Teknik & Miljø
Esbjerg Kommune

Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen
Danish Transport, Construction and Housing Authority

Scopingudtalelse

(afgrænsning af miljøkonsekvensrapportens indhold)

Esbjerg Havn etape 5 og 6

September 2018

20. september 2018

Indhold

Scopingudtalelse (afgrænsning af miljøkonsekvensrapportens indhold) **5**

Emner på søterritoriet **9**
Internationale og nationale beskyttelsesforhold i Vadehavet 9
Kystmorfologi, morfologi og sedimentspredning 10
Natura 2000-områder og bilag IV-arter 11
Vandområdeplaner 13
Marinbiologi 13
Skibstrafik 13
Marinarkæologi 14
Råstoffer 14

Emner på land **15**
Befolkning og sundhed 15
Trafik 15
Støj og vibrationer 16
Natur på land 16
Arealforbrug 16
Jord- og grundvandsforurening 16
Vandafledning 17
Luft og emissioner 17
Klima 17
Landskab og kulturhistorie 18
Visuelle forhold 18
Materielle goder 18

Referencer **21**

Scopingudtalelse (afgrænsning af miljøkonsekvensrapportens indhold)

I det følgende præsenteres scopingudtalelse (afgrænsning af indholdet af miljøkonsekvensrapporten) for miljøvurderinger i forbindelse med udvidelsen af Esbjerg Havn etape 5 og 6.

Notatet skal identificere de emner, som potentielt kan have væsentlig indvirkning på miljøet, direkte eller indirekte.

Scopingen tager udgangspunkt i de miljøfaktorer, som er defineret i hhv.:

For de dele af anlægget der er beliggende på land:
- § 20 stk. 4 og stk. 5 i Bekendtgørelse af lov om miljøvurdering af planer og programmer og af konkrete projekter (VVM) (LBK nr. 448 af 10/05/2017).

For de dele af anlægget, der er beliggende på søterritoriet:
- § 2, stk. 1 og stk. 3 i Havneloven (LBK nr. 457 af 23/05/2012), jf. bekendtgørelse nr. 450 af 08/05/2017 om vurdering af virkning på miljøet (VVM) af projekter vedrørende erhvervshavne og Københavns Havn samt om administration af internationale naturbeskyttelsesområder og beskyttelse af visse arter for så vidt angår anlæg og udvidelse af havne.

Det bemærkes at scopingen for anlæg på land (LBK nr. 448 af 10/05/2017) både dækker miljøvurdering af kommuneplantillæg og lokalplan samt miljøvurdering af det konkrete projekt.

Trafik- Bygge- og Boligstyrelsen er VVM-miljømyndighed for havet og Esbjerg Kommune er VVM-miljømyndighed på land. Udkast til scoping har for Trafik- Bygge- og Boligstyrelsens vedkommende været i offentlig høring - inklusiv myndigheds- og interessenthøring fra den 29. november-13. december 2017. I samme periode har udkast til scoping været i intern høring i Esbjerg Kommune. På baggrund af de indkomne høringssvar er udkastet tilrettet og har været offentliggjort i den idéhøring, som Esbjerg Kommune har afholdt fra den 14. marts – 18. april 2018, således at offentligheden har kunnet orientere sig og indsende kommentarer og forslag til scoping. Efter afslutning af idéhøringen er dette endelige scopingnotat udarbejdet.

Ved Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsens myndighedshøring indkom bemærkninger og tilføjelser fra Miljøstyrelsen, Søfartsstyrelsen, Kystdirektoratet, Fanø Kommune, Fiskeristyrelsen, Danmarks Naturfredningsforening, Foreningen Fannikerdagen, Foreningen Everten "Rebekka" af Fanø, Socialistisk Folkeparti SF Fanø, Fanø Sejlklub, Landbruget Farm Søgaard, Danmarks Naturfredningsforening Fanø, Foreningen FanøNatur samt Fanø Fuglestation.

Ved Esbjerg Kommunes idéfase til miljøkonsekvensrapportens indhold indkom bemærkninger og forslag fra Fanø Kommune, Nationalpark Vadehavet, Slots og Kulturstyrelsen, Erhvervsstyrelsen, Fanø og Esbjerg Kommuner, East Town Up, borger på Darumvej 103, borger på Mådevej 8, Lokalråd Esbjerg Øst, borger på Paghs Allé 15, borger Michael Lauridsen, borger på Teglværksgade 31, 1. th, borger på Teglværksgade 31, st. th, Thomas Barrett, Danmarks Naturfredningsforening Fanø, Danmarks Naturfredningsforening Esbjerg samt Fanø Fjernvarme.

Der gennemføres Espoo høring i Tyskland og Holland vedrørende potentielle grænseoverskridende effekter på miljøet, samt høring i UNESCO vedrørende potentielle effekter på Vadehavets værdi som verdensarvsområde. Eventuelle ønsker til miljøvurderinger fra disse parter vil indgå i miljøkonsekvensrapporten.

De oplysninger, som bygherren skal give om det ansøgte projekt i miljøkonsekvensrapporten, skal på en passende måde påvise, beskrive og vurdere projektets væsentlige direkte og indirekte virkninger på følgende faktorer:

1) Befolkningen og menneskers sundhed

2) Den biologiske mangfoldighed med særlig vægt på arter og naturtyper, der er beskyttet i henhold til Rådets direktiv 92/43/EØF af 21. maj 1992 om bevaring af naturtyper samt vilde dyr og planter og Europa-Parlamentets og Rådets direktiv 2009/147/EF af 30. november 2009 om beskyttelse af vilde fugle

3) Jordarealer, jordbund, vand, luft og klima

4) Materielle goder, kulturarv og landskab

5) Samspillet mellem faktorerne i nr. 1-4.

De ovenstående miljøfaktorer fremgår af bekendtgørelser (LBK nr. 448 af 10/05/2017) og (BEK nr. 450 af 08/05/2017). Miljøfaktorerne er oplistet i nedenstående skema sammen med de emner, der forventes at blive anvendt som overskrifter i miljøkonsekvensrapporten (Se Tabel 1). Formålet med skemaet er at vise, hvilken af de overordnede miljøfaktorer hvert emne i miljøkonsekvensrapporten primært relaterer sig til.

Tabel 1: Relevante miljøfaktorer og emner i miljøkonsekvensrapporten. Der vil, hvor det er relevant ske en vurdering i såvel anlægs- som driftsfase.

Miljøfaktorer	Emne i miljøkonsekvensrapporten
Befolkningen og menneskers sundhed	• Befolkning og sundhed • Trafik • Skibstrafik • Støj og vibrationer
Den biologiske mangfoldighed med særlig vægt på arter og naturtyper beskyttet i henhold til habitatdirektivet og fuglebeskyttelsesdirektivet	• Natura 2000 • Bilag IV arter • Vandområdeplaner • Natur på land • Marinbiologi
Jordarealer	• Arealforbrug
Jordbund	• Kystmorfologi, morfologi og sedimentspredning • Jord- og grundvandsforurening
Vand	• Vandafledning
Luft	• Luft og emissioner
Klima	• Klima

Miljøfaktorer	Emne i miljøkonsekvensrapporten
Materielle goder	• Råstoffer, ressourcer, materialer og affald
Kulturarv og landskab	• Landskab og kulturhistoriske forhold • Visuelle forhold • Marinarkæologi

Ud over behandling af de nævnte specifikke miljøfaktorer i Tabel 1vil miljøvurderingerne og afrapporteringen i miljøkonsekvensrapporten følge formål og specifikationer til omfang og indhold som angivet i bekendtgørelse nr. 450 af 08/05/2017 og i Lovbekendtgørelse nr. 448 af 10/05/2017). Nedenstående er en opsummering af krav til omfang og indhold, jf. Lovbekendtgørelse nr. 448, §20 og bilag 7:

1. En beskrivelse af projektet med oplysninger om projektets placering, udformning, dimensioner og andre relevante særkender.
2. En beskrivelse af de rimelige alternativer, som bygherren har undersøgt, og som er relevante for projektet og dets særlige karakteristika, og en angivelse af hovedårsagerne til den valgte løsning under hensyntagen til projektets indvirkninger på miljøet.
3. En beskrivelse af de relevante aspekter af den aktuelle miljøstatus (referencescenarie) og en kort beskrivelse af dens sandsynlige udvikling, hvis projektet ikke gennemføres.
4. En beskrivelse af de miljøfaktorer, der kan forventes at blive berørt i væsentlig grad af projektet (se Tabel 1).
5. En beskrivelse af projektets forventede væsentlige indvirkninger på miljøet. Beskrivelsen af de forventede væsentlige virkninger på ovenstående faktorer beskrives og vil omfatte projektets direkte virkninger og i givet fald dets indirekte, sekundære, kumulative, grænseoverskridende, kort-, mellem- og langsigtede, vedvarende eller midlertidige samt positive eller negative virkninger. I beskrivelsen vil der blive taget hensyn til de miljøbeskyttelsesmål, der er fastlagt på EU- eller medlemsstatsplan, og som er relevante for projektet.
6. En beskrivelse af, hvilke metoder eller beviser der er anvendt til identificeringen og forudberegningen af de væsentlige virkninger på miljøet.
7. En beskrivelse af de foranstaltninger, der påtænkes truffet for at undgå, forebygge eller begrænse og om muligt neutralisere forventede væsentlige skadelige indvirkninger på miljøet.
8. En beskrivelse af projektets forventede skadelige virkninger på miljøet som følge af projektets sårbarhed over for større ulykker og/eller katastrofer, som er relevante for det pågældende projekt.

Angående punkt 2.
Den nuværende størrelse og udformning og anvendelse af havneudvidelsen er begrundet i en markedsanalyse, som Esbjerg Havn har udført i efteråret 2016.

Miljøkonsekvensrapporten vil indeholde et afsnit, hvor der redegøres for baggrund for udvidelsesplanerne, herunder for den gennemførte markedsanalyse og fremskrivning af behov for kajer og landareal. I den forbindelse behandles de arealmæssige forslag, der er indkommet i idéfasen. Der er modtaget følgende bemærkninger om alternative arealer: Andrup, DFDS-Terminalen, fiskerihavnen, 6. bassin og lystbådehavnen når denne bliver flyttet til Esbjerg Strand, dry port concept og 999-arealerne. Ydermere påpeges konkurrence med tyske, hollandske og engelske havne. Det bemærkes dog, at udvidelse af andre havne vil ikke indgå som et rimeligt alternativ. Dryport vurderes ikke at være et relevant alternativ da behovet er kaj og kajnære arealer. Dryport

behandles således ikke som et alternativ. De eksisterende uudnyttede kajer og kajnære arealer indgår naturligvis i redegørelsen for det udvidede arealbehov.

I den videre proces vil havnen og rådgiver arbejde videre med at præcisere projektbeskrivelsen, og herunder hvilke virksomhedstyper der fordrer kajnær placering. Esbjerg Kommune bemærker, at virksomhedstyper, som mandskabs- og kontorfaciliteter for skibsmæglere, rederier og lignende erhverv, der arbejder med skibsfart og maritime aktiviteter ikke kan begrunde en havneudvidelse som denne. De kan alene forekomme som mulige virksomheder, der ikke vil optage nævneværdige arealer på havnen.

Et projekt uden øen (etape 6) vurderes ikke at være et alternativ i Miljøvurderingslovens forstand. Hvis miljøvurderingerne viser, at projektet medfører en væsentlig miljøpåvirkning af Vadehavet, kan et scenarie uden etape 6 blive inddraget som en afværgeforanstaltning.

Andre former for ændringer i projektets størrelse eller udformning kan ligeledes blive aktuelle, hvis miljøvurderingerne viser behov herfor. Esbjerg Kommune og Trafik-, Bygge og Boligstyrelsen vil i samarbejde vurdere behovet for alternativer.

Angående punkt 8.
Der foretages en generel beskrivelse og vurdering i forhold til mulig placering af risikovirksomheder (herunder håndtering og oplag af farligt gods) på havneudvidelsen, herunder om der er områder, der bør friholdes for placering af risikovirksomheder.

Desuden foretages vurdering af risiko i forbindelse med ulykkessituationer på såvel etape 5 som 6. Særligt undersøges om der er specielle forhold der skal undersøges pga. etape 6' placering på en ø.

I nedenstående afsnit følger en beskrivelse af de miljøfaktorer, jvf. Tabel 1, som indtil videre er identificeret som relevante i dette projekt. Emnerne er inddelt efter emner på søterritoriet og emner på land.

Natura 2000-områder og bilag IV-arter omfatter både forhold på havet og på land. For overskuelighedens skyld foreslås det, at beskrivelser og vurderinger heraf samles i ét kapitel i miljøkonsekvensrapporten og i nedenstående gennemgang beskrives det som et emne på søterritoriet, idet de fleste interesser er knyttet til søterritoriet.

Emner på søterritoriet

I det følgende gennemgås de relevante emner på havet samt et udkast til beskrivelse af, hvordan hvert emne foreslås behandlet i miljøkonsekvensrapporten.

Hvor der ikke står andet, forventes de enkelte emner behandlet og vurderet på baggrund af eksisterende data, der kan indhentes fra f.eks. Esbjerg Kommune, relevante databaser, interesseorganisationer mv. Det er noteret, hvis det forventes, at der skal anvendes modelberegninger eller foretages undersøgelser i felten.

De nedenstående emner anses for at være de mest relevante i forhold til de mulige effekter på miljøet, og de vil blive gransket i miljøkonsekvensrapporten:

- International og national beskyttelse af Vadehavet inklusiv Natura 2000-områder, UNESCO og bilag IV-arter
- Kystmorfologi, morfologi og sedimentspredning, som inkluderer potentielle effekter fra etablering af landområder på tidevandet, strømningsforhold og bølger.

Hvis der konstateres væsentlige miljøpåvirkninger vil projektet ikke blive realiseret.

Internationale og nationale beskyttelsesforhold i Vadehavet

Der er en række beskyttelser i Vadehavet, som Grådyb Tidevandsområde er en del af. Det drejer sig om følgende:

- Natur- og vildtreservat (Vadehavsbekendtgørelsen)
- Internationale naturbeskyttelsesområder (Natura 2000)
- Tilstedeværende Bilag IV-arter
- Vandområdeplaner
- Nationalpark Vadehavet (Nationalparkloven)
- Vadehavsplanen (Det Trilaterale Samarbejde om Vadehavet)
- Særligt følsomt havområde (PSSA område)
- UNESCO Verdensarv.

De enkelte udpegninger gælder for forskellige dele af geografien og indeholder en række beskyttelses- og benyttelseshensyn for Vadehavet. Der er for eksempel tale om beskyttelse af naturforhold og dyreliv samt regulering af arealanvendelse og adfærd i bestemte områder.

Disse beskyttelser vil være centrale emner i miljøkonsekvensrapporten, som derfor vil vurdere og redegøre for projektets forhold til beskyttelseshensynene og for hvorledes, nationale og internationale myndigheder og høringsparter inddrages i plan- og miljøvurderingsprocessen.

Det bemærkes, at etape 5 ligger i området, der er fredet jf. Vadehavsbekendtgørelsen. I løbet af VVM forløbet vil de ansvarlige myndigheder blive inddraget i processen, således at forhold vedrørende dispensation/tilladelse efter Vadehavsbekendtgørelsen kan fastlægges.

Det bemærkes yderligere, at den foreslåede udvidelse af Esbjerg Havn ligger udenfor det geografiske område, som er omfattet af de internationale beskyttelser.

I den forestående miljøkonsekvensrapport bliver det afdækket om der er væsentlige påvirkninger fra havneudvidelsen, som går ind i området med international beskyttelse. Først derefter kan det vurderes, om havneudvidelsen kan realiseres eller ej.

På nuværende tidspunkt er de vurderinger, der relateres til Natura 2000 og vandområdeplaner specificeret i afsnit om 'Natura 2000-områder og bilag IV arter' (side 11) samt 'Vandområdeplaner' (side 13). I miljøkonsekvensrapporten vil der blive udført de vurderinger, der yderligere måtte følge af de øvrige beskyttelseshensyn.

Kystmorfologi, morfologi og sedimentspredning

Beskrivelse, modellering og vurdering vedrørende ændringer i bølgeklima, vandstands- og strømforhold, kystmorfologi, morfologi, vandtilstrømning og sedimentspredning behandles af DHI og afrapporteres i baggrundsrapport til miljøkonsekvensvurderingen.

Der er iværksat monitering af strøm-, temperatur- og salinitets- og turbiditetsforhold på tre positioner, en i hver sin ende af havnearealet henholdsvis ved havnens NV grænse (ud for spildevandsøen) og ved kabelfeltet lige SØ for den planlagte Østhavn i Grådyb Tidevandsområde samt en måler i Knudedyb. Målingerne analyseres med henblik på at opdatere den nuværende forståelse af tidevandsudvekslingen og sikre et opdateret modelgrundlag til beskrivelse af tidevandet og konsekvensen af at udbygge havnen.

Der gennemføres modelsimuleringer med både en 2D model og en 3D model af vandstands- og strømforhold, sedimenttransport- og morfologiforhold for hele det potentielle påvirkningsområde, dvs. omkring havneudvidelsen, mellem havneudvidelsen og Fanøs østkyst, øst for udvidelsen af Østhavnen og hele tidevandsområdet øst for Fanø inklusiv området med vandskellet ned til Knude Dyb.

2D modellen anvendes til at optimere udformningen af havneudvidelsen, mens 3D modellen tages i anvendelse til at verificere påvirkningerne af havneudvidelsen i områder, hvor 3D effekter forventes at have betydning for vurderingen af sedimentation/erosion i påvirkningsområdet.

Der vil være fokus på potentielle påvirkninger af de overordnede forhold i hele Grådyb - Knude Dyb Tidevandsområde – for eksempel vil mulige ændringer i vandbalancen, vandskiftet, erosions- og sedimentationsforhold blive vurderet. Hertil vil der blive benyttet en 2D model, som vurderes at være velegnet til beskrive strømforholdene på lavvandede vader, hvor vandmasserne forventes at være fuldt opblandet.

Bygherre har oplyst, at hvis der opstår behov for at forstå dynamikken på vaderne i 3D, er måleprogrammet udvidet til at inkludere målinger både i Grådyb og Knude Dyb.

Ifølge oplysninger fra Esbjerg Kommune bør der være fokus på erosion langs kysten øst for etape 5, idet det ikke kan udelukkes, at etableringen af Esbjerg Østhavn har forøget erosionen langs kysten og måske har blotlagt nedgravede rørledninger.

Der vil imidlertid være fokus på at vurdere erosion/sedimentationen i hele påvirkningsområdet. Der vil blive lagt vægt på at redegøre for evt. påvirkninger af kysterne på Fanø herunder Halen og vaderne Næs Søjord. Vurderingen vil ligeledes omfatte evt. potentielle ændringer skabt af bølgerefleksion fra den nye havneø og uddybning af evt. sejlrende syd om øen.

Sedimenttransportsimuleringerne vil også blive anvendt til at vurdere sedimentationen i Esbjerg Havn både under anlægsfasen og i driftsfasen, samt vurdere spredningen af klapmateriale i Nordsøen fra uddybninger i anlægsfasen og fra brug af eksisterende klappladser i Vadehavet i driftsfasen efter havneudvidelsen.

Indholdet af miljøfremmede stoffer i uddybningssedimentet vil blive vurderet, herunder behov for at udtage repræsentative prøver for at afdække indhold af miljøfremmede stoffer.

Spredningsberegningerne fra uddybninger og klapninger vil blive udført for en typisk vintermåned og en typisk sommermåned. Desuden undersøges, hvordan en situation med ekstremt vejr som en stormflod, hvor der er forhøjet vandstand på Fanø og stærk strøm, kan påvirke ligevægtsforholdene i Vaderne samt de kystmorfologiske forhold langs Fanøs østkyst.

Det skal nævnes, at mest muligt af det materiale, der optages i forbindelse med udvidelsen, vil blive nyttiggjort. Landopfyldningen vil ske med rene sedimenter og ikke give anledning til sedimentspild. Sedimentspredningsberegningerne kan gennemføres på basis af de detaljerede strømberegninger samt information om sedimentegenskaber i uddybningsområderne.

Når modelberegningerne er udført og omfang af ændringer i de fysiske forhold er klarlagt, vil der blive udført en afgrænsning af hvilke andre miljøemner, der potentielt kan påvirkes af disse ændringer. Miljøpåvirkninger vil blive behandlet for alle relevante emner. På forhånd vurderes især, at de marinbiologiske forhold (bundflora og bundfauna, Natura 2000-områder, beskyttede arter og vandområdeplaner) vil være relevante, men andre emner, der måtte vise sig relevante, vil ligeledes blive behandlet.

Det er afgørende for gennemførslen af projektet, at de overordnede fysiske og biologiske forhold i Vadehavet ikke vil blive væsentligt påvirket af havneudvidelsen. Hvis modelberegningerne viser, at kystmorfologien inklusiv tidevandsdynamikken, morfologien og sediment transporten i Vadehavet bliver væsentligt påvirket, så vil projektet ikke blive realiseret.

