (SSC), for en måned med milde forhold (venstre) og en måned med højere strømshastigheder (højre), ses samme tendens, som ved maks. SSC.

Grunden til, at der forekommer en større påvirkning omkring midten af den sydlige dæmning, er, at der her i en periode arbejder to gravemaskiner forholdsvis tæt på hinanden.

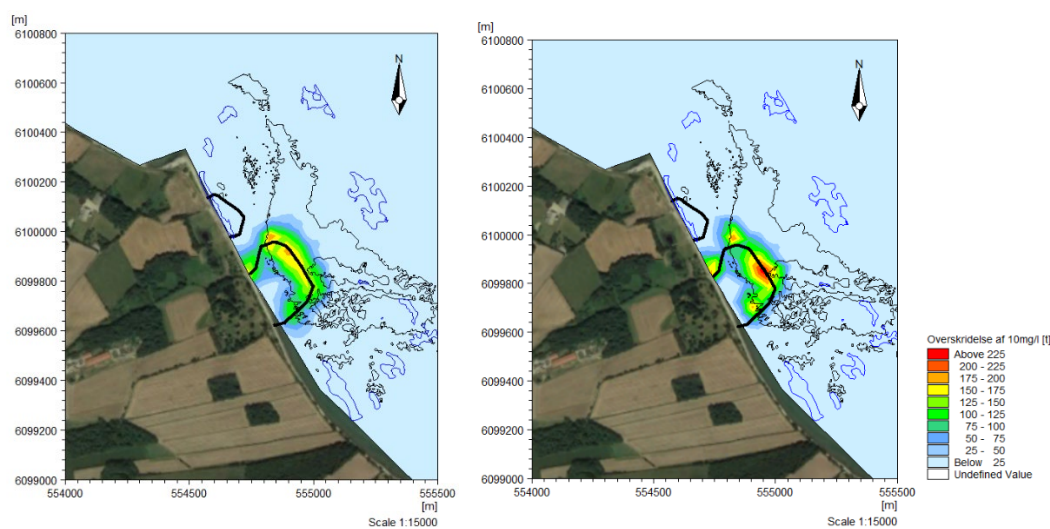


Figur 1-20: Middel SSC i vandsøjlen i tilfældet med rolige strømforhold (venstre) og høje strømshastigheder (højre). Ålegræs med sort omrids, stenrev ned blå omrids, dæmninger med fedt sort omrids. Baggrundsbillede er hentet fra [Google Earth, 2020].

Overskridelsesperioder for 10 mg/l

Figur 1-21 viser varighed for overskridelse af koncentration af suspenderet sediment (SSC) ≥ 10 mg/l for en stille periode (venstre) og periode med høje strømhastigheder (højre).

Det ses, at de kraftigere vejrforhold fører sedimentet mere mod nord, mens det ved roligere forhold koncentrerer tættere omkring dæmningen.