Natura 2000-områder og bilag IV-arter

Projektområdet ligger meget tæt på Natura 2000-område nr. 89: Vadehavet, og beskrivelser og vurderinger af påvirkninger af udpegningsgrundlaget for dette internationale naturbeskyttelsesområde vil derfor være et af de helt centrale emner i miljøvurderingerne. Natura 2000-område nr. 89 består af Habitatområderne H78, H86, H90 og H239 og Fuglebeskyttelsesområderne nr. F49, F51, F52, F53, F55, F57, F60, F65 og F67.

For den del af projektet, hvor Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen er myndighed, sker vurderingen af påvirkninger af internationale naturbeskyttelsesområder med udgangspunkt i BEK nr. 450 af 08/05/2017: Bekendtgørelse om vurdering af virkning på miljøet (VVM) af projekter vedrørende erhvervshavne og Københavns Havn samt om administration af internationale naturbeskyttelsesområder og beskyttelse af visse arter for så vidt angår anlæg og udvidelse af havne. I henhold til § 16 i denne bekendtgørelse skal Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen træffe afgørelse om, hvorvidt der skal udarbejdes en konsekvensvurdering af Natura 2000-områder på grundlag af oplysninger i ansøgningen og de indkomne høringssvar. På grund af projektområdets placering umiddelbart op til et Natura 2000-område, skal der udarbejdes en Natura 2000-konsekvensvurdering.

For den del af projektet, der er omfattet af bestemmelserne i habitatbekendtgørelsen (BEK nr 926 af 27/06/2016), foretages Natura 2000-vurderinger i overensstemmelse med habitatbekendtgørelsen og vejledningen til denne. Ifølge vejledningen til habitatbekendtgørelsen betegnes den indledende vurdering af mulige påvirkninger af et Natura 2000-område som en foreløbig vurdering eller en væsentlighedsvurdering. Formålet med denne vurdering er at belyse, om det ansøgte kan medføre væsentlige påvirkninger af udpegningsgrundlaget for et nærliggende Natura 2000-område. Hvis det på baggrund af den foreløbige vurdering ikke kan afvises, at en plan eller et projekt i sig selv eller i forbindelse med andre planer og projekter kan påvirke et Natura 2000-område væsentligt, skal der udarbejdes en nærmere konsekvensvurdering under hensyn til bevaringsmålsætningen for det pågældende område. På grund af projektområdets placering kan det ikke umiddelbart afvises, at der kan ske væsentlige påvirkninger af udpegningsgrundlaget for det nærliggende Natura 2000-område, og der vil derfor blive udarbejdet en Natura 2000-konsekvensvurdering.

Formålet med en Natura 2000-konsekvensvurdering er at belyse, om projektet i sig selv eller i forbindelse med andre planer og projekter vil skade udpegningsgrundlaget for et Natura 2000-område. Hvis konsekvensvurderingen viser, at det ikke kan udelukkes, at projektet i sig selv eller i forbindelse med andre planer og projekter vil skade et Natura 2000-område, kan der kun i meget særlige tilfælde gives tilladelse,

dispensation eller godkendelse til det ansøgte. En af forudsætningerne for en realisering af projektet er derfor, at projektet ikke vil skade udpegningsgrundlaget for det nærliggende Natura 2000-område.

Beskrivelser og vurderinger af forhold vedrørende Natura 2000-områder og bilag IV-arter vil blandt andet blive baseret på viden fra tilsvarende projekter og eksisterende data fra området. DCE og DOF foretager regelmæssigt fugletællinger og optællinger af pattedyr i Vadehavet – herunder af en række områder i nærheden af projektområdet. Det forventes derfor, at beskrivelser og vurderinger af påvirkninger af fugle og havpattedyr på udpegningsgrundlaget primært kan baseres på DCE og DOFs overvågning og registreringer i Vadehavet. Der vil blive inddraget sporadiske observationer fra DOFbasen, Naturdata og Naturbasen, men hovedvægten vil baseres på den statslige overvågning foretaget af DCE og opsummering publiceret af DOF.

Seneste data er for rastende fugle fra 2016 (Holm T. , et al., 2018) og for ynglefugle fra 2017 (Thorup & Bregnballe, 2017), men også tidligere års data og opsummeringer vil blive inddraget bl. a (Laursen & Frikke, 2013; Holm T. , et al.; Naturstyrelsen, 2013; Thorup & Bregnballe, 2016). Der ud over vil der indhentes oplysninger fra lokale fuglekiggere og koordinatorer af fugleoptællinger i området. Hvis datagrundlaget fra ovenstående ikke findes tilstrækkeligt til en miljøkonsekvensvurdering af påvirkningerne i lokalområdet vil der foretages optællinger af rastende fugle i vinterhalvåret 2018-19. I sommeren 2018 er der i projektet foretaget en ynglefuglekortlægning på Halen, Fanø.I forhold til havpattedyr foretages der ligeledes regelmæssige optællinger af især sæler i Vadehavet. Senest opsummeret i 2017 (Jensen L. F., et al.) men der forelægger nyere optællinger for spættet sæl i 2017 (Galatius, et al., 2017) og for gråsæl i 2018 (Brasseur, et al.). Ligesom for fugle vil der også inddrages tidligere rapporter og optællinger, f.eks. (Galatius, A., 2017; Jensen, 2009; Hansen, J.W. (red.), 2018).

Ydermere kan der være behov for at gennemføre en registrering af ålegræsforekomster i områder, hvor der eventuelt sker ændringer i sedimentforholdene.

Vurderingerne af påvirkninger af Natura 2000-områder vil blandt andet blive baseret på resultaterne fra modellering og vurdering vedrørende ændringer i bølgeklima, strømforhold, kystmorfologi, morfologi og sedimentspredning (se afsnit om 'Kystmorfologi, morfologi og sedimentspredning' side 10). Støj og dennes betydning for dyrelivet i Vadehavet vil også inkluderes i vurderingerne. Der er desuden en tæt sammenhæng mellem forvaltningen af Natura 2000-områder og vandområdeplanerne, og derfor vil vurderingerne af opfyldelse af målsætningerne i vandområdeplanen også indgå i vurderingen af påvirkninger af Natura 2000-området.

Den indledende projektudformning medfører, at brakvandsområdet, hvortil Præstegårdsbækken udløber, vil blive ændret ved gennemførelse af projektet. Der vil være fokus på påvirkning af Natura 2000 i forbindelse med overløbshændelser til Præstegårdsbækken.

I forhold til bilag IV-arter, så vurderes det umiddelbart, at de bilag IV-arter, som potentielt kan forekomme indenfor eller i nærheden af projektområdet, og som er relevante i forhold til projektet, omfatter odder, marsvin og snæbel samt eventuelt arter af flagermus. Odder, marsvin og snæbel er alle på udpegningsgrundlaget for Natura 2000-område nr. 89, hvorfor beskrivelse og kortlægning af disse arter vil blive baseret på samme som ovenstående.

Vurderingerne af internationale naturbeskyttelsesinteresser vil blive gennemført i henhold til den gældende lovgivning, vejledninger hertil samt afgørelse fra Natur- og Miljøklagenævnet samt EU-domstolen.

Vandområdeplaner

Vadehavet er omfattet af Vandområdeplan 2015-2021 for Vandområdedistrikt Jylland og Fyn. For at sikre en fyldestgørende beskrivelse af projektet i henhold til vandområdeplanerne vil der blive udarbejdet en vurdering af, om projektet vil være til hinder for målopfyldelse for den økologiske og kemiske tilstand i den gældende vandområdeplan.

Den samlede økologiske tilstand for kystvande i vandområdeplanerne bestemmes generelt på baggrund af de biologiske kvalitetselementer: klorofyl-*a* (planteplankton), bundfauna (Dansk Kvalitetsindeks) og ålegræs (dybdegrænse) med eventuel inddragelse af fysisk-kemiske støtteparametre samt visse miljøfarlige stoffer. Derudover er der også fokus på at nedbringe tilførslen af kvælstof til vandområderne, og i vandområdeplanen er der fastsat bruttoindsatsbehov og målbelastning for vandområderne i Vadehavet.

Den kemiske tilstand bliver i vandområdeplanerne vurderet ud fra følgende 21 EU prioriterede stoffer: Bly, cadmium, kviksølv, nikkel, BDE, benz(a)pyren, benzo(g,h,i)perylen, benzo(b,j,k)fluoranthen, dioxiner, naphthalen, nonylphenol, atrazin, anthracen, diuron, isoproturon, simazin, DEPH, PFOS, HBCDD, hexachlorbenzen og TBT (Miljøministeriet, 2015).

De eksisterende forhold i vandområdet vil blive beskrevet med udgangspunkt i eksisterende data, herunder data fra basisanalysen og vandområdeplanen. De nyeste tilstandsvurderinger for vandområderne er opgjort og publiceret i MiljøGIS for Vandområdeplaner (MiljøGIS, 2016).

Marinbiologi

Marinbiologi omfatter en beskrivelse og vurdering af eventuelle ændringer for: Havbunden, tidevandsflader, bundflora og –fauna, fisk, havpattedyr og fugle. Som eksempler kan nævnes, at der blandt andet vil være fokus på nærliggende vader, der fx anvendes af sæler, og på blåmuslingebanker i området. Vurderinger foretages bl.a. på baggrund af vurderingerne af internationale naturbeskyttelsesinteresser (Natura 2000-områder og bilag IV-arter), vandområdeplaner samt resultaterne fra modellering og vurdering vedrørende ændringer i bølgeklima, strømforhold, kystmorfologi, morfologi og sedimentspredning (se afsnit om 'Kystmorfologi, morfologi og sedimentspredning' side 10).

Der foretages desuden en dykkerundersøgelse af havbunden i projektområdet med henblik på at kortlægge forekomst og udbredelse af bundflora og -fauna. Der vil blive udtaget HAPS-prøver, så bundfaunaen i området kan beskrives. Desuden vil sediment, naturtype og bundforhold blive beskrevet, fotograferet og hvis sigtforholdene tillader det videofilmet i en række transekter i og udenfor projektområdet. Den meget dynamiske sandbund i området betyder, at der ikke er risiko for, at der er stenrev i og omkring projektområdet. der er derfor ikke behov for en sidescan-undersøgelse eller lignende.

Skibstrafik

Risikoforholdene vedr. den fremtidige skibstrafik beskrives og vurderes med udgangspunkt i de eksisterende forhold og de erfaringer som Esbjerg Havn, Søværnets Operativ Kommando m.fl. har indsamlet gennem årene. Prognosen for den fremtidige skibstrafik udarbejdes ud fra det potentiale, som de nye arealer og kajer skaber.

Prognosen vil blandt andet indgå i en analyse af potentielle påvirkninger på færgetrafikken til og fra Fanø, og i en analyse af om den øgede skibstrafik til og fra Esbjerg Havn forventes at give øgede ventetider for færgetrafikken.

Desuden vil aspekter omkring den planlagte bro vurderes i forhold til generel gennemsejling, både for områdets brugere og i forbindelse med sejlads til højspændingsmasterne. Det vil undersøges, hvordan den fremtidige trafik forbi etape 6 mest hensigtsmæssigt kan foregå. Dette gælder såvel servicering af elmasterne, anden erhvervsmæssig trafik samt fritidssejlere. Interessenter for sejlads i området vil blive inddraget i løsningen. Sejladsforhold, herunder sejladssikkerhed, vil blive behandlet både i anlægsfasen og i driftsfasen.

For at undersøge besejlingsforholdene forventes der gennemført besejlingssimuleringer for det planlagte havnelayout hos FORCE Technology.

Marinarkæologi

Strandingsmuseet St. George skal medvirke til at afstemme behovet for og omfanget af eventuelle feltundersøgelser, hvis der ved den indledende kortlægning findes grund til dette.

Råstoffer

Indvinding af råstoffer fra søterritoriet er reguleret i Bekendtgørelse nr. 780 af 20. juni 2017 om efterforskning og indvinding af råstoffer fra søterritoriet og kontinentalsoklen. Denne bekendtgørelse vil ligge til grund for miljøvurderinger af råstofindvindingen til de nye havnearealer.

I henhold til BEK 780 af 20. juni 2017 findes der tre slags tilladelser: auktionstilladelser, fællesområdetilladelser og bygherretilladelser. Desuden kan opgravet, rent havbundsmateriale nyttiggøres og anvendes til anlægsarbejder, hvilket typisk sker, når der er materiale til rådighed fra oprensning af sejlrender.

Opfyldningen af de nye havnearealer vil først og fremmest blive foretaget med sediment fra oprensning fra sejlrender i Grådyb Tidevandsområde. I løbet af Miljøvurderingsprocessen vil det blive undersøgt om der kræves yderligere havbundssedimenter til opfyldningen. I givet fald, vil der blive udført miljøvurderinger og ansøgt om en af de tre ovennævnte tilladelser (auktionstilladelser, fællesområdetilladelser og bygherretilladelser) i henhold til råstoflovens §20, som beskrevet på Miljøstyrelsens hjemmeside (http://mst.dk/erhverv/raastoffer/raastofindvinding-paa-havet/).

Af specifikke emner, som vil blive undersøgt i VVM processen, kan eksempelvis nævnes: hvilke mænger, der kan blive behov for at indvinde, hvilke indvindingsområder, der forventes at blive anvendt til at fremskaffe mængderne fra, samt om mængderne kan fremskaffes uden væsentlige virkninger på områdets øvrige forsyning.

Emner på land

I det følgende gennemgås de relevante emner på land samt en kortfattet beskrivelse af, hvordan hvert emne foreslås behandlet i miljøkonsekvensrapporten.

Hvor der ikke står andet, forventes de enkelte emner beskrevet og vurderet på baggrund af eksisterende data, der kan indhentes fra f.eks. Esbjerg Kommune, relevante databaser, interesseorganisationer mv. Det er noteret, hvis NIRAS forventer at anvende modelberegninger eller foretage undersøgelser i felten.

Befolkning og sundhed

Under emnet behandles mulige påvirkninger af befolkningen og eventuelle sundhedseffekter fra:

1. Afledte socioøkonomiske effekter af miljøpåvirkninger påvist i miljøkonsekvensrapporten.
2. Ændringer i rekreative forhold i anlægs- og driftsfasen vurderes både for aktiviteter på landjorden og på havet. Det kan eksempelvis være påvirkning af aktiviteter, udsigter eller støj i rekreative arealer, påvirkning af badestrande eller badevandskvalitet samt påvirkning af muligheder for fritidssejllads eller lystfiskeri.
3. Eventuelle ændringer i trafiksikkerhed, støj og vibrationer, luftforurening (stoffer, støv, lugt), lysforurening samt visuelle påvirkninger som følge af havneudvidelsen.

Punkt 1 og 2 behandles alene i afsnittet om befolkning og sundhed, mens emner i punkt 3 vil blive belyst i andre afsnit i miljøkonsekvensrapporten. For flere af disse vil der blive foretaget beregninger og/eller gennemført feltundersøgelser.

Det skal sikres, at der fortsat kan sejles øst om Fanø med fritidsbåde. Det undersøges i VVM-processen, hvordan den fremtidige sejlads forbi etape 6 mest hensigtsmæssigt kan foregå. Områdets brugere herunder sejlklubber, Naturpark Vadehavet og redningstjenesten ved Værnsfælles Forsvarskommando mv. inddrages i processen.

Esbjerg og Fanø Kommuner skal inddrages som berørte myndigheder for at de rekreative interesser tilgodeses som f.eks., at der fortsat kan sejles øst om Fanø med fritidsbåde.

Det bemærkes, at befolkningen omfatter såvel beboere i området som turister og besøgende.

Trafik

Trafikforhold beskrives og vurderes på baggrund af den nuværende trafikmængde på vejnettet. Som grundlag for en vurdering af de trafikale påvirkninger af vejnettet omkring Esbjerg Havn og Esbjerg by, leverer Esbjerg Kommune opdaterede trafikdata for den nuværende trafik på de involverede veje. På baggrund heraf opgøres vejtrafikmængderne før og efter udvidelsen, og der foretages kapacitetsberegninger på knudepunkter.

Der vurderes endvidere på sikkerhedsforhold for bløde trafikanter og risiko for uheld. Behov for afværgeforanstaltninger i form af ændringer i vejnettet, etablering af cykelstier mv. vurderes.

Støj og vibrationer

Der udarbejdes støjberegninger for det eksisterende støjbidrag fra havnen og havnevirksomhederne på baggrund af kendskab til eksisterende havneaktiviteter og virksomheder i området. Påvirkningen fra havneudvidelsen vurderes ved beregning af støj fra hhv. aktiviteter i anlægsfasen og aktiviteter i driftsfasen. Der vurderes både på støj fra enkelt virksomheder og på den samlede kumulative støj fra nuværende og fremtidige virksomheder og aktiviteter. Støjberegninger foretages ved hjælp af beregningsprogrammet SoundPLAN efter Miljøstyrelsens gældende vejledninger. Resultatet vises på støjkort, så støjudbredelsen kan vurderes i alle geografiske punkter omkring Esbjerg Havn.

Beregningerne anvendes både til vurdering af støjpåvirkning for befolkningen og for dyreliv.

Der foretages beregninger af trafikstøj på det overordnede vejnet (forventeligt Tjæreborgvej og Gammelby Ringvej). Der foretages beregninger for såvel de eksisterende forhold samt de fremtidige forhold med udvidelse af havnen baseret på den fremtidige forventede trafik.

Støj vil være et fokusområde i VVM-arbejdet. Flere høringssvar peger på, at der er støjgener fra eksisterende aktivitet på havnen. I samarbejde med Esbjerg Havn og Esbjerg Kommune foretages der en undersøgelse og vurdering af eksisterende støjklager med henblik på at afdække det eksisterende støjbillede fra drift af havnen. Det vurderes relevant, at afdække forskellige muligheder for afværgeforanstaltninger for støjgener herunder landstrøm og alternativer hertil.

For støj i anlægsfasen bemærkes det, at Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen er myndighed for støjgener på søterritoriet og Esbjerg Kommune er myndighed for støjgener på land.

Natur på land

Naturforhold på land forventes at kunne kortlægges og beskrives på baggrund af nyere eksisterende viden fra Danmarks Miljøportal (herunder Danmarks Naturdata), relevant faglitteratur, faglige rapporter samt en række VVM-redegørelser, der er lavet i forbindelse med andre projekter på eller i nærheden af Esbjerg Havn.

Hvis det viser sig, at naturområder på land, herunder på Fanø, kan påvirkes som følge af havneudvidelsen, vil feltundersøgelser blive udført i relevante områder.

Arealforbrug

Der redegøres for arealforbruget på søterritoriet til havneudvidelsen. Arealforbruget vurderes i forhold til havnens potentiale for udvikling, alternative placeringsmuligheder samt konsekvenser for det omgivende miljø. Emnet behandles primært på baggrund af de beskrivelser og vurderinger, der bliver lavet i øvrige afsnit i miljøkonsekvensrapporten.

Jord- og grundvandsforurening

Her behandles risiko for kontakt og spredning af eksisterende jordforurening og grundvandsforurening samt risiko for generering af ny forurening ved gennemførelse af projektet. Emner beskrives på baggrund af eksisterende viden om lokaliteter, der er områdeklassificeret eller kortlagt efter jordforureningsloven.

Vandafledning

Udledninger af overfladevand og potentiel udledning af miljøfarlige stoffer fra havnedrift kortlægges for eksisterende og fremtidige havnearealer. Nuværende og forventede fremtidige aktiviteter beskrives med henblik på en vurdering af effekter af spildevand, overfladevand og spild fra havneaktiviteterne. Vurderingerne foretages ud fra tilgængelige data og erfaringer fra lignende projekter.

Processpildevand, sanitært spildevand, rengøringsvand mv. fra virksomhederne skal afledes til Esbjerg Kommunes renseanlæg. Overfladevand skal, afhængig af områdets aktiviteter, afledes enten til Esbjerg Kommunes renseanlæg, udledes til havnebassiner via overfladevandssystem med eventuelle rensefunktioner eller via nedsivning på havnearealerne til Vadehavet. De specifikke krav vil blive fastlagt i miljøvurderingen.

Der udarbejdes således en beskrivelse af principperne for afledning af overfladevand fra kajarealer og fra virksomheder i området. Eventuelle kumulative effekter fra øvrig tilledning af miljøfarlige stoffer til Grådyb Tidevandsområde vurderes på baggrund af relevante projekter og baggrundskoncentrationen af miljøfarlige stoffer i Grådyb Tidevandsområde. Til bestemmelse af baggrundskoncentrationen af miljøfarlige stoffer anvendes NOVANA data.

Nord for havneanlægget dannes en forlængelse af det brakvandsområde, hvortil Præstegårdsbækken har udløb. Havneanlæggets afgrænsning mod brakvandsområdet skal dimensioneres, så det sikres, at bækkens vandafledningsevne under skybrud og storm ikke mindskes.

Luft og emissioner

Luftforureningen i anlægs- og driftsfasen kortlægges og vurderes på baggrund af eksisterende viden og ud fra viden fra lignende projekter på baggrund af emissionsberegninger. Hvis Esbjerg Kommune har eksisterende OML-beregninger for de nuværende virksomheder, inddrages resultatet af disse beregninger i den samlede vurdering.

Der vurderes på udledning af en række forskellige stoffer, herunder CO_2 og NO_x samt partikler fra skibe, køretøjer og entreprenørmaskiner. Der vurderes endvidere på støv og lugt.

I VVM-arbejdet vil der være fokus på gener for beboere i nærområdet fra emission af stoffer og mulige afværgeforanstaltninger vil blive vurderet herunder landstrøm og alternativer hertil, hvis der viser sig problematiske forhold.

Der vil også være fokus på at undgå lugtgener for befolkningen i nærområdet i VVM-vurderingerne. Da der ikke foreligger oplysninger om hvilke konkrete virksomheder eller aktiviteter, der vil etablere sig på havnen foretages der nogle generelle beskrivelser og vurderinger af lugtforhold ud fra erfaringer fra andre havne. Der foretages vurderinger af såvel kontrollerede som diffuse lugtgener. Dette vil bl.a. omfatte godstyper, virksomhedstyper med risiko for lugtgener, afstand til følsom arealanvendelse m.v. Det skal bemærkes, at støj, lugt og anden luftforurening også behandles i forbindelse med den enkelte virksomheds miljøgodkendelse. Hvis der er tale om en VVM-pligtig virksomhed, vil den kræve en selvstændig Miljøkonsekvensrapport. I Miljøkonsekvensrapporten for havneudvidelsen redegøres der for disse problemstillinger på et overordnet niveau.

Klima

Klimaforhold omfatter dels en beskrivelse af, hvordan havneudvidelsen er tilpasset til fremtidige klimaændringer, og dels en beskrivelse og vurdering af, om anlæg eller drift af havnen vil kunne have en påvirkning på klimatiske forhold i forhold til øget CO_2-udledning.

I forhold til klimaændringer fastlægges koten på de nye havnearealer således, at der ikke vil være risiko for oversvømmelse af havnearealer i forbindelse med storme.

I forhold til påvirkning på klimatiske forhold ved mulig øget CO_2-udledning vil der blive foretaget en overordnet beregning og vurdering af CO_2-udledningen i anlægs- og driftsfasen. Vurderingen fokuserer på materialeanvendelsen, herunder produktion og transport af materialer.

Landskab og kulturhistorie

De eksisterende landskabelige forhold i og omkring projektområdet beskrives med udgangspunkt i landskabskaraktermetodens principper. Undersøgelsesområdet vil omfatte arealer i Jylland og på Fanø. Analyse og vurdering laves på baggrund af relevant viden om området, GIS-analyser samt en rumlig og visuel analyse i felten. Vurderingen suppleres med visualiseringer fra udvalgte punkter (se nedenstående afsnit om 'Visuelle forhold').

Vurderingen af den landskabelige påvirkning omfatter også påvirkning med lys fra havneudvidelsen om natten.

De kulturhistoriske værdier beskrives ud fra Esbjerg og Fanø Kommuners kortlægninger af eksisterende værdier samt en besigtigelse i landskabet. Herefter foretages en kvalitativ vurdering af påvirkningen fra havneudvidelsen. Der vil blandt andet være fokus på, at Esbjerg Havn er udpeget som nationalt industriminde, jf. Slots- og Kulturstyrelsens hjemmeside.

Visuelle forhold

Med udgangspunkt i det foreslåede anlægsprojekt opbygges en digital 3D-model af havneudvidelsen med et eksempel på de fremtidige bygningsanlæg og aktiviteter. 3D-modellen danner grundlag for udarbejdelse af fotorealistiske visualiseringer, der viser før- og efter-situationen. Visualiseringerne indarbejdes i fotos taget fra det omliggende landskab og opmålt med højpræcisions GPS. Fotostandpunkterne fastlægges med fokus på offentligt tilgængelige områder samt områder med visuelle forandringer.

Specifikke krav til visualiseringerne og placering af fotostandpunkter fastlægges af Esbjerg Kommune. I den offentlige høring er der kommet forslag til visualiseringspunkter fra Fanø Kommune vedrørende visualiseringer på Fanø, fra Ribe Stift vedrørende visualiseringspunkter i forhold til kirker samt forslag fra foreninger og borgere. Forslag fra den offentlige høring vil indgå, når Esbjerg Kommune fastlægger de endelige visualiseringspunkter. Myndighederne vil løbende gennem miljøvurderingsarbejdet tilføje visualiseringspunkter, hvis der vurderes at være behov for det.

Påvirkning med lys fra havneudvidelsen om natten vil blive behandlet. Det er Esbjerg Kommune der afgør hvilken metode, der skal anvendes til støtte for vurderingerne, herunder fotos af lyspåvirkning fra den eksisterende havn og eventuelle natvisualiseringer.

Materielle goder

Anvendelsen af råstoffer, ressourcer og materialer til etablering af havneanlægget opgøres og miljøvurderes. Det skal bemærkes, at anvendelsen af råstoffer i form af havbundssediment til opfyldning af de nye landarealer på søterritoriet miljøvurderes særskilt (se afsnit om råstoffer).

Der anvendes vand og energi svarende til forbruget i almindelige bygge- og anlægsprojekter. Når landopfyldningen er afsluttet, anvendes materialer til anlæg af havnen som sand, grus, skærver, dæksten, beton, stål og lignende.

Affaldsproduktion fra drift af havnen opgøres og miljøvurderes. Der findes regulativer for sortering, håndtering og aflevering af de forekommende affaldstyper på havne, som vil blive anvendt i forbindelse med anlæg og drift af de nye havnearealer. Anlægget giver ikke anledning til specielle affaldstyper eller andet end normalt forekommende affaldsmængder.

Referencer

Brasseur, S., Cremer, J., Czeck, R., Galatius, A., Jeß, A., Körber, P., . . . Klöpper, S. (u.d.). TSEG grey seal surveys in the Wadden Sea and Helgoland in 2017-2018. Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven, Germany.

Galatius, A. (2017). *Baggrund for spættet sæl og gråsæls biologi og levevis i Danmark*. DCE- Nationalt Center for Niljø og Energi, Aarhus Universitet.

Galatius, A., Brasseur, S., Czeck, R., Jeß, A., Körber, P., Pund, R., . . . Klöpper, S. (2017). Aerial surveys of Harbour Seals in the Wadden Sea in 2017 - Population counts still in stagnation, but more pups than ever .

Hansen, J.W. (red.). (2018). Marine områder 2016. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi.

Holm, T., Clausen, P., Nielsen, R., Bregnballe, T., Petersen, I., P., M., & Bladt, J. (2018). *Fugle 2016 NOVANA.* Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi.

Holm, T., Clausen, P., Nielsen, R., Petersen, I., Laursen, K., Bregnballe, T., . . . Kotzerka, J. &. (u.d.). Fugle 2014. NOVANA. Aarhus Universitet, Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 169 .

Jensen L. F., T. J., A., G., R., P., R., C., A., J., U., S., . . . S., B. (u.d.). Marine mammals. In: Wadden Sea Quality Status Report 2017. *2017*.

Jensen, T. (2009). Flytællinger af spættede sæler i Vadehavet 1981-2007. Fiskeri- og Søfartsmuseet, Esbjerg.

Laursen, K., & Frikke, J. (2013). Rastende vandfugle i Vadehavet 1980-2010 - Status, beskyttelse, benyttelse og påvirkninger. Dansk Ornitologisk Tidskrift 107.

Naturstyrelsen. (2013). Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 169 - Vadehavet med Ribe Å, Tved Å og Varde Å, H86 Brede Å, H90 Vidå med tilløb, Rudbøl Sø og Magisterkogen og F57 Vadehavet, Natura 2000-område nr. 89, Habitatområde H78, H86 og H90, Fuglebeskyttelsesområde F57. Miljøministeriet, Naturstyrelsen.

Thorup & Bregnballe. (2016). Optælling af ynglefugle i Vadehavet 2016. DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet.

Thorup, O., & Bregnballe, T. (2017). Optælling af ynglefugle i Vadehavet 2017. DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet.

Esbjerg Kommune
Torvegade 74
DK-6700 Esbjerg

raadhuset@esbjergkommune.dk
www.esbjergkommune.dk

Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen
Edvard Thomsens Vej 14
DK-2300 København S

info@tbst.dk
www.tbst.dk

Esbjerg Havn udvidelse

Monitering

Baggrundsrapport til VVM

Esbjerg Havn

Teknisk notat

April, 2019

The expert in WATER ENVIRONMENTS

Denne rapport er udarbejdet under DHI's ledelsessystem, som er certificeret af Bureau Veritas for overensstemmelse med ISO 9001 for kvalitetsledelse

Esbjerg Havn udvidelse

Monitering

Udarbejdet for	Esbjerg Havn
Repræsenteret ved	Kjeld Dahl Sørensen

Akustisk strømmåler monteret i bundramme

Projektleder	Bo Brahtz Christensen
Kvalitetsansvarlig	Rolf Deigaard

Projektnummer	11822010
Godkendelsesdato	4. april 2019
Revision	1.0
Klassifikation	Begrænset

DHI • Agern Allé 5 • • DK-2970 Hørsholm
Telefon: +45 4516 9200 • Telefax: +45 4516 9292 • noreply@dhigroup.com • www.dhigroup.com

INDHOLDSFORTEGNELSE

1 Indledning 1

2 Beskrivelse af måleprogrammet 2
2.1 Datakvalitet 4

3 Data 5
3.1 Diffusoranlæg 5
3.2 Østhavn 6
3.3 Knudedyb 7
3.4 Klyngvese sand 8
3.5 Fanø Øst 9

FIGURER

Figur 2.1 Oversigt over de udlagte stationer. Baggrund Google Earth. 3
Figur 3.1 Strømhastighed og -retning fra strømmåleren monteret på diffusoranlægget. 5
Figur 3.2 Vandtemperatur, -salinitet og sedimentkoncentration fra måleinstrumentet monteret på diffursoranlægget. 5
Figur 3.3 Strømhastighed og -retning fra strømmåleren ved Østhavn. 6
Figur 3.4 Vandtemperatur, salinitet og sedimentkoncentration fra måleinstrumentet ved Østhavn. Målingerne er foretaget 1m over bunden. 6
Figur 3.5 Strømhastighed og -retning fra strømmåleren i Knudedyb. 7
Figur 3.6 Vandtemperatur, salinitet og sedimentkoncentration fra målebøjen i Knudedyb. Målingerne er foretaget 1m over bunden. 7
Figur 3.7 Vandtemperatur og salinitet målebøjen i Knudedyb. Målingerne er foretaget ca. 6m over bunden. 8
Figur 3.8 Strømhastighed og -retning fra strømmåleren ved Klyngvese Sand. 8
Figur 3.9 Vandtemperatur, -salinitet og sedimentkoncentration fra måleinstrumentet ved Klyngvese sand. Målingerne er foretaget 0.5m over bunden. 9
Figur 3.10 Strømhastighed og -retning fra strømmåleren ved Fanø Øst. 9
Figur 3.11 Vandtemperatur, -salinitet og sedimentkoncentration fra måleinstrumentet ved Fanø Øst. Målingerne er foretaget 0.5m over bunden. 10

TABELLER

Tabel 2.1 Oversigt over de fem målestationer 2
Tabel 2.2 Oversigt over udlægningsdatoer, servicebesøg og inddragningstidspunkt for de fem moniteringsstationer omkring Esbjerg. 3

1 Indledning

I forbindelse med en mulig udvidelse af Esbjerg havn er der foretaget omfattende modelleringsarbejder for at undersøge indvirkningen på især strøm og turbiditet som konsekvens af udvidelsen.

For at vurdere modellens validitet er der foretaget målinger af fysiske parametre i området gennem sommeren og efteråret 2018. Målingerne omfatter i alt fem målestationer og følgende parametre er moniteret:

- Strømhastighed og -retning
- Salinitet
- Temperatur
- Turbiditet

Nærværende rapport beskriver målekampagnen og dens resultater.

2 Beskrivelse af måleprogrammet

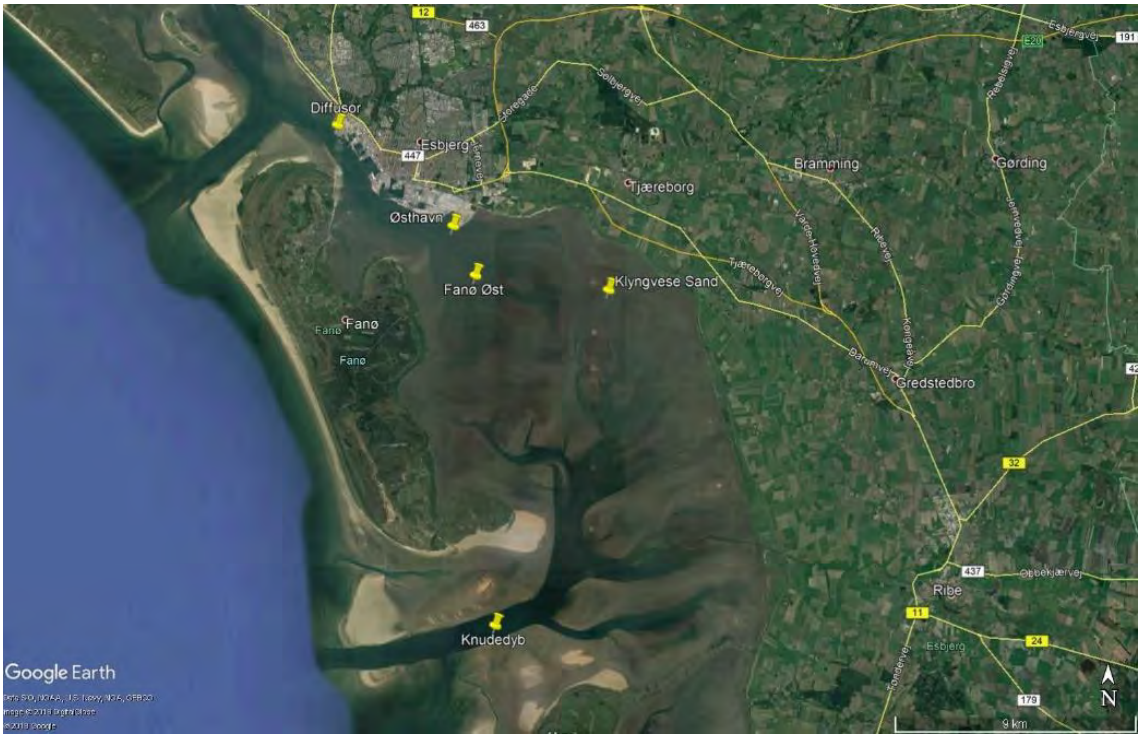
Det besluttedes at opstille i alt fem målestationer i området. Stationernes placering blev fordelt, således at de repræsenterer forholdene i både Grådyb og Knudedyb tidevandsområde, samt i hovedløbene og på vader. De fem stationer er som følger:

- Station 1 på diffusoranlægget i den nordlige del af Esbjerg havns område
- Station 2 ved Østhavn
- Station 3 i Knudedyb
- Station 4 på vaderne ved Klyngvese Sand
- Station 5 på vaderne øst for Fanø

Stationernes stednavn, placering, vanddybde og måleparametre er angivet i Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Oversigt over de fem målestationer

Station	Stednavn	Parametre	Instrumenter monteret	Længdegrad	Breddegrad	Dybde
1	Diffusoranlæg	Strømparametre Salinitet, Temperatur, Turbiditet	HADCP 300 kHz WQM light	8° 24.527E	55° 28.716N	Ca. 8m
2	Østhavn	Strømparametre Salinitet (2 dybder), Temperatur (2 dybder), Turbiditet (1 dybde)	Nortek Signature 1000 Sea bird SBE37 Wetlabs WQM light	8° 28.327E	55° 26.672N	5.4m
3	Knudedyb	Strømparametre Salinitet (2 dybder), Temperatur (2 dybder), Turbiditet (1 dybde)	Nortek Signature 1000 Sea bird SBE37 Wetlabs WQM light	8° 30.329E	55° 18.726N	9.4m
4	Klyngvese Sand	Turbiditet Salinitet	Aanderaa SeaGuard	8° 34.197E	55° 25.472N	1.4m
5	Fanø øst	Turbiditet Salinitet	Aanderaa SeaGuard	8° 29.483E	55° 25.733N	1.4m



Figur 2.1 Oversigt over de udlagte stationer. Baggrund Google Earth.

Stationerne var udlagt med forskellige teknikker og nogle stationer blev serviceret undervejs i programmet. Tabel 2.2 viser en oversigt over hændelser ved stationerne.

Tabel 2.2 Oversigt over udlægningsdatoer, servicebesøg og inddragningstidspunkt for de fem moniteringsstationer omkring Esbjerg.

Diffusor	Stationen blev installeret i online mode så målingerne kunne følges på en hjemmeside. Salinitetsmåler periodisk blokeret af sediment hvorfor denne tidsserie ikke er komplet Installationsdato: 15-01-2018 Nedtagningsdato: 28-09-2018
Østhavn	Stationen blev udlagt offline og data hentet hjem efter måleperiodens afslutning. Udlægningsdato: 05-07-2018 Nedtagningsdato: 12-10-2018
Knudedyb	Stationen blev udlagt offline og data hentet hjem efter måleperiodens afslutning. Der blev mistet en salinitetsmåler i forbindelse med serviceringen hvorfor der kun salinitetsdata for øvre lag fra 09-08-2018 – 12-10-2018 Udlægningsdato: 05-07-2018 Servicering: 09-08-2018 Nedtagningsdato: 12-10-2018
Klyngvese Sand	Stationen blev udlagt offline Udlægningsdato: 06-07-2018 Nedtagningsdato: 07-10-2018
Fanø Øst	Stationen blev udlagt offline Udlægningsdato: 06-07-2018 Nedtagningsdato: 07-10-2018

2.1 Datakvalitet

Data blev hjemtaget og gennemgået for kvalitet. Data der ikke var anvendelige, blev flaget ud i en separat kvalitetssikringsproces inden de blev rapporteret og anvendt til valideringsformål.

Udflagning af data kan skyldes følgende forhold:

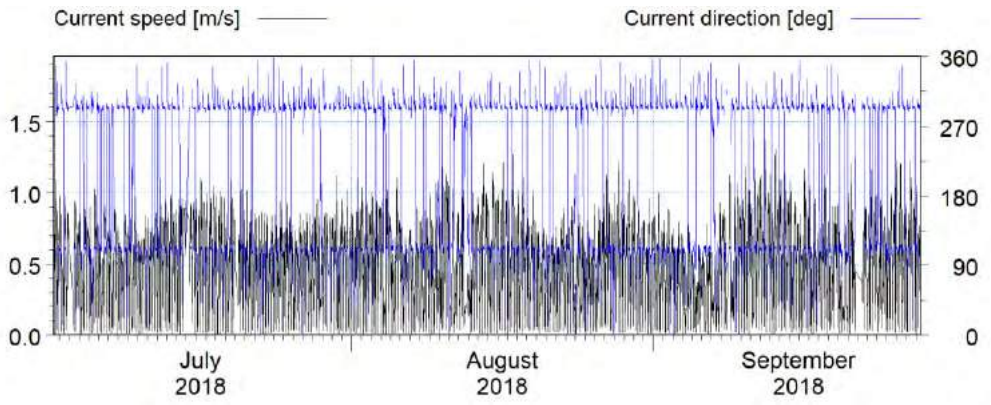
- Blokerede eller defekte sensorer
- Støjfyldte data/afvigere

Det bemærkes, at data kun udflages når dataeksperten kan forklare udflagningen. Det er ikke hensigten at udflage mange data eller udflage, blot fordi det er svært at forklare, hvorfor data ser ud som de gør.