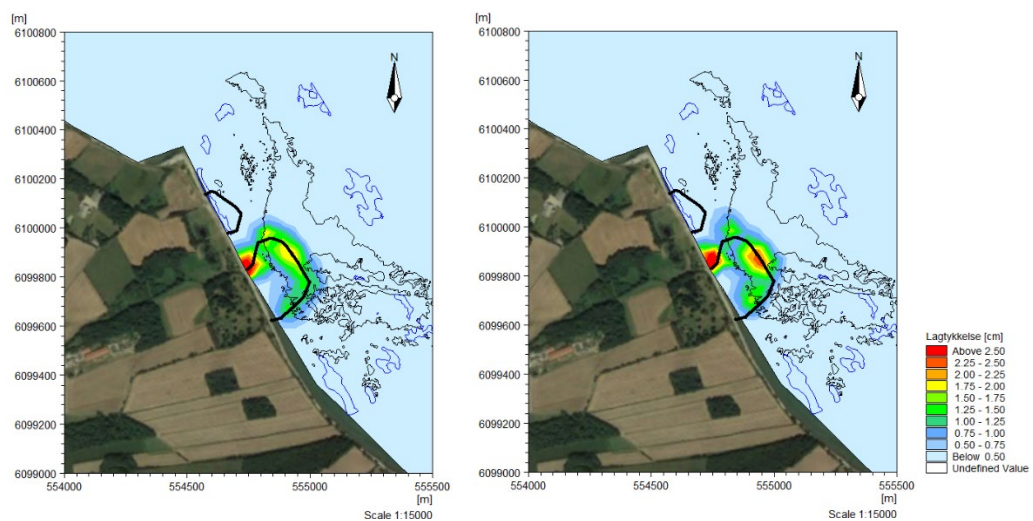


Figur 1-21: Varighed for overskridelse af SSC ≥ 10 mg/l for en stille periode (venstre) og en periode med høje strømhastigheder (højre). Ålegræs med sort omrids, stenrev med blå omrids, dæmninger med fedt sort omrids. Baggrundsbillede er hentet fra [Google Earth, 2020].

Af figur 1-21 fremgår det, at varigheden for overskridelse af en koncentration af suspenderet sediment (SSC) på 10 mg/l vurderes at være på maksimalt omkring 225 timer. Denne overskridelse vil dog forekomme mestendels i et område der optages af dæmningens fodaftryk.

Lagtykkelse af sedimenteret sandfyld i området omkring projektlokationen

Figur 1-22 viser, at sedimenterne primært aflejres inden for kort afstand fra dæmningerne og nær den nordlige landforbindelse.



Figur 1-22: Lagtykkelse af sedimenteret materiale efter endt simulering for en stille periode (venstre) og en periode med højere strømhastigheder (højre) ved antagelse af en densitet for det aflejrede materiale på 1500 kg/m^3 . Ålegræs med sort omrids, stenrev med blå omrids, dæmninger med fedt sort omrids. Baggrundsbillede er hentet fra [Google Earth, 2020].

1.7 Resultater: Kumulative effekter ved samtidige arbejder på Nordborg Resort

I forbindelse med etableringen af Nordborg Resort forekommer der følgende forhold, der giver anledning til en påvirkning af SSC i vandsøjlen:

- Potentielt frigravning af rammehindringer i forbindelse med pæleramninger på vand
- Øget udledning af suspenderet sediment som følge af større vandføring i Gildbækken

Forekommer arbejderne ved Nordals på samme tid som etableringen af dæmningerne ved Himmark Strand kan der forekomme en kumulativ effekt.

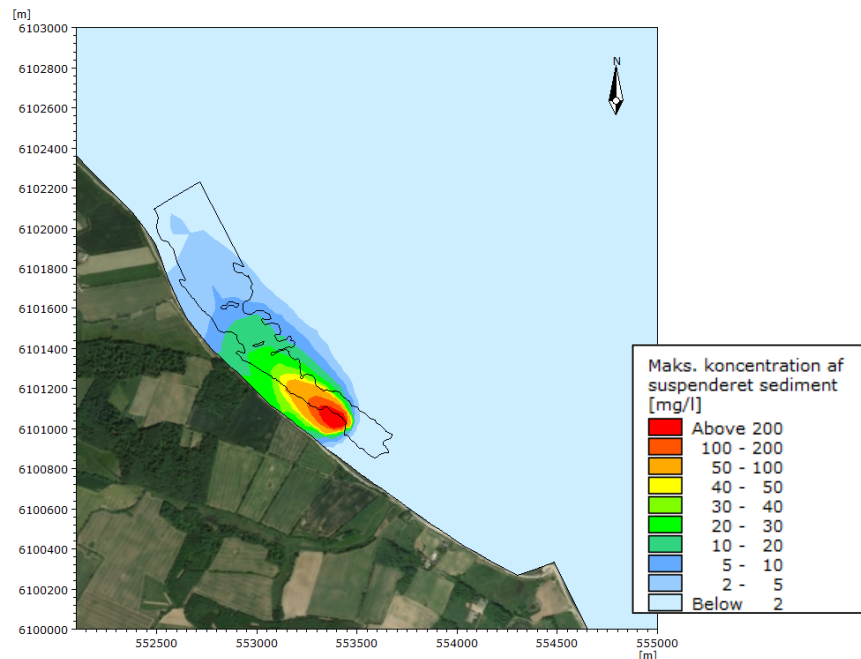
I det følgende sammenlignes resultater for analyser på sedimentspredning gennemført for Nordborg Resort projektet med resultater fra nærværende projekt omhandlende etableringen af dæmninger ved Himmark Strand for at vurdere om der kan opstå kumulative effekter ved udførsel af begge projekter samtidigt.