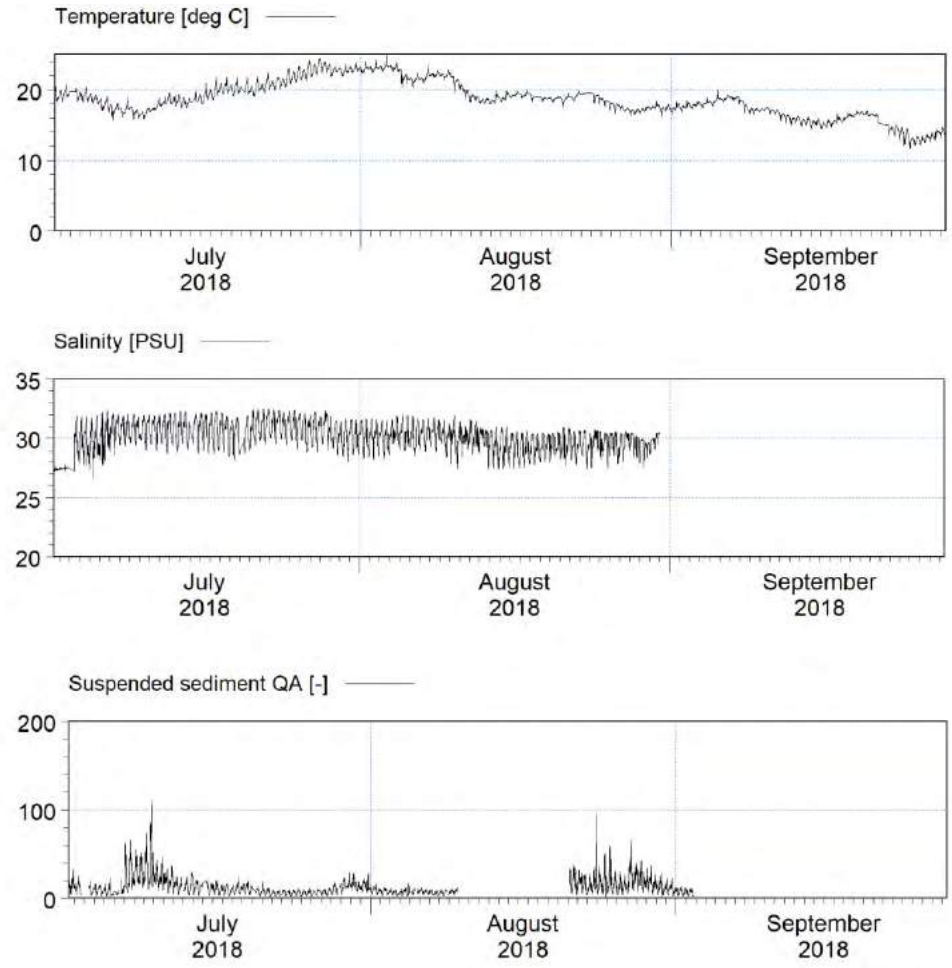
3 Data

3.1 Diffusoranlæg

På diffusoranlægget var opsat strøm og turbiditetsmåler.

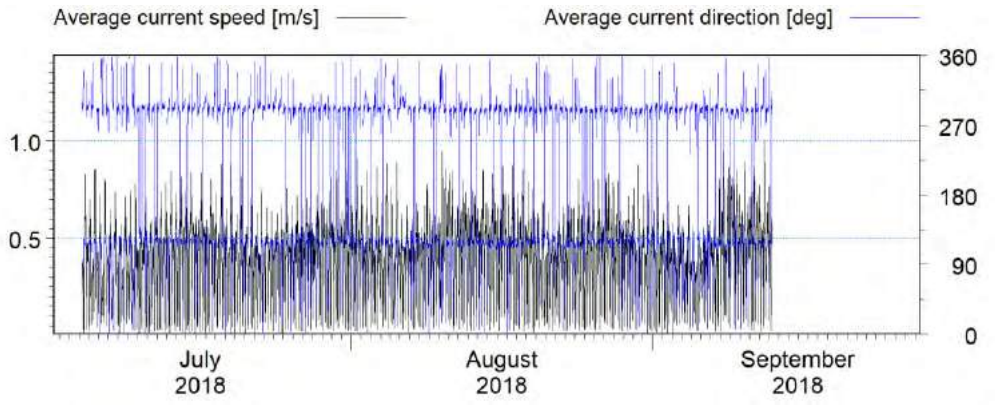


Figur 3.1 Strømhastighed og -retning fra strømmåleren monteret på diffusoranlægget.

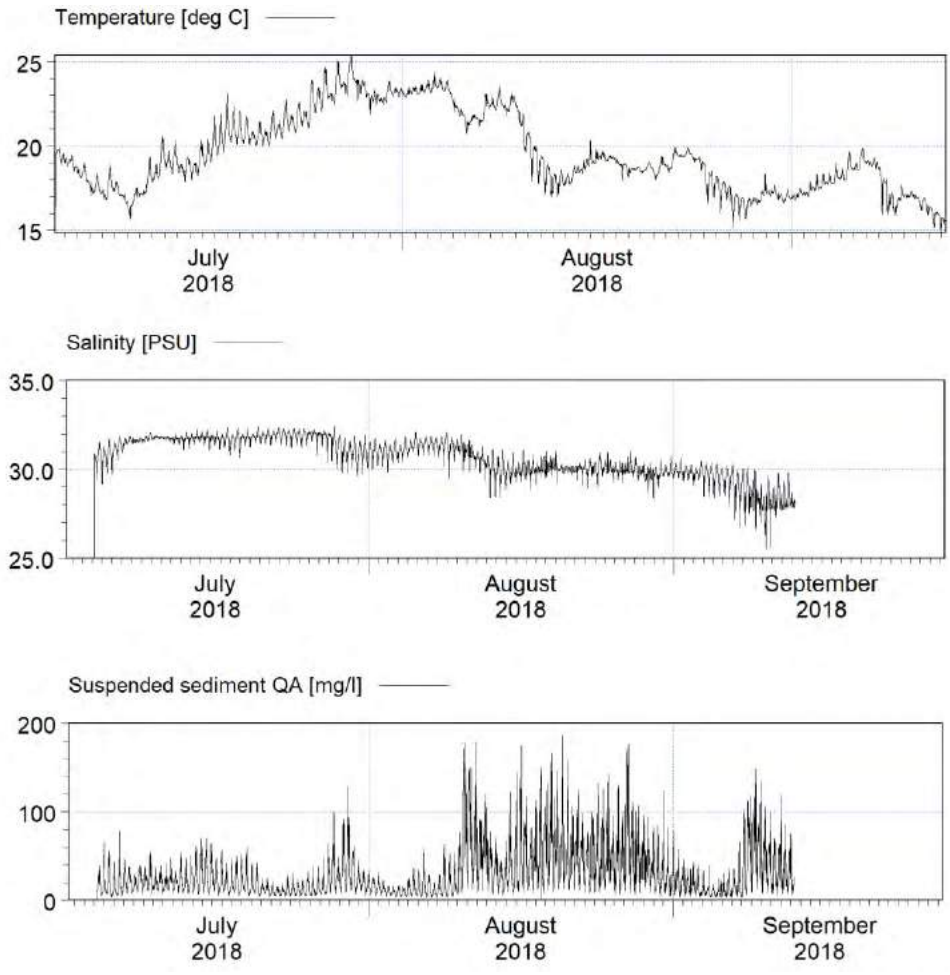


Figur 3.2 Vandtemperatur, -salinitet og sedimentkoncentration fra måleinstrumentet monteret på diffursoranlægget.

3.2 Østhavn

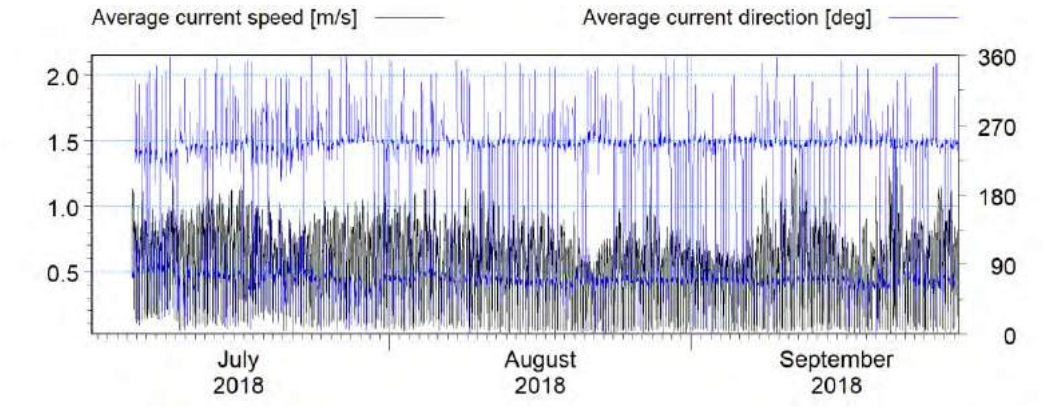


Figur 3.3 Strømhastighed og -retning fra strømmåleren ved Østhavn.

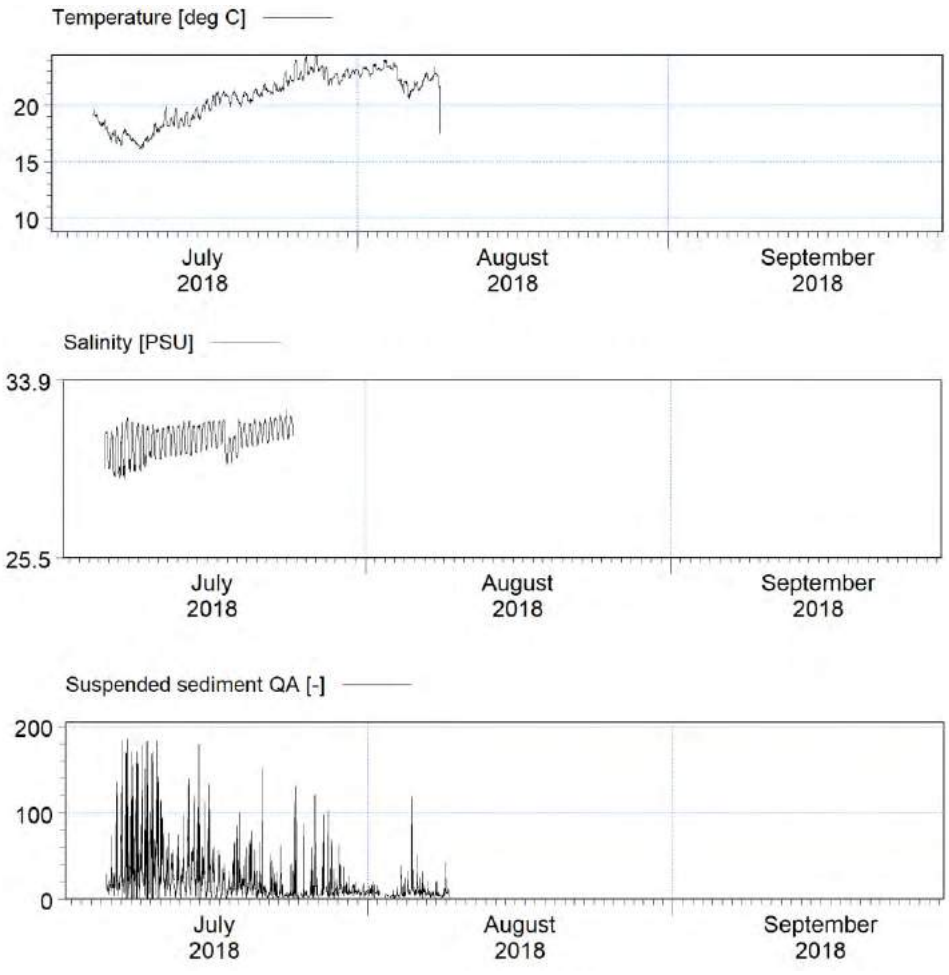


Figur 3.4 Vandtemperatur, salinitet og sedimentkoncentration fra måleinstrumentet ved Østhavn. Målingerne er foretaget 1m over bunden.

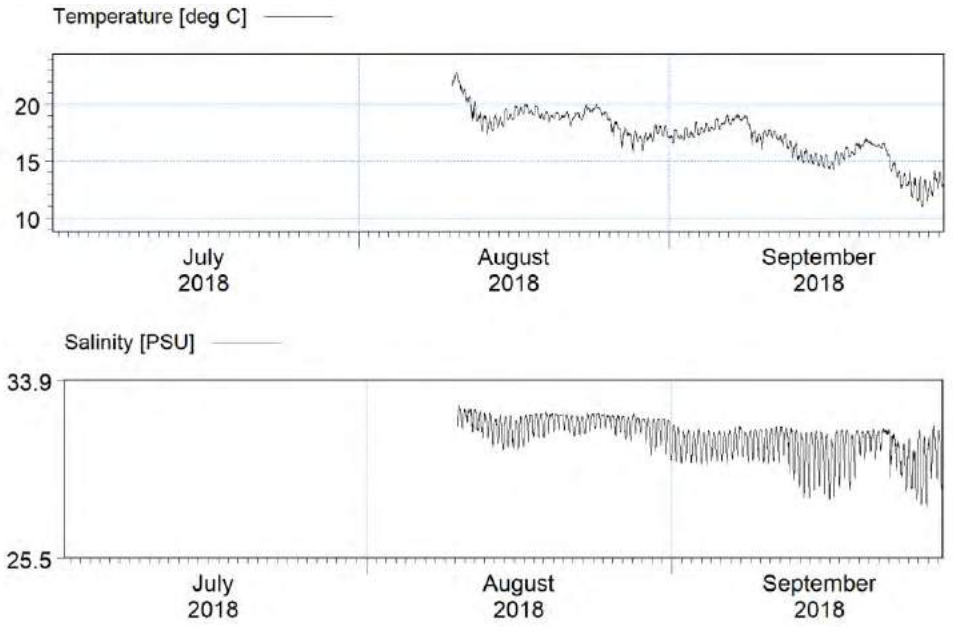
3.3 Knudedyb



Figur 3.5 Strømhastighed og -retning fra strømmåleren i Knudedyb.

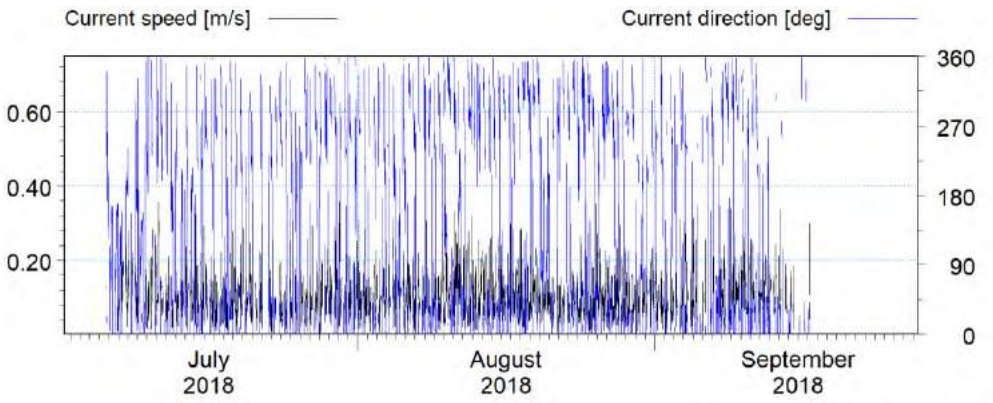


Figur 3.6 Vandtemperatur, salinitet og sedimentkoncentration fra målebøjen i Knudedyb. Målingerne er foretaget 1m over bunden.

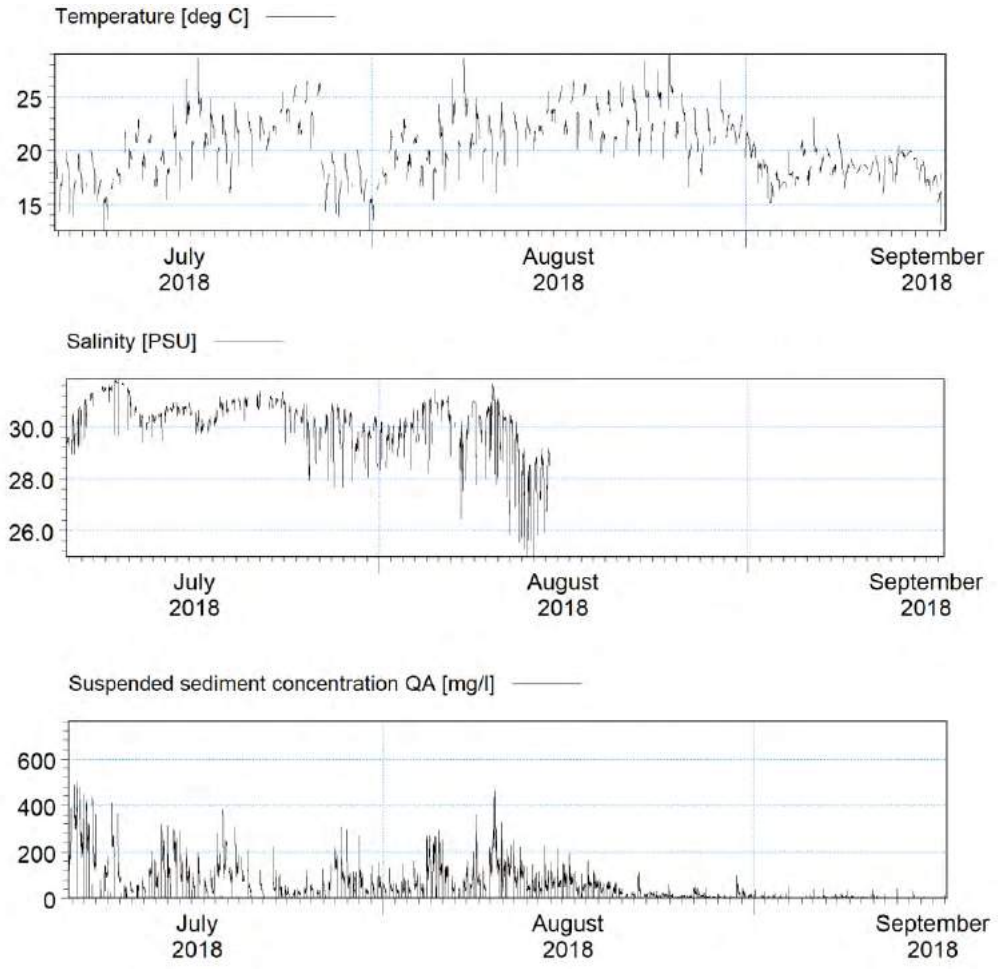


Figur 3.7 Vandtemperatur og salinitet målebøjen i Knudedyb. Målingerne er foretaget ca. 6m over bunden.

3.4 Klyngvese sand

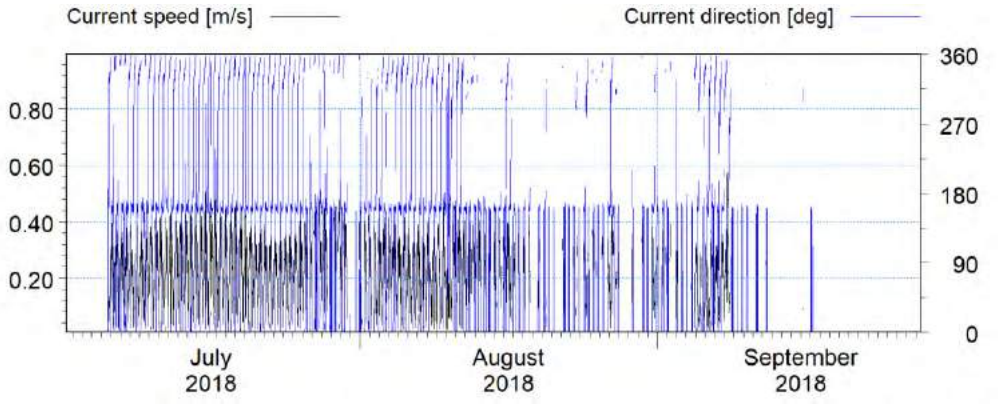


Figur 3.8 Strømhastighed og -retning fra strømmåleren ved Klyngvese Sand.

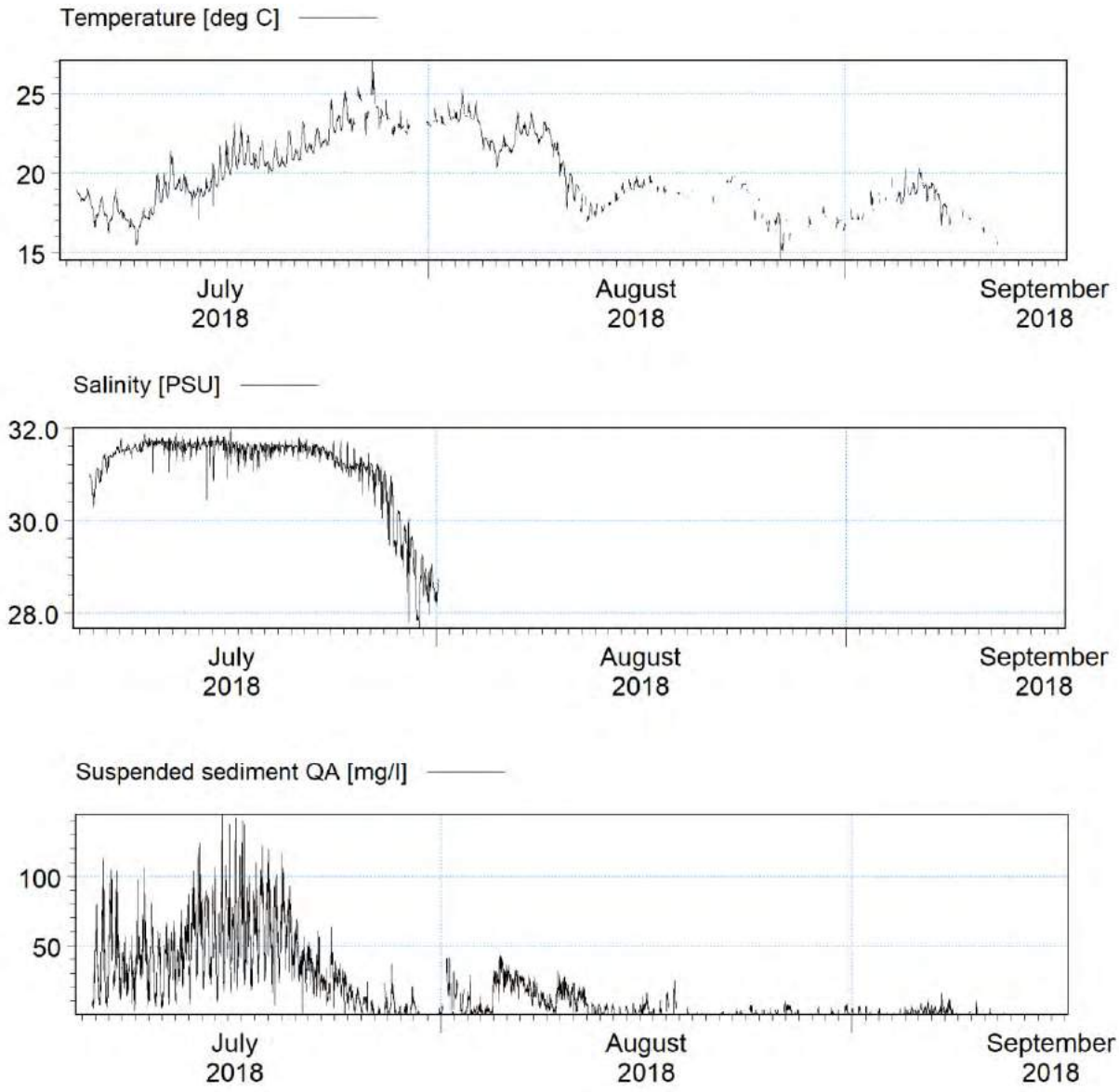


Figur 3.9 Vandtemperatur, -salinitet og sedimentkoncentration fra måleinstrumentet ved Klyngvese sand. Målingerne er foretaget 0.5m over bunden.

3.5 Fanø Øst



Figur 3.10 Strømhastighed og -retning fra strømmåleren ved Fanø Øst.

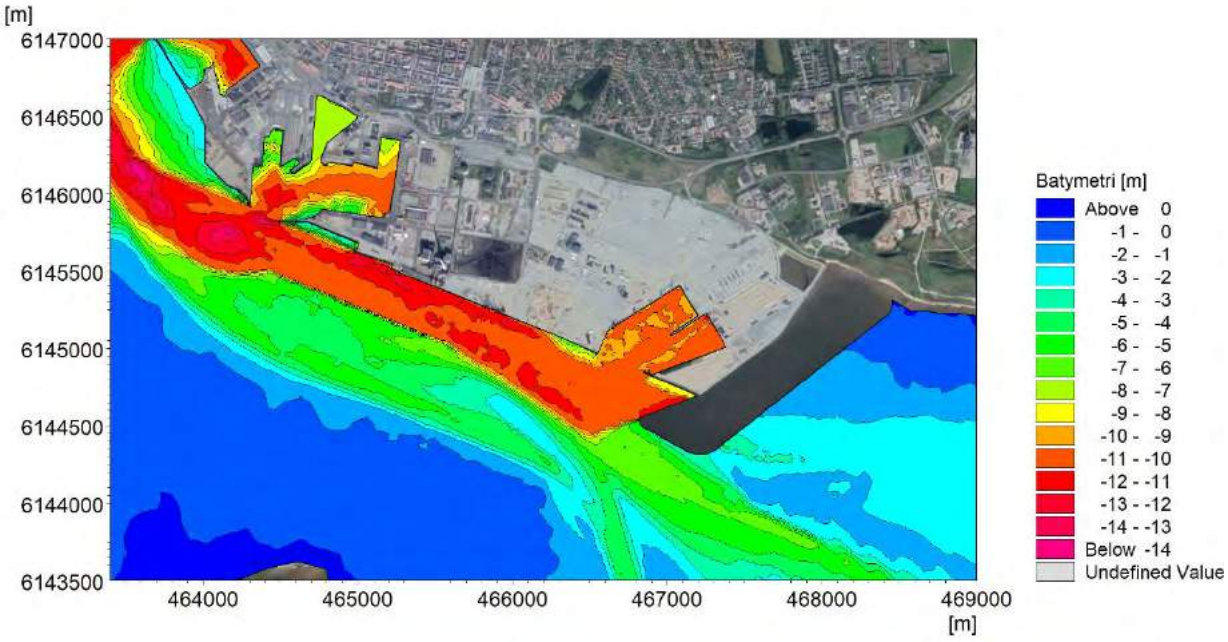


Figur 3.11 Vandtemperatur, -salinitet og sedimentkoncentration fra måleinstrumentet ved Fanø Øst. Målingerne er foretaget 0.5m over bunden.

Esbjerg Havn udvidelse – Etape 5

Hydrauliske og morfologiske vurderinger

Baggrundsrapport til VVM



Niras A/S på vegne af Esbjerg Havn

Rapport

November 2020

The expert in WATER ENVIRONMENTS

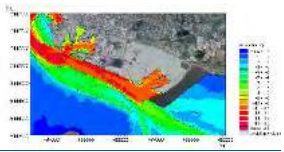
Denne rapport er udarbejdet under DHI's ledelsessystem, som er certificeret af Bureau Veritas for overensstemmelse med ISO 9001 for kvalitetsledelse

Esbjerg Havn udvidelse – Etape 5

Hydrauliske og morfologiske vurderinger

Baggrundsrapport til VVM

Udarbejdet for	Niras A/S på vegne af Esbjerg Havn
Repræsenteret ved	Jan Dietrich, Chefkonsulent



Etape 5 udbygning batymetri

Projektleder	Bo Brahtz Christensen
Kvalitetsansvarlig	Rolf Deigaard
Forfattere	Bo Brahtz Christensen og Henrik René Jensen

Projektnummer	11824342
Godkendelsesdato	25. november 2020
Revision	Endelig rapport: 1.1a
Klassifikation	Begrænset

DHI A/S • Agern Allé 5 • • 2970 Hørsholm • Denmark
Telephone: +45 4516 9200 • Telefax: +45 4516 9292 • dhi@dhigroup.com • www.dhigroup.com
Company Reg. No.: 36466871

INDHOLDSFORTEGNELSE

1 Introduktion 1

2 Sammenfatning 3

3 Metodebeskrivelse 5

4 Datagrundlag 9
4.1 Afstrømning 9
4.2 Vandstand 12
4.3 Strøm 14
4.3.1 Transektmålinger af strøm 17
4.4 Bølger 22
4.5 Vind 24
4.6 Batymetrisk grundlag 25
4.7 Saltholdighed 27
4.8 Kornkurver 33
4.9 Sandlagstykkelse 43
4.10 Turbiditet 44

5 Baseline- og udbygningslayouts af Esbjerg Havn 47
5.1 Baseline 47
5.2 Etapeudbygning 49

6 Modelperioder og kalibrering af baseline 53
6.1 Afstrømning 53
6.2 Vind 54
6.3 Vandstand 56
6.4 Strøm 60
6.5 Saltholdighed 67

7 Baseline forhold 69
7.1 Stormflod med ekstremvandstand 69
7.2 Generelle strømforhold 71
7.2.1 Normale tidevandsforhold 71
7.2.2 Forhold med ekstrem flodstrøm 73
7.2.3 Forhold med ekstrem ebbestrøm 74
7.3 Vandbalance 76
7.3.1 Vandføring 76
7.3.2 Gennemstrømning 78
7.3.3 Bruttostrøm, nettostrøm og vanddække 80
7.4 Saltholdighed 83
7.4.1 Saltholdighed i vinterperiode 83
7.4.2 Saltholdighed i sommerperiode 85
7.5 Bølgeforhold 87
7.6 Finkornet sediment 90
7.6.1 Overfladesedimentets sammensætning 90
7.6.2 Modelgrundlag 93
7.6.2.1 Modelparametre og sedimentkort 93
7.6.2.2 Klapning af oprensningsmateriale og spildrater i modelperioder 97

7.6.2.3 Oprensningsmængder i hovedtal ... 100
7.6.2.4 Målinger til kalibrering af model ... 101
7.6.3 Modelkalibrering sommerperiode ... 102
7.6.4 Den tidsmæssige variation af sedimentkoncentrationer i vinterperiode ... 108
7.6.5 Sedimentkoncentrationer og overskridelseshyppighed ... 114
7.6.5.1 Sedimentkoncentrationer i vinterperiode ... 114
7.6.5.2 Sedimentkoncentrationer i sommerperiode ... 116
7.6.6 Erosion og aflejring af finkornet sediment ... 119
7.7 Den historiske udvikling og morfologi ... 121
7.7.1 Den historiske udvikling af Grådyb sejlrende ... 121
7.7.2 Udbygningen af Esbjerg Havn ... 122
7.7.3 Morfologisk udvikling ... 124

8 Anlægsfase ... 127
8.1 Påvirkning af gravespild ... 127
8.1.1 Påvirkning af sedimentkoncentrationer ... 128
8.1.1.1 Påvirkning af sedimentkoncentrationer i vinterperiode ... 128
8.1.1.2 Påvirkning af sedimentkoncentrationer i sommerperiode ... 132
8.1.2 Påvirkning af erosions- og aflejringsmønstre ... 137
8.2 Opsummerende konklusioner ... 140

9 Driftsfasen ... 141
9.1 Påvirkning under stormflod med ekstremvandstand ... 141
9.2 Påvirkning af generelle strømforhold ... 142
9.2.1 Påvirkning under normale tidevandsforhold ... 142
9.2.2 Påvirkning under forhold med ekstrem flodstrøm ... 150
9.2.3 Påvirkning under forhold med ekstrem ebbestrøm ... 152
9.3 Påvirkning af vandbalance ... 155
9.3.1 Påvirkning af vandføring ... 155
9.3.2 Påvirkning af gennemstrømning ... 160
9.3.3 Påvirkning af bruttostrøm, nettostrøm og vanddække ... 162
9.4 Påvirkning af saltholdighed ... 168
9.4.1 Langtidseffekter vinterperiode ... 169
9.4.2 Langtidseffekter sommerperiode ... 171
9.4.3 Kortidseffekter ... 172
9.5 Påvirkning af bølgeforhold ... 175
9.6 Generel påvirkning af bølgeklimaet ... 176
9.6.1 Vurdering af læsideeffekter ... 182
9.7 Påvirkning af bølger under ekstreme forhold ... 184
9.8 Påvirkning af finkornet sediment som følge af udbygning ... 186
9.8.1 Påvirkning af sedimentkoncentrationer ... 186
9.8.1.1 Vinterperiode ... 187
9.8.1.2 Sommerperiode ... 191
9.8.2 Påvirkning af erosions- og aflejringsmønstre ... 195
9.9 Tidevandsområdets overordnede massebalance ... 199
9.10 Påvirkning af havnesedimentation ... 199
9.11 Etapeudbygningens morfologiske påvirkning ... 201
9.11.1 Den fremtidige batymetri ... 205

10 Referencer ... 207

FIGURER

Figur 4-1 Vandløb med udmunding i Grådyb og Knudedyb tidevandsområde. ... 9

Figur 4-2 Døgnmidlet afstrømning fra Varde Å, Sneum Å, Konge Å og Ribe Å og i de modellerede vinter- og sommerperioder. 10
Figur 4-3 Døgnmidlet afstrømning fra Mølle Bæk, Fovrfeldt Bæk, Gamle Esbjerg By og Novrup Bæk i de modellerede vinter- og sommerperioder. 11
Figur 4-4 Døgnmidlet afstrømning fra Darum Bæk i de modellerede vinter- og sommerperioder. 12
Figur 4-5 Timemidlet udledning fra spildevandsøen i den modellerede sommerperiode. 12
Figur 4-6 Søkort visende Grådyb målebøjens placering (Tide gauge). 13
Figur 4-7 Observeret vandstand ved indsejlingen til Grådyb i perioden 2007-2018. 13
Figur 4-8 Observeret vandstand i Esbjerg Havn ved Bassin 1 i perioden 2007-2018. 14
Figur 4-9 Oversigt over de fem udlagte stationer. 14
Figur 4-10 Cirka indikation af hvor strømmen er målt i de viste tidsserier og strømroser. 15
Figur 4-11 Målte strømroser ud for spildevandsøen i perioden 1. juli – 28. september 2018. 15
Figur 4-12 Tidsserier af strøm og strømretning i P1-P3. 16
Figur 4-13 Målte strømroser ved Østhavn (venstre) og i Knudedyb (højre) i perioden 5. juli – 19. oktober 2018. 17
Figur 4-14 Tidsserier af strøm og strømretning i station ud for Østhavn. 17
Figur 4-15 Tidsserier af strøm og strømretning i Knudedyb. 17
Figur 4-16 Nordlige transekt ved 6. bassin i Nordhavnen. 18
Figur 4-17 Sydlige transekt ved Østhavn. 18
Figur 4-18 Målte transekter ud for Nordhavnen klokken 12:11 og klokken 12:16 UTC. 19
Figur 4-19 Målte transekter ud for Nordhavnen klokken 12:22, 12:30, 12:36, 12:41, 14:37, 14:44 og 14:50 UTC. 20
Figur 4-20 Målte transekter ud for Østhavn klokken 10:30, 10:55, 11:08, 11:18, 13:19, 13:30 og 13:52 UTC. 21
Figur 4-21 Målte transekter ud for Østhavn klokken 15:38, 15:50, 16:00 og16:10 UTC. 22
Figur 4-22 Observerede bølgehøjder ved Grådybindsejlingen i perioden 2007-2018. 23
Figur 4-23 Observerede middelbølgeretninger ved Grådybindsejlingen i perioden 2007-2018. 23
Figur 4-24 Observerede bølgeperioder T_z ved Grådybindsejlingen i perioden 2007-2018. 23
Figur 4-25 Bølgerose (visende den retning bølgerne kommer fra) ved Grådybindsejlingen for perioden 2007-2018. 24
Figur 4-26 Vindroser for observeret middelvind og vindstød (visende den retning vinden kommer fra) for perioden 2007-2018. 25
Figur 4-27 Anvendte pejlinger og batymetridata. 26
Figur 4-28 Pejlinger fra marts 2017 dækkende Grådyb og sejlrenden langs havnen. 26
Figur 4-29 Pejlinger fra juni-juli 2019 dækkende Østlige del af sejlrenden og Købmandsand. 27
Figur 4-30 Oversigtskort af stationer, hvor der er findes spotmålinger af saltprofiler gennem vandsøjlen. 28
Figur 4-31 Målinger af saltholdighed ved station B1 nord for Fanø i perioden 1989-2006. 28
Figur 4-32 Målinger af saltholdighed ved station G1, G3, G4 og G5 i perioden 1989-2006. 29
Figur 4-33 Målinger af saltholdighed ved G6, G7 og G8 i perioden 1990-2006. 30
Figur 4-34 Målinger af saltholdighed ved K1 i Knudedyb tidevandsområde i perioden 1989-2006. 31
Figur 4-35 Målinger af saltholdighed ved B7, G2 og K3 i perioden 1989-2019. 32
Figur 4-36 Prøvetagningspositioner til bestemmelse af kornstørrelser i den permanent vanddækkede del syd og øst for sejlrenden. 34
Figur 4-37 Prøvetagningspositioner på vaden ud for Halen 35
Figur 4-38 Kornkurver for prøve 1-3. 36
Figur 4-39 Kornkurver for prøve 4-6. 37
Figur 4-40 Kornkurver for prøve 7-9. 38
Figur 4-41 Kornkurver for prøve 10, 2B og 3B. 39
Figur 4-42 Kornkurver for prøve 4B, 6B og 8B. 40
Figur 4-43 Kornkurve for prøve 10B. 41
Figur 4-44 Overfladesedimentets sammensætning Prøve 1, 5, 7 og 9. 41
Figur 4-45 Sedimentsammensætning af overfladesediment (venstre side) og underliggende lag (højre side). 42
Figur 4-46 Målinger af sandlagstykkelser forud bygningen af Østhavn og uddybning af sejlrende optegnet på nuværende batymetri. 44
Figur 4-47 Målte sedimentkoncentrationer ved spildevandsøen. 44

Figur 4-48 Målte sedimentkoncentrationer i Knudedyb nær bund. 45
Figur 4-49 Målte sedimentkoncentrationer i Østhavn nær bund. 45
Figur 4-50 Målte sedimentkoncentrationer i Fanø Øst nær bund. 46
Figur 4-51 Målte sedimentkoncentrationer i Klyngvese nær bund. 46
Figur 5-1 Modelområde og baselinemodellens batymetri [m MSL]. 47
Figur 5-2 Batymetri og beregningsnet bestående af 89.753 elementer. 48
Figur 5-3 Zoom af batymetri og beregningsnet ud for Østhavn. 48
Figur 5-4 Oversigtskort med Etape 5 udbygningen (kilde: Esbjerg Havn). 49
Figur 5-5 Baseline layout og tilhørende batymetri i udbygningsområdet. 50
Figur 5-6 Layout og batymetri for Etapeudbygning 5. 50
Figur 6-1 Målt middelvind ved Esbjerg - vinterperiode. 54
Figur 6-2 Målt vindstød ved Esbjerg - vinterperiode. 54
Figur 6-3 Målt middelvind ved Esbjerg – sommerperiode. 55
Figur 6-4 Målt vindstød ved Esbjerg – sommerperiode. 55
Figur 6-5 Målt vind ved Esbjerg – stormflodshændelse (Bodil). 56
Figur 6-6 Målt vindstød ved Esbjerg – stormflodshændelse (Bodil). 56
Figur 6-7 Målt og modelleret vandstand ved Esbjerg Havn - Bassin 1 (øverst) og Grådybindsejlingen (nederst) for sommerperioden – fuld simuleringsperiode. 57
Figur 6-8 Målt og modelleret vandstand ved Esbjerg Havn - Bassin 1 (øverst) og Grådybindsejlingen (nederst) for sommerperioden – 14 dages delperiode. 57
Figur 6-9 Målt og modelleret vandstand ved Esbjerg Havn - Bassin 1 (øverst) og Grådybindsejlingen (nederst) for vinterperioden – fuld simuleringsperiode. 58
Figur 6-10 Målt og modelleret vandstand ved Esbjerg Havn - Bassin 1 (øverst) og Grådybindsejlingen (nederst) for vinterperioden – 14 dages delperiode. 58
Figur 6-11 Målt (venstre) og beregnet (højre) strøm i sommerperioden ved hhv. Diffuser (øverst), Østhavn (midt) og Knudedyb (nederst). 60
Figur 6-12 Målt og beregnet strøm i sommerperioden ved Diffuser. 61
Figur 6-13 Målt og beregnet strøm i sommerperioden ved Østhavn. 62
Figur 6-14 Målt og beregnet strøm i sommerperioden ved hhv. Knudedyb. 63
Figur 6-15 Udsnit af målt og beregnet strøm ved Diffuser. 64
Figur 6-16 Udsnit af målt og beregnet strøm ved Østhavn. 64
Figur 6-17 Udsnit af målt og beregnet strøm i Knudedyb. 64
Figur 6-18 Strømfelter og transektmålinger 4. januar 2018 ved Diffuser. 65
Figur 6-19 Strømfelter og transektmålinger 4. januar 2018 ved Østhavn. 66
Figur 6-20 Sammenligning af målt og beregnet saltholdighed ved Diffuser, Østhavn og Knudedyb for sommerperioden – fuld simulerings periode. 67
Figur 6-21 Sammenligning af målt og beregnet saltholdighed ved Diffuser, Østhavn og Knudedyb for sommerperioden – 14 dages delperiode. 67
Figur 7-1 Oversigt visende de historisk værste højvandshændelser i Esbjerg i perioden 1874-2018 Ref. /10/. 69
Figur 7-2 Sammenligning af målt og modelleret vandstand ved Grådyb Barre under stormen Bodil. 69
Figur 7-3 Sammenligning af målt og modelleret vandstand i Esbjerg Havn under stormen Bodil. 70
Figur 7-4 Modelleret maksimal vandstand under stormen Bodil 5. december 2013. 70
Figur 7-5 Strømfelter med stigende vandstand 30. juni 2018 kl. 9:30, 10:30, 11:30, 12:30, 13:30 og 14:30, og faldende vandstand kl.15:30 og 16:30 (UTC-tid). 72
Figur 7-6 Strømfelter med faldende vandstand 30. juni 2018 kl. 17:30, 18:30, 19:30 og 20:30, og stigende vandstand kl.21:30 og 22:00 (UTC-tid). 73
Figur 7-7 Vandstandsforhold under en situation med kraftig flodstrøm (1. januar 2018 kl. 8:30, UTC). 74
Figur 7-8 Strømfeltet hørende til en situation med kraftig flodstrøm (1. januar 2018 kl. 8:30, UTC). 74
Figur 7-9 Vandstandsforhold under en situation med kraftig ebbestrøm (31. december 2017 kl. 16:30, UTC). 75
Figur 7-10 Strømfeltet hørende til en situation med kraftig ebbestrøm (31. december 2017 kl. 16:30, UTC). 75
Figur 7-11 Definerede tværsnit ved Grådyb, Esbjerg og Knudedyb. 76
Figur 7-12 Vandføring gennem tværsnit ved Grådyb, Esbjerg og Knudedyb for den modellerede vinter- og sommerperiode. 77