1.7.1 Kumulative effekter på sedimentspredning

Forøgede sedimentkoncentrationer i området ved Himmark Strand, som følge af samtidige arbejder ved Himmark Strand og Nordborg Resort, kan kun forekomme i forbindelse med sydgående strøm, hvor en sedimentfane fra arbejderne fra resortet potentielt kan påvirke området ved Himmark Strand.

Figur 1-23 viser den maksimale udbredelse af SSC, som følge af gravearbejder ved projekt Nordborg Resort. Påvirkningsområdet, hvor maks. SSC overstiger 2 mg/l ligger inden for ca. 1200 m fra gravepositionen. Afstanden til pynten er ca. 1500 m og ved sydgående strøm sker der her en søværts afbøjning af strømmen jf. Figur 1-17. Afstanden fra pynten og ned til den nordligste dæmning, hvor der kan forekomme et sedimentspild, er ca. 200 m.

Det vurderes derfor, at der ikke kan forekomme en kumulativ effekt af sedimentkoncentrationerne som følge af samtidige arbejder ved Himmark Strand og Nordborg Resort.



Figur 1-23: Maksimalt forekommende sedimentkoncentrationer stammende fra frigravning af rammehindringer og tilbagefyld [Rambøll, 2020]. Forekomst af naturtypen stenrev (1170) er angivet med sort. Baggrundsbillede er fra [Google Earth, 2024].

1.8

Diskussion af usikkerheder og konservatisme i beregningerne

1.8.1

Usikkerheder i forbindelse med analyse

Sedimenttransport og kystudvikling, der er drevet af vind og bølger som er varierende af natur, er dynamisk og kan variere fra år til år. Derfor skal resultater fra den nærværende analyse betragtes som tendenser baseret på referenceperioder for kraftige og milde forhold. Resultaterne er dermed ikke et udtryk for den eksakte effekt fra etableringen af dæmningerne.

Koncentrationer af suspenderet sediment er baseret på dybdemidlede resultater, hvorved det faktiske vandvolumen har stor betydning for resultaterne. Selvom der foreligger forholdsvis detaljerede data omkring vanddybder i projektområdet, kan den årlige variation i kystprofilen variere kraftigt. Derfor kan resultater for koncentrationer være behæftet med en vis usikkerhed.

Strømfeltet brugt til generering af resultaterne for spredning tager ikke højde for effekten af den progressive forlængelse af dæmningen til havs. Da strømfelterne som vist i afsnit 1.6.1 øges marginalt umiddelbart ud for den sydlige dæmning grundet blokkering af flow må en lidt ændret udbredelse af sediment end den viste kunne forekomme.

Da genererede bølgeparametre ikke kan valideres grundet mangel af måledata, påhæftes strømfeltet en vis usikkerhed, da bølgepåvirkning indgår her. Til vurdering af kystudvikling baseret på relative betragtninger imellem en modelleret før- og

eftersituation udlignes effekten, men for spredningsmodelleringerne kan usikkerhed i bølgeparametre lede til usikkerhed i spredningsresultater.

1.8.2 Konservatisme fra forudsætninger

Alt sediment i de spredbare fraktioner antages udvasket og spredt til vandsøjlen. Reelt vil meget af materialet blive momentant aflejret, hvis materialet dumpes, mens antagelsen er mindre konservativ i tilfælde af at sandet indpumpes.

Til gennemførelse af nærværende analyser har der været relativt begrænsede informationer vedr. sedimentkarakteristik. For modelberegninger af sedimentspredning vil et andet indhold af fint materiale, en anden andel som reelt udvaskes eller en anden fraktionsfordeling betyde en ændring af resultaterne. På en række parametre vurderes dog, at der er anvendt konservative forudsætninger.

Konservatismen fra disse antagelser vurderes til sammen at udgøre en overestimering af resultaterne, der mere end udligner eventuelle usikkerheder forbundet med effekten af dybdemidling af resultater, udelukkelsen af dæmningen fra det hydrodynamiske grundlag og manglen på validering af bølgeparametre som beskrevet i afsnit 1.8.1.