Figur 7-13 Akkumuleret vandføring gennem tværsnit ved Grådyb, Esbjerg og Knudedyb for vinter- og sommerperiode. 79
Figur 7-14 Bruttostrøm for vinterperiode. 80
Figur 7-15 Bruttostrøm for sommerperiode. 80
Figur 7-16 Nettostrøm for vinterperiode. 81
Figur 7-17 Nettostrøm for sommerperiode. 81
Figur 7-18 Relativ varighed af vanddække gennem vinterperioden. 82
Figur 7-19 Relativ varighed af vanddække gennem sommerperioden. 82
Figur 7-20 Middel saltholdighed over vinterperioden. 83
Figur 7-21 Variationen af saltholdighed henover en tidevandsperiode i vintersæsonen (26. januar 2018 kl. 09:00 UTC-tid og efterfølgende periode i spring på to timers mellemrum). 84
Figur 7-22 Middel saltholdighed over sommerperioden. 85
Figur 7-23 Variationen af saltholdighed henover en tidevandsperiode i sommersæsonen (1. juli 2018 kl. 09:30 UTC-tid og efterfølgende periode i spring på to timers mellemrum). 86
Figur 7-24 Sammenligning af målte (rød kurve) og modellerede (blå kurve) bølgehøjde (H_s) ved Grådyb måleren gennem de to simuleringsperioder. 87
Figur 7-25 Største forekommende bølgehøjde (H_{m0}) i vinterperioden. 88
Figur 7-26 Middelbølgehøjde (H_{m0}) i vinterperioden. 89
Figur 7-27 Største forekommende bølgehøjde (H_s) i sommerperioden. 89
Figur 7-28 Middelbølgehøjde (H_{m0}) i sommerperioden. 90
Figur 7-29 Overfladesedimentets beskaffenhed. 93
Figur 7-30 Modeldefinerede områder med tykkere bundlag af finkornet sediment. 94
Figur 7-31 Højopløst pejleplan ved klapplads Ø, hvorpå man kan se spor efter klapninger i den sydøstlige ende. 95
Figur 7-32 Sammenhæng mellem faldhastighed og sedimentkoncentration. 96
Figur 7-33 Kort visende erosionskoefficienten i overfladelaget. 97
Figur 7-34 Kystdirektoratets og Esbjerg Havns klappladser som anvendes til klapning af finkornet sediment fra havnebassinerne. 97
Figur 7-35 Klapningsbidrag i den modellerede vinter- og sommerperiode. 98
Figur 7-36 Positioner for klapningsbidrag i modelleret vinterperiode. 99
Figur 7-37 Positioner for klapningsbidrag i modelleret sommerperiode. 99
Figur 7-38 Positioner for klapningsbidrag i hele 2018. 101
Figur 7-39 Klapningsbidrag i hele 2018. 101
Figur 7-40 Målestationer for turbiditet og indhold af suspenderet sediment. 102
Figur 7-41 Målt vind ved Esbjerg i sommerperiode. 103
Figur 7-42 Forhold ved Knudedyb. 103
Figur 7-43 Forhold ved Diffusor. 104
Figur 7-44 Forhold ved Østhavn. 105
Figur 7-45 Forhold ved Klyngvese Sand. 106
Figur 7-46 Forhold ved Fanø Øst. 107
Figur 7-47 Forhold ved Knudedyb. 109
Figur 7-48 Forhold ved Diffuser. 110
Figur 7-49 Forhold ved Østhavn. 111
Figur 7-50 Forhold ved Klyngvese Sand. 112
Figur 7-51 Forhold ved Fanø Øst. 113
Figur 7-52 Modelleret middelkoncentration for baselineforhold og faktiske klapninger i vinterperioden. 114
Figur 7-53 Modelleret maksimum koncentration for baselineforhold i vinterperioden. 115
Figur 7-54 Overskridelsesvarigheder for baselineforhold med koncentrationer af finkornet sediment større end 50 mg/l i vinterperioden på 91 døgn. 115
Figur 7-55 Overskridelsesvarigheder for baselineforhold med koncentrationer af finkornet sediment større end 100 mg/l i vinterperioden på 91 døgn. 116
Figur 7-56 Modelleret middelkoncentration for baselineforhold og faktiske klapninger i sommerperioden. 117
Figur 7-57 Modelleret maksimumkoncentration for baselineforhold i sommerperioden. 117
Figur 7-58 Overskridelsesvarigheder for baselineforhold med koncentrationer af finkornet sediment større end 50 mg/l i sommerperioden på 91 døgn. 118

Figur 7-59 Overskridelsesvarigheder for baselineforhold med koncentrationer af finkornet sediment større end 100 mg/l i sommerperioden på 91 døgn. 118
Figur 7-60 Aflejrings- og erosionsmønster i vinterperioden. 120
Figur 7-61 Aflejrings- og erosionsmønster i sommerperioden. 120
Figur 7-62 Den historiske udvikling af oprensningsmængder og vanddybden i Grådyb sejlrende i perioden 1898-2002, fra ref. /2/. 121
Figur 7-63 Esbjerg Havn 1984. 122
Figur 7-64 Esbjerg Havn 2001. 122
Figur 7-65 Esbjerg Havn 2016. 123
Figur 7-66 Indikation af den uddybede sejlrendes afslutning før bygningen af Østhavn. 123
Figur 7-67 Initial sandlagstykkelse anvendt i modelleringen. 124
Figur 7-68 Modelestimeret udvikling af baselinebatymetrien efter hhv. 0 og 12 måneder under antagelse af fuld alluvial bund bestående af fint sand med en mediankorndiameter på 0,2 mm i alle områder med undtagelse af sejlrenden. 125
Figur 7-69 Modelestimeret bundændring efter hhv. 6 og 12 måneder. 126
Figur 8-1 Spildrate for den modellerede vinterperiode. 127
Figur 8-2 Spildrate for den modellerede sommerperiode. 127
Figur 8-3 Modelleret middelkoncentration for layout, faktiske klapninger og gravespild i vinterperioden. 129
Figur 8-4 Ændringer i middelkoncentration i vinterperioden i forhold til baseline. 129
Figur 8-5 Maksimumkoncentrationer for layout, faktiske klapninger og gravespild i vinterperioden. 130
Figur 8-6 Ændringer i maksimumkoncentration i vinterperioden i forhold til baseline. 130
Figur 8-7 Overskridelsesvarigheder for layout med koncentrationer af finkornet sediment større end 50 mg/l i vinterperioden. 131
Figur 8-8 Ændringer af overskridelsesvarighed med koncentrationer af finkornet sediment større end 50 mg/l i vinterperioden i forhold til baseline. 131
Figur 8-9 Overskridelsesvarigheder for layout med koncentrationer af finkornet sediment større end 100 mg/l i vinterperioden. 132
Figur 8-10 Ændringer af overskridelsesvarighed med koncentrationer af finkornet sediment større end 100 mg/l i vinterperioden i forhold til baseline. 132
Figur 8-11 Modelleret middelkoncentration for layout, faktiske klapninger og gravespild i sommerperioden. 133
Figur 8-12 Ændringer i middelkoncentration i sommerperioden i forhold til baseline. 134
Figur 8-13 Modelleret maksimumkoncentration for layout, faktiske klapninger og gravespild i sommerperioden. 134
Figur 8-14 Ændringer i maksimumkoncentration i sommerperioden i forhold til baseline. 135
Figur 8-15 Overskridelsesvarigheder for layout med koncentrationer af finkornet sediment større end 50 mg/l i sommerperioden. 135
Figur 8-16 Ændringer af overskridelsesvarighed med koncentrationer af finkornet sediment større end 50 mg/l i sommerperioden i forhold til baseline. 136
Figur 8-17 Overskridelsesvarigheder for layout med koncentrationer af finkornet sediment større end 100 mg/l i sommerperioden. 136
Figur 8-18 Ændringer af overskridelsesvarighed med koncentrationer af finkornet sediment større end 100 mg/l i sommerperioden i forhold til baseline. 137
Figur 8-19 Aflejrings- og erosionsmønster i vinterperioden. 138
Figur 8-20 Ændringer i aflejring og erosion i vinterperioden set i forhold til baseline. 138
Figur 8-21 Aflejrings- og erosionsmønster i sommerperioden. 139
Figur 8-22 Ændringer i aflejring og erosion i sommerperioden set i forhold til baseline. 139
Figur 9-1 Modelleret maksimal vandstand under en Bodil Storm efter udbygning af havnen. 141
Figur 9-2 Modelleret ændringer i højvande under en Bodilstorm. 142
Figur 9-3 Strømforhold, vandstand og ændring af disse under stigende vandstand 30. juni 2018 kl. 9:30 og 10:30 (UTC-tid). 143
Figur 9-4 Strømforhold, vandstand og ændring af disse under stigende vandstand 30. juni 2018 kl. 11:30 og 12:30 (UTC-tid). 144
Figur 9-5 Strømforhold, vandstand og ændring af disse under stigende vandstand 30. juni 2018 kl. 13:30 og 14:30 (UTC-tid). 145

Figur 9-6 Strømforhold, vandstand og ændring af disse under faldende vandstand 30. juni 2018 kl. 15:30 og 16:30 (UTC-tid). 146
Figur 9-7 Strømforhold, vandstand og ændring af disse under faldende vandstand 30. juni 2018 kl. 17:30 og 18:30 (UTC-tid). 147
Figur 9-8 Strømforhold og ændring af disse under faldende vandstand 30. juni 2018 kl. 19:30 og 20:30 (UTC-tid). 148
Figur 9-9 Strømforhold og ændring af disse under faldende vandstand 30. juni 2018 kl. 21:30 og 22:00 (UTC-tid). 149
Figur 9-10 Vandstandsforhold under en situation med kraftig flodstrøm (1. januar 2018 kl. 8:30, UTC) med etapeudbygning. 150
Figur 9-11 Vandstandsændring forårsaget af etapeudbygningen under en situation med kraftig flodstrøm (1. januar 2018 kl. 8:30, UTC). 151
Figur 9-12 Strømfeltet hørende til en situation med kraftig flodstrøm (1. december 2018 kl. 8:30, UTC) med etapeudbygning. 151
Figur 9-13 Område med strømændring under forhold med kraftig flodstrøm. 152
Figur 9-14 Vandstandsforhold under en situation med kraftig ebbestrøm (31. december 2017 kl. 16:30, UTC) med etapeudbygning. 153
Figur 9-15 Vandstandsændring forårsaget af etapeudbygningen under en situation med kraftig ebbestrøm (31. december 2017 kl. 16:30, UTC). 153
Figur 9-16 Strømfeltet hørende til en situation med kraftig ebbestrøm (31. december 2017 kl. 16:30, UTC) med etapeudbygning. 154
Figur 9-17 Område med strømændring under forhold med kraftig ebbestrøm. 155
Figur 9-18 Vandføring for baseline (sort kurve, venstre y-akse) og ændring (etape 5 minus baseline) af vandføring (blå kurve, højre y-akse) gennem tværsnit ved Grådyb, Esbjerg og Knudedyb for den modellerede vinter- og sommerperiode. 157
Figur 9-19 Akkumuleret baseline vandføring (sort kurve, venstre y-akse) og ændring af akkumuleret vandføring (blå kurve, højre y-akse) gennem tværsnit ved Grådyb, Esbjerg og Knudedyb for vinter- og sommerperiode. 161
Figur 9-20 Relativ varighed af vanddække for vinterperioden samt ændring heraf. 163
Figur 9-21 Bruttostrøm (middel) for vinterperioden samt ændring heraf. 164
Figur 9-22 Nettostrøm (middel) for vinterperioden samt ændring heraf. 165
Figur 9-23 Relativ varighed af vanddække for sommerperioden samt ændring heraf. 166
Figur 9-24 Bruttostrøm (middel) for sommerperioden samt ændring heraf. 167
Figur 9-25 Nettostrøm (middel) for sommerperioden samt ændring heraf. 168
Figur 9-26 Middel saltholdighed over vinterperioden samt ændring heraf. 170
Figur 9-27 Middel saltholdighed over sommerperioden samt ændring heraf. 172
Figur 9-28 Punkterne S1 og S2 for udtræk af tidsserier af salinitet. 173
Figur 9-29 Saltholdighed i punktet S1 med baseline forhold (sort kurve) og etape 5 udbygningens ændring af saltholdighed i forhold til baseline (blå kurve), vinterperiode. 173
Figur 9-30 Saltholdighed i punktet S2 med baseline forhold (sort kurve) og etape 5 udbygningens ændring af saltholdighed i forhold til baseline (blå kurve), vinterperiode. 174
Figur 9-31 Saltholdighed i punktet S1 med baseline forhold (sort kurve) og etape 5 udbygningens ændring af saltholdighed i forhold til baseline (blå kurve), sommerperiode. 174
Figur 9-32 Saltholdighed i punktet S2 med baseline forhold (sort kurve) og etape 5 udbygningens ændring af saltholdighed i forhold til baseline (blå kurve), sommerperiode. 174
Figur 9-33 Største forekommende bølgehøjde (H_{m0}) i vinterperioden samt ændring heraf. 177
Figur 9-34 Største forekommende bølgehøjde (H_{m0}) i sommerperioden samt ændring heraf. 178
Figur 9-35 Middelbølgehøjde (H_{m0}) i vinterperioden samt ændring heraf. 179
Figur 9-36 Middelbølgehøjde (H_{m0}) i sommerperioden samt ændring heraf. 180
Figur 9-37 Punkterne P1-P4 for udtræk af bølgeroser. 180
Figur 9-38 Bølgeroser i punkterne P1 (øverst), P2, P3 og P4 (nederst) for vinterperioden. 181
Figur 9-39 Bølgeroser i punkterne P1 (øverst), P2, P3 og P4 (nederst) for sommerperioden. 182
Figur 9-40 Bølgeudtrækspunkter til vurdering af læside effekt på bølgeenergi og retning. 183
Figur 9-41 Bølgehøjde (H_{m0}) under ekstreme forhold (middelvind på 20 m/s, vindretning 300°N og vandstand på 1.5m DVR90) samt ændring heraf uden refleksion. 185
Figur 9-42 Bølgehøjde (H_{m0}) under ekstreme forhold (middelvind på 20 m/s, vindretning 300°N og vandstand på 1.5m DVR90) samt ændring heraf med refleksion. 186

Figur 9-43 Modelleret middelkoncentration for layout og faktiske klapninger i vinterperioden. 187
Figur 9-44 Ændringer i middelkoncentration i vinterperioden i forhold til baseline. 187
Figur 9-45 Maksimumkoncentration for layout og faktiske klapninger i vinterperioden. 188
Figur 9-46 Ændring af maksimumkoncentrationer for layout i vinterperioden i forhold til baseline. 189
Figur 9-47 Overskridelsesvarigheder for layout med koncentrationer af finkornet sediment større end 50 mg/l. 189
Figur 9-48 Ændringer af overskridelsesvarighed med koncentrationer af finkornet sediment større end 50 mg/l i forhold til baseline. 190
Figur 9-49 Overskridelsesvarigheder for layout med koncentrationer af finkornet sediment større end 100 mg/l. 190
Figur 9-50 Ændringer af overskridelsesvarighed med koncentrationer af finkornet sediment større end 100 mg/l i forhold til baseline. 191
Figur 9-51 Modelleret middelkoncentration for layout og faktiske klapninger i sommerperioden. 192
Figur 9-52 Ændringer i middelkoncentration i sommerperioden i forhold til baseline. 192
Figur 9-53 Maksimumkoncentration for layout og faktiske klapninger i vinterperioden. 193
Figur 9-54 Ændring af maksimumkoncentrationer for layout i sommerperioden i forhold til baseline. 193
Figur 9-55 Overskridelsesvarigheder for layout med koncentrationer af finkornet sediment større end 50 mg/l. 194
Figur 9-56 Ændringer af overskridelsesvarighed med koncentrationer af finkornet sediment større end 50 mg/l i forhold til baseline. 194
Figur 9-57 Overskridelsesvarigheder for layout med koncentrationer af finkornet sediment større end 100 mg/l. 195
Figur 9-58 Ændringer af overskridelsesvarighed med koncentrationer af finkornet sediment større end 100 mg/l i forhold til baseline. 195
Figur 9-59 Aflejrings- og erosionsmønster i vinterperioden. 197
Figur 9-60 Ændringer i aflejring og erosion i vinterperioden set i forhold til baseline. 197
Figur 9-61 Aflejrings og erosionsmønster i sommerperioden. 198
Figur 9-62 Ændringer i aflejring og erosion i sommerperioden set i forhold til baseline. 198
Figur 9-63 Initial sandlagstykkelse anvendt i modelleringen af layout. 201
Figur 9-64 Modelestimeret udvikling af layoutbatymetrien efter hhv. 0 og 12 måneder under antagelse af fuld alluvial bund bestående af fint sand med en mediankorndiameter på 0,2 mm i alle områder med undtagelse af sejlrenden. 202
Figur 9-65 Modelestimeret bundændring efter hhv. 6 og 12 måneder. 203
Figur 9-66 Modelestimeret bundændring efter henholdsvis. 6 og 12 måneder og set i forhold til baseline. 204
Figur 9-67 Initial batymetri og bud på en fremtidig batymetri i kvasi-stationær ligevægt. 206

TABELLER

Tabel 4-1 Måleobservationer på kondenseret form. 33
Tabel 4-2 Bundsedimentets sammensætning og vanddybde ved prøvetagning. 34
Tabel 4-3 Prøvetagningspositioner. 35
Tabel 4-4 Bundsedimentets sammensætning – overflade og underliggende lag. 43
Tabel 6-1 Statistiske parametre for oplandets tilførsel af ferskvand i modellerede perioder. 53
Tabel 6-2 Målt og modelleret vandstand ved Grådybindsejlingen i vinterperioden. 59
Tabel 6-3 Målt og modelleret vandstand i Esbjerg Havn – Bassin 1 i vinterperioden. 59
Tabel 6-4 Målt og modelleret vandstand ved Grådybindsejlingen i sommerperioden. 59
Tabel 6-5 Målt og modelleret vandstand i Esbjerg Havn – Bassin 1 i sommerperioden. 60
Tabel 7-1 Statistiske mål for vandføringer i vinterperioden. 78
Tabel 7-2 Statistiske mål for vandføringer i sommerperioden. 78
Tabel 7-3 Overfladesedimentets sammensætning i Grådyb, Knudedyb og Juvre Dyb tidevandsområde, ref. /3/. 91
Tabel 7-4 Hovedtal opgivet som TDS (tons tørstof sediment) for Esbjerg Havns oprensning og klapning af finkornet sediment på Klapplads Ø, E og F i 2018 og de to modelperioder. 100

Tabel 7-5 Hovedtal opgivet som TDS (tons tørstof sediment) for Kystdirektoratets oprensning fra bassiner og klapning af finkornet på Klapplads Ø, F og E+N i 2018 og de to modelperioder. 100
Tabel 7-6 Hovedtal opgivet som TDS (tons tørstof sediment) for den samlede oprensning i 2018 og de to modelperioder. 100
Tabel 9-1 Statistiske mål for vandføringer i vinterperioden, Grådyb. 158
Tabel 9-2 Statistiske mål for vandføringer i vinterperioden, Esbjerg. 158
Tabel 9-3 Statistiske mål for vandføringer i vinterperioden, Knudedyb. 159
Tabel 9-4 Statistiske mål for vandføringer i sommerperioden, Grådyb. 159
Tabel 9-5 Statistiske mål for vandføringer i sommerperioden, Esbjerg. 160
Tabel 9-6 Statistiske mål for vandføringer i sommerperioden, Knudedyb. 160
Tabel 9-7 Tre måneders dagsmiddel samt mindste og største dagsmiddel af samlet afstrømning [m^3/s] fra ferskvandskilder i vinterperioden i tidevandsområdet nord og syd for etapeudbygningen. 169
Tabel 9-8 3 måneders dagsmiddel samt mindste og største dagsmiddel af samlet afstrømning [m^3/s] fra ferskvandskilder i sommerperioden i tidevandsområdet nord og syd for etape-udbygningen. 171
Tabel 9-9 Saltholdighed i S1 og S2 angivet i PSU for baseline, etapeudbygning 5 og ændringen (etapeudbygning 5 – baseline) udtrykt ved statiske mål. 175
Tabel 9-10 Saltholdighed i S1 og S2 angivet i PSU for baseline, etapeudbygning 5 og ændringen (etapeudbygning 5 – baseline) udtrykt ved statiske mål. 175
Tabel 9-11 Påvirkning af indkommende bølgeenergi i vinterperioden. 183
Tabel 9-12 Påvirkning af indkommende bølgeenergi i sommerperioden. 184
Tabel 9-13 Nettoimport af finkornet sediment fra Nordsøen til Grådyb og Knudedyb tidevandsområde i vinterperioden. 199
Tabel 9-14 Nettoimport af finkornet sediment fra Nordsøen til Grådyb og Knudedyb tidevandsområde i sommerperioden. 199

1 Introduktion

Esbjerg Havn forventer, at få brug for betragtelige udvidelser af kaj- og baglandsarealer indenfor en nærmere fremtid. Den igangværende udvidelse af Esbjerg Østhavn (Etape 4) nærmer sig sin afsluttende fase, hvor hele havnebassinet er uddybet og kaj med bagvedliggende arealer er klar til brug.

Esbjerg Havn har derfor påbegyndt planlægningen af nye udvidelser og har derfor igangsat en VVM-undersøgelse, som skal afdække anlæggets påvirkninger på miljøet, med særlig fokus på de hydrauliske og morfologiske påvirkninger i Grådyb og Knudedyb tidevandsområde.

En Etape 5 opfyldning og udbygning mod syd er begrænset af havnegrænsen og det tilstødende Ramsar og Natura 2000 område. Det er derfor kun muligt at lave en begrænset udbygning mod syd. Eventuelle efterfølgende udbygninger vil derfor kræve brug af opfyldninger på vand indenfor havnegrænsen og således at det ikke fører til kritiske påvirkninger af det omkringliggende Ramsar og Natura 2000 område. I denne undersøgelse er det alene en Etape 5 udvidelse som miljøvurderes. Nærværende undersøgelse bygger på en række indledende undersøgelser udført for Esbjerg Havn af udvidelsens udformning med henblik på at skabe et nyt havneafsnit med tilfredsstillende besejlingsforhold, som opfylder behovet for kaj- og baglandsareal, og ikke mindst har en begrænset påvirkning på det omkringliggende Ramsar og Natura 2000 område.

De påtænkte udvidelser forventes at tilføre et nyt landareal af størrelsesordenen 600.000 m^2, som indvindes fra Grådyb tidevandsområde. Dette område udgør cirka 132.000.000 m^2 og udbygningen indebærer derfor at tidevandsområdet reduceres med ca. 0,45 %.

Rapporten er opbygget med en kort sammenfatning i afsnit 2, en metodebeskrivelse i afsnit 3 efterfulgt af en beskrivelse af det til studiet anvendte datagrundlag i afsnit 4. Herefter følger en beskrivelse af eksisterende forhold (baseline) og den planlagte udbygning i afsnit 5. Afsnit 6 beskriver de valgte modelperioder samt kalibrering af modellen. Afsnit 7 beskriver baseline forhold, med fokus på de hydrauliske forhold, herunder strømforhold, vandbalance, saltholdighed, bølgeforhold og sedimentologiske forhold. Herunder klapning og spredning af finkornet sediment, samt generel morfologi. Afsnit 8 beskriver anlægsfasen, hvor der er gravespild fra uddybning og en morfologisk tilpasning grundet de ændrede strømningsforhold. Afsnit 9 beskriver driftsfasen og beskriver de samme forhold som i afsnit 7 blot efter en udbygning.

Endelig afsluttes med en referenceliste i afsnit 10.

Denne side skal være blank.

2 Sammenfatning

Denne rapport beskriver de hydrauliske og morfologiske påvirkninger, som den planlagte Etape 5 udvidelse af Esbjerg havn vil afstedkomme lokalt omkring selve opfyldningen og mere regionalt i Grådyb og Knudedyb tidevandsområde. Etapeudbygningen indebærer en opfyldning på land, som strækker sig helt frem til den sydligste del af havnegrænsen. Udvidelsen er derfor i umiddelbar nærhed af det omkringliggende Ramsar og Natura 2000 område, hvorfor det er nødvendigt at få klarlagt om en sådan udvidelse kan etableres uden at skabe kritiske påvirkninger på det omkringliggende miljø. Vurderingerne er foretaget ved at se på forholdene i henholdsvis en vintersæson og sommersæson.

Den planlagte Etape 5 udbygning af Esbjerg Havn forventes at tilføre et nyt landareal på omkring 600.000 m^2, som indvindes fra Grådyb tidevandsområde. Dette område udgør cirka 132.000.000 m^2 og udbygningen indebærer derfor at Grådyb tidevandsområde reduceres i størrelse med 0,45%.

Rapporten beskriver i detaljer udbygningens påvirkning på de lokale strømforhold, vandstand, vandføringer, gennemstrømning, saltholdighed, bølger og spredning og opslæmning af finkornet sediment i Grådyb og Knudedyb tidevandsområde. Desuden er den morfologiske påvirkning af udbygningen vurderet og estimeret.

Udbygningen krager ud for enden af sejlrenden. Der opstår derfor en lokal strømkontraktion og forstærkning i tværsnittet mellem opfyldningen og Fanø. Påvirkningen er størst i løbet lige vest for opfyldningen, hvor strømmen vil forsøge at etablere en naturlig sideforskydning af løbet. I dette område, hvor der forventeligt vil være en risiko for signifikant erosion krydser trykledninger med spildevand og fjernvarme, samt et 60 KV jordkabel. Der vil derfor i forbindelse med udvidelsen være et behov for at sikre disse ledninger med en form for erosionsbeskyttelse over en strækning på 200-300 meter. Ligeledes kan det blive nødvendigt at erosionsbeskytte et af højspændingsmasternes fundament (PF6). I de morfologiske beregninger er ikke fundet nogen indikation på erosion af vaderne, hverken på kanterne eller selve vaden. Påvirkningerne er derfor hovedsagelig knyttet til området indenfor havnegrænsen.

I anlægsfasen vil der være et gravespild i forbindelse med uddybningsarbejderne for enden af sejlrenden ved etape 5 opfyldningen og syd for Sønderhavn, hvor sejlrenden gøres bredere. Påvirkningerne fra uddybningsarbejdet og gravespildet er meget begrænsede og kun af betydning helt lokalt, da det generelle turbiditetsniveau er højt inde i tidevandsområde. Ydermere vil de ved gravning frigjorte lerpartikler flokkulere med en forøget faldhastighed til følge. Den laveste påvirkning opnås i vintersæsonen, hvor det generelle turbiditetsniveau er højest, men påvirkningen fra gravespild er også ukritisk i sommersæsonen. Generelt vurderes påvirkningerne under anlægsfasen at være helt uvæsentlige for Vadehavets marine miljø.

Udbygningen skaber helt lokalt en svag blokering af tidevandet, som bevirker, at der vil opstå en meget svag forskydning af tidevandsskellet i nordlig retning. Desuden mindskes tidevandsvolumenet i Grådyb tidevandsområde lidt, som følge af at det vanddækkede areal reduceres med udbygningen. Den reducerede udveksling gennem Grådyb medfører, at saltholdigheden i middel mindskes med omkring 0,1-0,2 ‰ i tidevandsområdet nord for opfyldningen og tilsvarende forøges i sammen størrelsesorden syd for opfyldningen. Da sæsonvariationen og variationen henover en tidevandscyklus er langt større end ændringerne, er den fundne påvirkning uden betydning.

Det er ligeledes undersøgt om udbygningen vil have nogen betydning for stormflodsniveauerne inde i tidevandsområdet. Her blev det fundet, at udbygningen ikke påvirker stormflodsniveauet, ligesom den ikke påvirker tidevandsniveauerne.

Klapplads Ø er placeret umiddelbart vest for udbygningen i et område, hvor der vil være en strømforstærkning i forhold til de nuværende forhold. Der vil derfor være en lidt kraftigere og hurtigere spredning af klapmaterialet, når der klappes i dette område. Udbygningen skaber en

lidt ændret strømcirkulation og der vil derfor være en svag forstærkende tendens til opbygning af den nordlige del af vaden ud for Halen (Fanø) og på vaden sydøst for udbygningen. I de perioder, hvor der klappes materiale på klapplads Ø, vil der være en svag forøget tendens til mere aflejring i havnebassinerne, mens den i de perioder, hvor der ikke er påvirkning fra erosion af klapmateriale på klapplads Ø, vil være mindsket. Samlet set forventes der en uændret eller mindsket aflejring i bassinerne med undtagelse af Østhavn, hvor sedimentationen ventes at falde i det indre bassin mod til gengæld, at der bliver et behov for oprensning i den nye ydre del, som skabes med udbygningen.

Modelsimuleringerne har fundet, at udbygningen bidrager til en forøget nettoimport af finkornet sediment fra Nordsøen til Grådyb og Knudedyb tidevandsområde. En import som er vigtig for at opbygningen af vaderne i tidevandsområdet fortsat kan følge med effekterne fra de klimabetingede accelererende havspejlsstigninger. Den øgede akkumulation af finkornet sediment må derfor tilskrives de ændrede cirkulationsforhold i området, som udbygningen skaber.

3 Metodebeskrivelse

Den planlagte Etape 5 udbygning af Esbjerg Havn indeholder opfyldninger på vand, som forventes at tilføre et nyt landareal på omkring 600.000 m^2. Landarealet indvindes fra Grådyb tidevandsområde, som udgør cirka 132.000.000 m^2. Udbygningen indebærer derfor at Grådyb tidevandsområde reduceres i størrelse med 0,45%. Tidevandet øst for Fanø reguleres af ind- og udstrømning gennem Grådyb og Knudedyb. For at kunne beskrive vandstand og strømforhold i området er det derfor nødvendigt at anvende en hydraulisk model, som dækker hele Grådyb og Knudedyb tidevandsområde samt havområdet vest for Fanø.

I Grådyb og Knudedyb tidevandsområde er der en række store vandløb; Varde Å, Sneum Å, Konge Å og Ribe Å, som bevirker at det saline havvand blandes med åernes ferske vand. Når ferskvandet fra åerne kommer i kontakt med tidevandsområdets dynamik, blandes det relativt hurtigt op i den fulde vandsøjle således, at variationer i saltholdighed primært domineres af horisontale forskelle og kun i mindre grad vertikale forskelle og stratifikation. Saltholdigheden varierer typisk fra omkring 30 ‰ ved åbningerne til Grådyb og Knudedyb til 0 ‰ ved vandløbenes udmunding. Den vertikale variation over vanddybden overstiger sjældent 2-3 ‰. Egentlige lagdelinger med modsatrettet strømning ved overflade og bund forekommer ikke i selve tidevandsområdet, dog med undtagelse af havnebassinerne. Fraværet af egentlige springlag gør, at der ikke er behov for at anvende en 3D-strømningsbeskrivelse til at beskrive strøm, vandstand og saltholdighed i tidevandsområdet. Af denne grund er det valgt at anvende en dybdemidlet 2D-modelbeskrivelse til beskrivelse af de hydrauliske forhold i baseline situationen og de fremtidige forhold med en udbygning af havnen. Den hydrauliske model er konstrueret således, at modellens beregningsnet er særlig fint i området omkring udbygningerne og i løbene, hvor igennem størstedelen af tidevandsstrømmen løber ind og ud af tidevandsområdet. Opløsningen på vaderne er valgt lidt grovere, idet disse områder primært oversvømmes i takt med tidevandet og kun i mindre grad er vandførende.

3D-effekter er af betydning for udvekslingen med havnebassinerne, idet saltholdigheden ud for bassinmundingerne varierer med tidevandet. Saltholdigheden øges typisk for stigende vandstand og reduceres ved faldende vandstand. Når saltholdigheden er større udenfor bassinet end inde i bassinet, dannes der en tung bundstrøm, som presser vand, salt og finkornet sediment dybt ind i havnebassinet. Når saltholdigheden er mindre udenfor bassinet end inde i bassinet, dannes der en tung bundstrøm, som trækker vand og salt ud af havnebassinet. Det finkornede sediment trækkes kun ud i beskeden grad, idet en stor del af det er sedimenteret inde i havnebassinet, som følge af de rolige strømforhold. 2D-modelbeskrivelsen vil derfor underestimere mængden af sediment, som aflejres i havnebassinerne i løbet af en tidevandscyklus. I de øvrige dele af modelområdet er 3D-effekter af meget begrænset betydning. Til vurdering af tilsiltning af havnebassinerne anvendes en analytisk model.

Forekomsten af nip og spring tidevand kan typisk dækkes med en 14 dages modelperiode. Perioder med reduceret eller forøget vandstand optræder typisk i vinterhalvåret og i forbindelse med passage af stormlavtryk. Vinden og afstrømningen fra vandløb varierer ligeledes henover året. Det er derfor valgt at modellere henholdsvis en vinter- og sommerperiode i de fleste af undersøgelserne. For den morfologiske undersøgelse modelleres der dog et fuldt år således, at effekten af sæsonvariationer er indeholdt i modellen. Modelperioden dækker således perioden fra 1. januar 2018 og et år frem. Modelperioden er valgt så den afspejler næsten nutidige forhold hvor der er afstrømningsdata i form af vandføringstidsserier fra vandløb samt målinger af vandstand, strøm, saltholdighed og turbiditet til rådighed. Modellen er således kalibreret og valideret mod disse parametre. Særlig fokus har der været på de målte vandstande ved Grådybindsejlingen og fra Esbjerg Havn Bassin 1, idet disse data dækker hele modelperioden. Derudover er modellens saltholdighed sammenholdt med målinger af saltprofiler i Grådyb og Knudedyb tidevandsområde hentet fra Danmarks Miljøportal.

Sideløbende med den hydrauliske og morfologiske modellering er der blev udført en feltkampagne, hvor der er blevet målt strøm, saltholdighed, temperatur og turbiditet

(sedimentkoncentration). Til feltkampagnen blev der anvendt fem målestationer. Tre af stationerne blev placeret i løbene (Esbjerg Nord, Esbjerg Øst og Knudedyb), mens de to øvrige blev placeret på vader lidt nord for tidevandsskellet (Fanø Øst og Klyngvese Sand). Sommermodelperioden dækker måleperioden for de fem stationer, mens vinterperioden dækker en periode hvor transektmålinger af strøm og målinger fra Esbjerg Nord er til rådighed. Målestationen ved Østhavn blev desværre taget af isen, hvorfor målinger herfra gik tabt.

Baselinemodellens batymetri og beregningsnet er konstrueret, således at Etape 5 udbygningens omridskontur er indeholdt. Udbygningsscenariets beregningsnet er konstrueret således, at alle beregningselementer indenfor omridskonturerne, blot er fjernet fra baselinemodellens batymetri og beregningsnet for bl.a. at sikre, at beregnede påvirkninger ikke er påvirket af ændringer af beregningscellerne. Derudover er batymetrien uddybet i de områder, hvor udvidelsen forudsætter en større vanddybde. Det sammenfaldende beregningsnet gør det muligt at beregne differensændringer (påvirkningen) uden brug af interpolerede værdier.

Den hydrauliske påvirkning af udvidelsen er undersøgt med udgangspunkt i en statisk batymetri (ingen morfologisk tilpasning) for baseline og Etape 5 udvidelsen i den del, der relaterer til den midlertidige påvirkning. Disse modelkørsler udgør en slags "worst case", idet den største påvirkning typisk opstår i den periode, hvor dybdeforholdene endnu ikke har tilpasset sig de ændrede strømningsforhold. Disse beregninger bruges til at estimere anlæggets påvirkning på de lokale strømforhold, vandbalancen (gennemstrømning og bruttovandføring) og saltbalancen. Derudover undersøges anlæggets betydning for bølgeforhold og stormflodsvandstand i tidevandsområdet. Undersøgelserne gentages med udgangspunkt i en udviklet batymetri, repræsenterende den permanente påvirkning.

Hovedparten af Grådyb og Knudedyb tidevandsområder er permanent vanddækket eller dækket af højtliggende og lavtliggende sandvader. Kun en mindre del af området er sammensat af vader med blandet sediment (silt og sand) og i endnu mindre grad af muddervader. Dannelse af muddervader forudsætter rolige strøm- og bølgeforhold, hvor det finkornede sediment kan få lov til at udfældes uden at blive opslæmmet alt for ofte. Vader med blandet sediment (sand/silt) kræver ligeledes rolige strøm- og bølgeforhold, men kan i højere grad tåle at blive bragt i opslæmning. Man finder derfor muddervaderne helt i bunden af Ho Bugt og i læ-zoner ind mod Fanøs østkyst, hvor bølgepåvirkningen er beskeden. Områderne med blandet sediment finder man nær tidevandsskellet, langs Fanøs østkyst og langs Jyllands kyst i den indre del af Grådyb tidevandsområde, hvor påvirkningen fra bølger og strøm er relativt større. I områderne med permanent vanddække er bundsedimentet overvejende sandet, som følge af tidevandsstrømmens udvaskende påvirkning af det finkornede sediment. I store dele af sejlrenden er sandlaget meget tyndt og ligger over et hårdt erosionsbestandigt lerlag. Udbygningen af havnen finder sted i den permanent vanddækkede del. Det giver derfor god mening, at anvende en sedimenttransportmodel for finkornet sand i kombination med en begrænset sandlagstykkelse til beskrivelse af de morfologiske påvirkninger og ændringer, som Etape 5 udbygningen af havnen vil føre til i nærområdet. Den morfologiske model giver ikke kun informationer om tendenserne i de sanddominerede områder, men kan også give væsentlige og vigtige informationer om tendenserne i områder med blandet sediment, hvor vi ved, at der finder en strømforstærkning sted i forhold til nuværende forhold. Indikerer den morfologiske sandtransportmodel ingen eller kun meget svage ændringer fortæller det, at effekterne primært blot vil kunne føre til en udvaskning af de finkornede fraktioner i overfladesedimentet og dermed ikke resultere i en egentlig erosion. Årsagen til dette er, at en udvaskning af det finkornede overfladesediment virker øgende på det procentvise indhold af sand og kan ændre dets karakteristik til betegnelsen fra blandet vade til sandvade. Sandtransportmodellen beskriver netop den morfologiske påvirkning på sidstnævnte og forudsiger denne beskrivelse ingen eller kun svag påvirkning er dette en kraftig indikator for at vaden beliggende i Natura 2000 området vil forblive relativt upåvirket, og altså ikke udsættes for erosion af betydning.

Påvirkningen fra bølger er af yderst beskeden betydning for sandtransporten inde i tidevandsområdet. Det er derfor valgt at anvende en ren strømbaseret sedimenttransport-beskrivelse for sand, som tager hensyn til effekten af hældende bund (langsgående og

tværgående tyngdeeffekt), samt effekter af helisk strømning (afbøjning af strømretning ved bunden i forhold til den dybdemidlet strømretning) på bundtransporten. Den opslæmmede transport beskrives ved hjælp af en AD-ligning, som også inkluderer effekter af advektiv transport, helisk strømning, dispersion og forsinkelseseffekter (lag-effekter) i forbindelse med aflejring og erosion. De morfologiske beregninger er foretaget under en simplificeret antagelse om, at materialet i tidevandsområdet overalt kan beskrives som værende fint sand med en mediankorndiameter på 0,2 mm, idet denne kornstørrelse vurderes som værende en karakteristisk middel for det samlede system. I sejlrenden er bunden beskrevet som et tyndt sandlag med et underliggende hårdt lag som ikke kan eroderes. Den morfologiske udvikling følges over en periode svarende til 12 måneder, idet det må forventes at primærtilpasningen vil finde sted indenfor denne tidsskala. På dette grundlag vurderes den langsigtede påvirkning.

Den morfologiske sandtransport model bruges til at vurdere hvilke områder som udsættes for erosion og aflejringer, herunder om potentielt eksponerede vader beliggende i Natura 2000 området er i risiko for betydende erosion.

De morfologiske (sand)beregninger tager ikke højde for beskaffenheden af bundsedimentet i områderne med meget finkornet sediment. Da mudderfladerne også er vigtige habitater i vadehavet, er der i tillæg til den morfologiske vurdering udført en selvstændig analyse for udvidelsens eventuelle påvirkninger på det finkornede sediment. Til dette formål er der etableret en sedimenttransportmodel for finkornet sediment (silt), som er det, man primært finder i opslæmning i vandsøjlen. Modellen indeholder et kort, som definerer alle områder, hvor der er større forekomster af finkornet sediment. Bidrag fra klapning af oprenset havnesediment er også indeholdt i modellen. Derudover indeholder den en faldhastighedsformulering, som tager højde for at faldhastigheden af det opslæmmede sediment vokser med sedimentkoncentrationen. Modellens sedimentkoncentrationer er sammenholdt med målinger fra Grådyb og Knudedyb tidevandsområde for at sikre at modellen kan genskabe den rigtige dynamik under tidevandspåvirkning, samt i situationer med peak-niveauer som typisk påvirkes af klapning, vindforhold og bølger.

Modelberegningerne for det finkornede sediment udføres med et fastholdt bundniveau, idet de morfologiske ændringer udløst af opfyldningen, primært finder sted i de områder, hvor der ikke er finkornet sediment. I beregningerne opdateres udelukkende bundlagstykkelser og sammensætning. Modellen bruges til at vurdere udbygningens betydning for erosion, udvaskning af finkornet sediment og aflejring på de blandede vader. Derudover bruges modellen til at vurdere udbygningens påvirkning på sedimentationen af havnebassinerne.

Klimarelaterede havspejlsstigninger indebærer at vandstandsniveauet frem mod år 2050 vil stige med måske op til 0,25 meter. Den løbende havspejlstigning er ikke et nyt fænomen. Ved Esbjerg er middelvandstanden korrigeret for effekter fra landhævning hævet med 7 cm i løbet af perioden 1990-2017. Det nye er, at tendensen er accelererende. Indtil videre har opbygningen af vaderne været i stand til at følge med denne udvikling, hvorvidt det også vil være tilfældet i fremtiden, er uden for dette studie at vurdere. Det skal dog nævnes at tidligere undersøgelser peger på at Grådyb tidevandsområde ikke er i en morfologisk ligevægt, ref. /2/. Grådyb har på nuværende tidspunkt et for stort vanddækket volumen, hvilket efter teorierne medfører en import af sediment. Dette gør sig særligt gældende for det finkornede sediment, som netop er det som er af primær betydning for en forsat opbygning af vaderne (tilpasning til det ændrede middelvandspejl).

Denne side skal være blank.

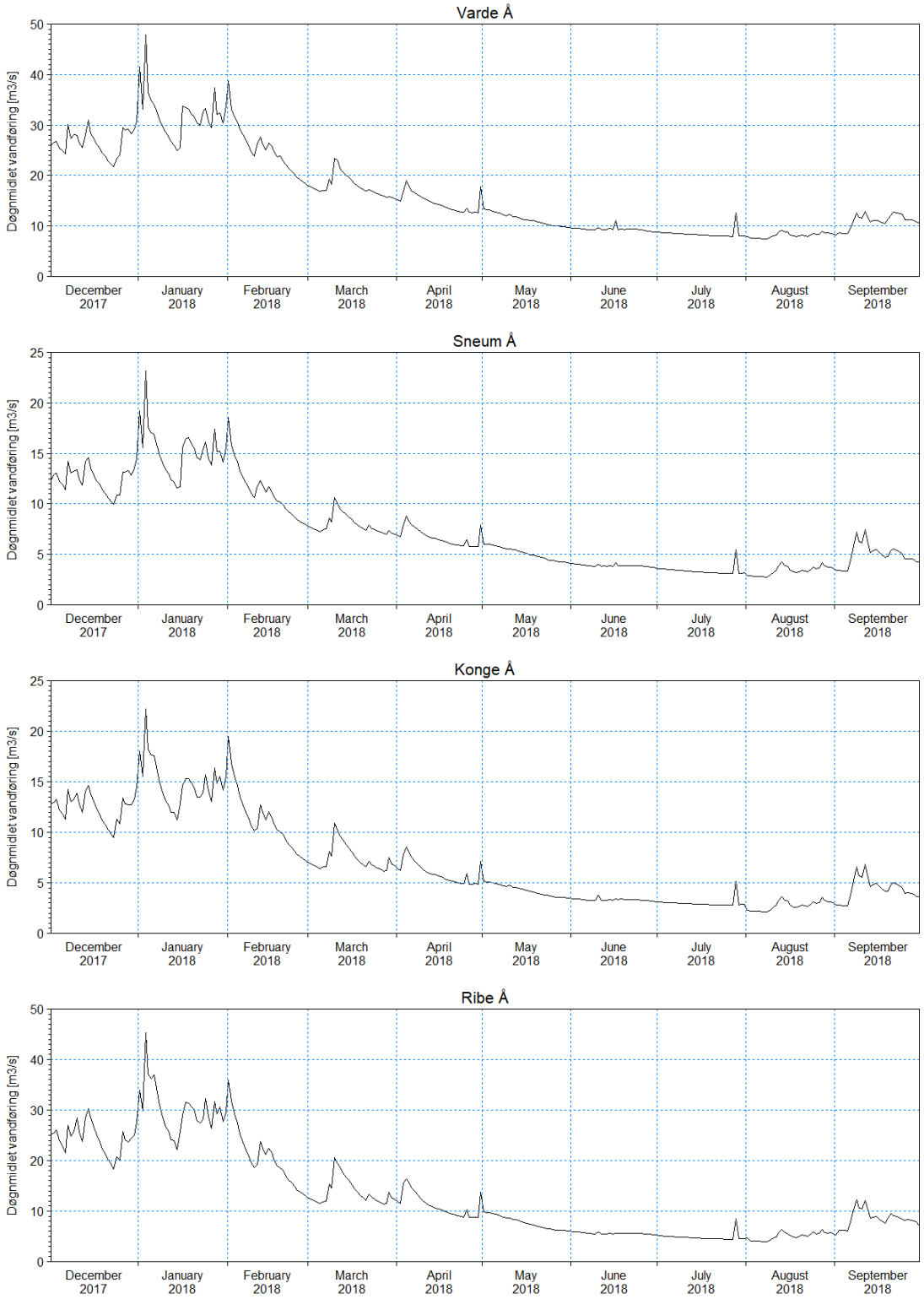
4 Datagrundlag

Strømforholdene og saltholdigheden i og omkring Esbjerg Havn er styret af tidevand, bidrag fra vind og vejrsystemer som fører til en generel opstuvning/sænkning af middelvandspejlet, bølger, batymetri, geometri samt afstrømning tilført fra vandløb. I dette afsnit er det anvendte datagrundlag relateret til disse parametre og fænomener beskrevet.

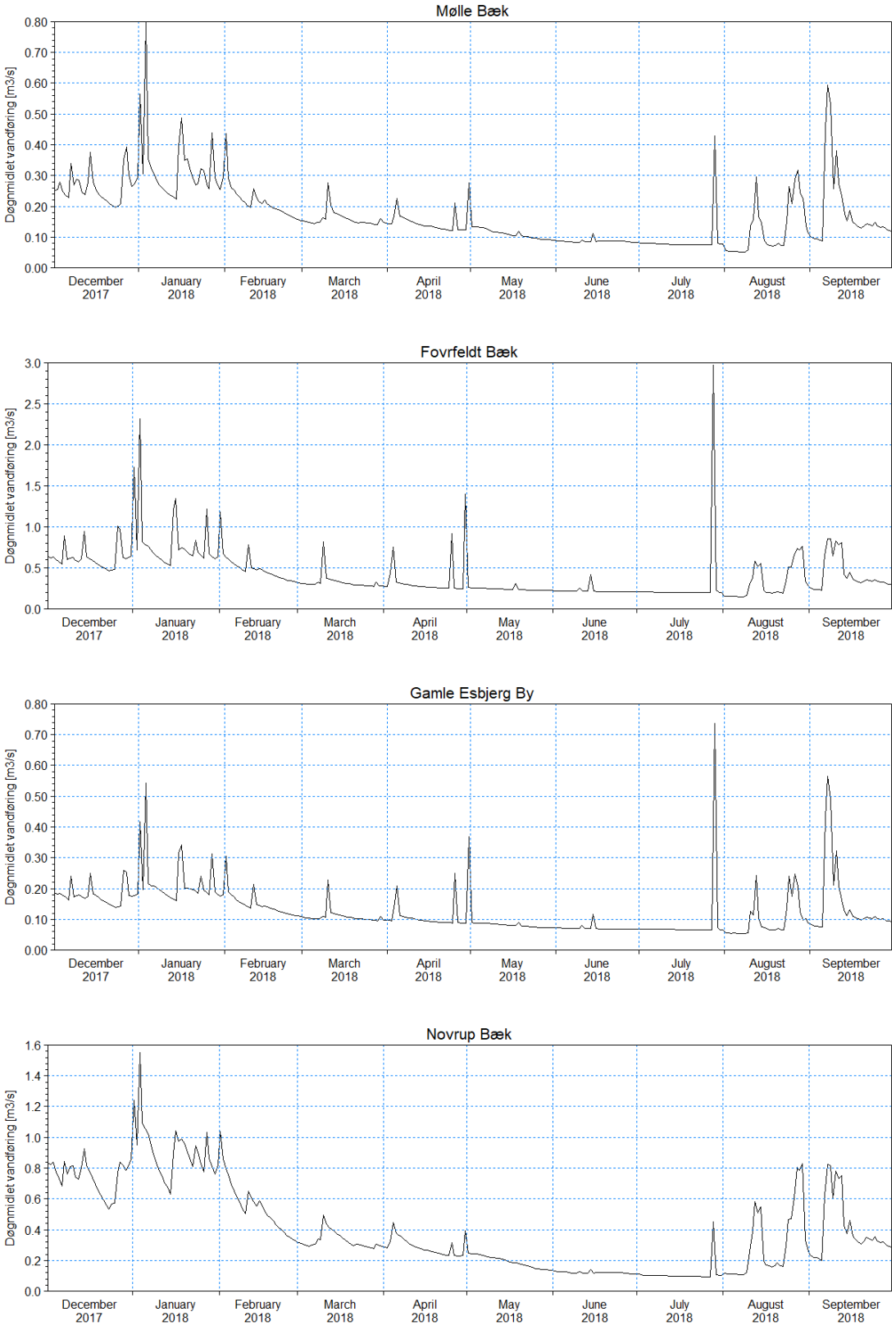
4.1 Afstrømning

Afstrømningen af ferskvand til Grådyb og Knudedyb tidevandsområde i farvandet omkring Esbjerg er domineret af fire store vandløb; Varde Å, Sneum Å, Konge Å og Ribe Å. Derudover er der mindre bidrag fra Mølle Bæk, Fovrfeldt Bæk, Esbjerg Gamle By (Præstegårdsbæk og Måde Bæk), Novrup Bæk og Darum Bæk. Udløbenes placering er vist på oversigtskortet i Figur 4-1. Figurerne nedenfor viser den med udgangspunkt i nedbørsmængder beregnede afstrømning fra disse åer i form af døgnmidlet værdier. De benyttede data stammer fra GEUS og findes på hjemmeside www.vandmodel.dk Desuden er der mindre udledninger fra spildevandsøen lige syd for Esbjerg Marina. Data for udledninger fra spildevandsøen er leveret af Esbjerg Forsyning.

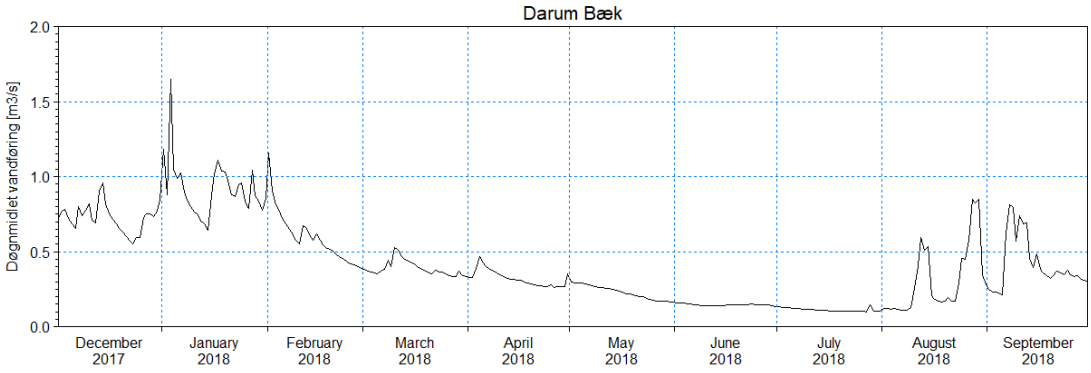
Figur 4-1 Vandløb med udmunding i Grådyb og Knudedyb tidevandsområde.



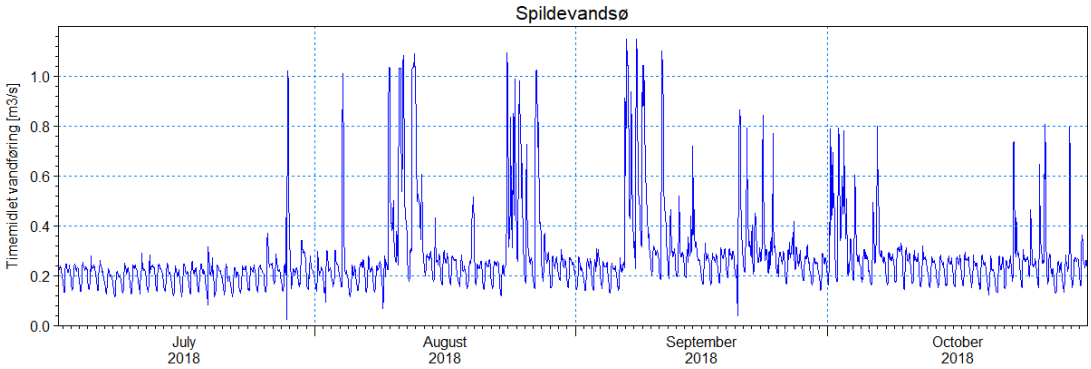
Figur 4-2 Døgnmidlet afstrømning fra Varde Å, Sneum Å, Konge Å og Ribe Å og i de modellerede vinter- og sommerperioder.



Figur 4-3 Døgnmidlet afstrømning fra Guldager Mølle Bæk, Fovrfeldt Bæk, Gamle Esbjerg By og Novrup Bæk i de modellerede vinter- og sommerperioder.



Figur 4-4 Døgnmidlet afstrømning fra Darum Bæk i de modellerede vinter- og sommerperioder.

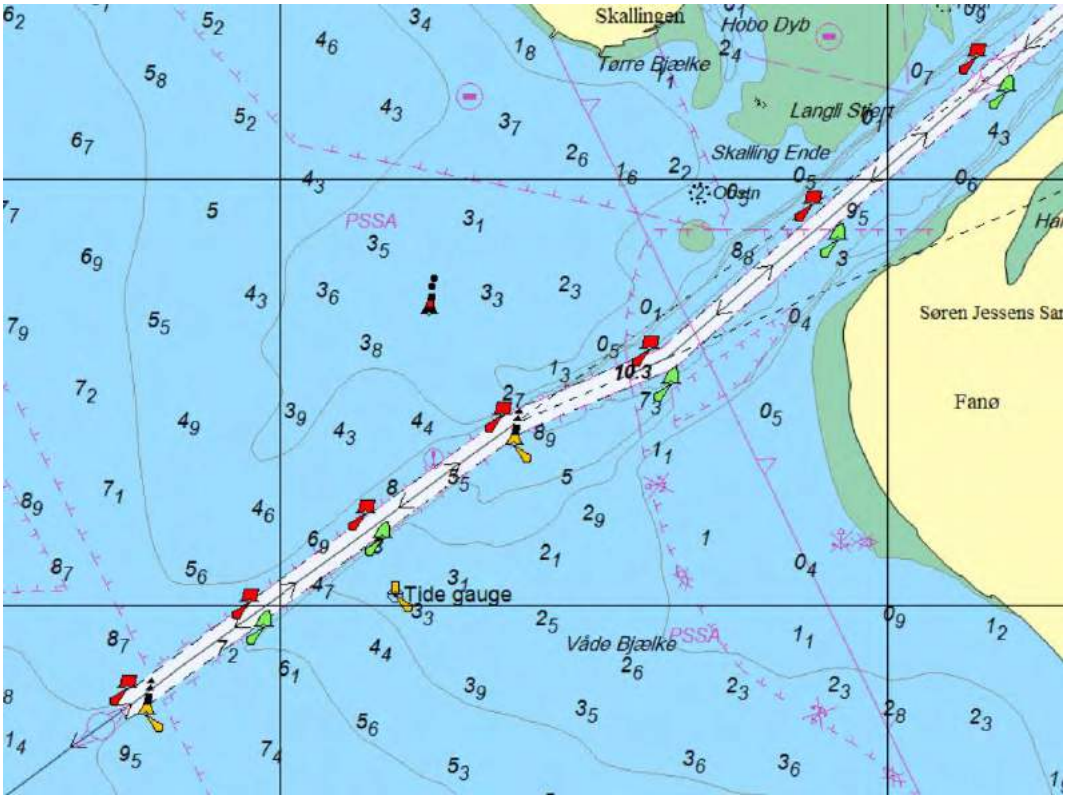


Figur 4-5 Timemidlet udledning fra spildevandsøen i den modellerede sommerperiode.

Udledningsdata er omregnet til timeværdier og leveret af Esbjerg Forsyning.

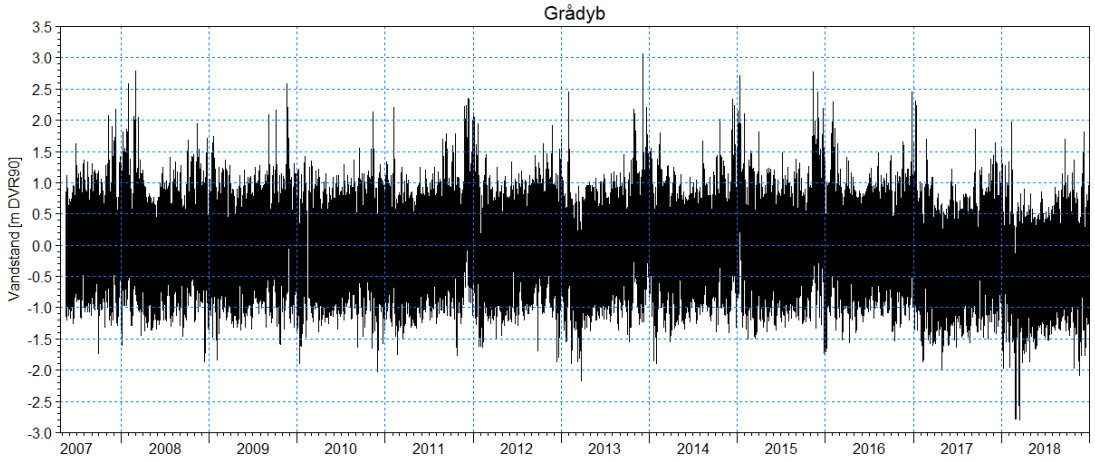
4.2 Vandstand

Esbjerg Havn har to vandstandsmålere placeret ved henholdsvis indsejlingen til Grådyb og inde ved Bassin 1. Grådyb målebøjens placering er vist i Figur 4-6.

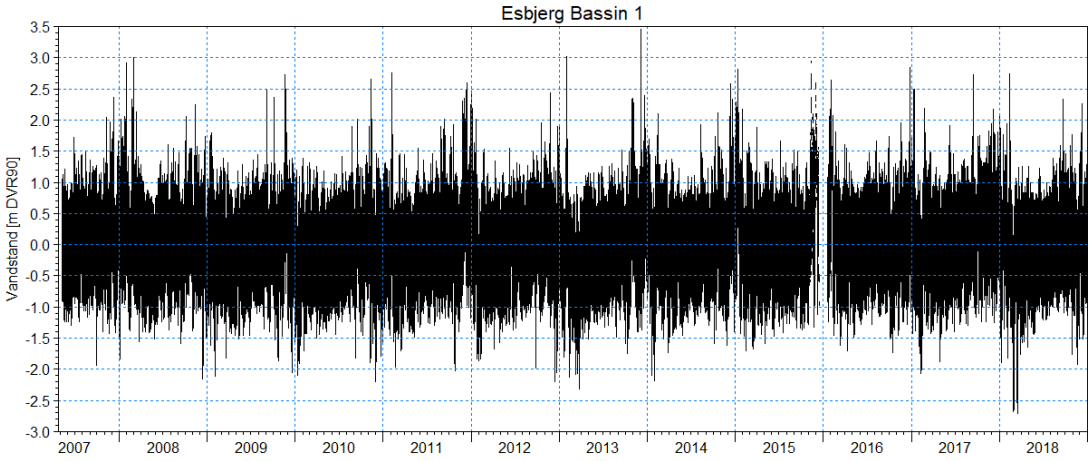


Figur 4-6 Søkort visende Grådyb målebøjens placering (Tide gauge).

Målingerne fra disse to stationer dækker perioden 2007-2018 (Figur 4-7 og Figur 4-8), og er anvendt til kalibrering af modellen. Af måletidsserien fra havnen ses det, at der kan forekomme vandstandsforskelle på helt op til 6 meter, jf. lavvandshændelsen 17. marts 2018 på -2,71 m DVR90 og stormflodshændelsen under stormen Bodil 5. december 2013 på 3,45 m DVR90. Observationerne fra Grådyb indeholder ingen udfald, mens målingerne fra Bassin 1, har et større udfald i slutningen af 2015 og starten af 2016. Det er vurderet, at der er en datum fejl i modtaget Grådyb vandstandsdata fra 2017 og 2018. For 2018 er det vurderet, at de målte vandstande skal løftes med omkring 0,30 m. Korrektionen er fundet på baggrund af modelsimuleringer og modellens forskelle i nulniveau ved Bassin 1 og Grådyb. Data nedenfor er rå-data og vist med den formodede offset fejl.



Figur 4-7 Observeret vandstand ved indsejlingen til Grådyb i perioden 2007-2018.

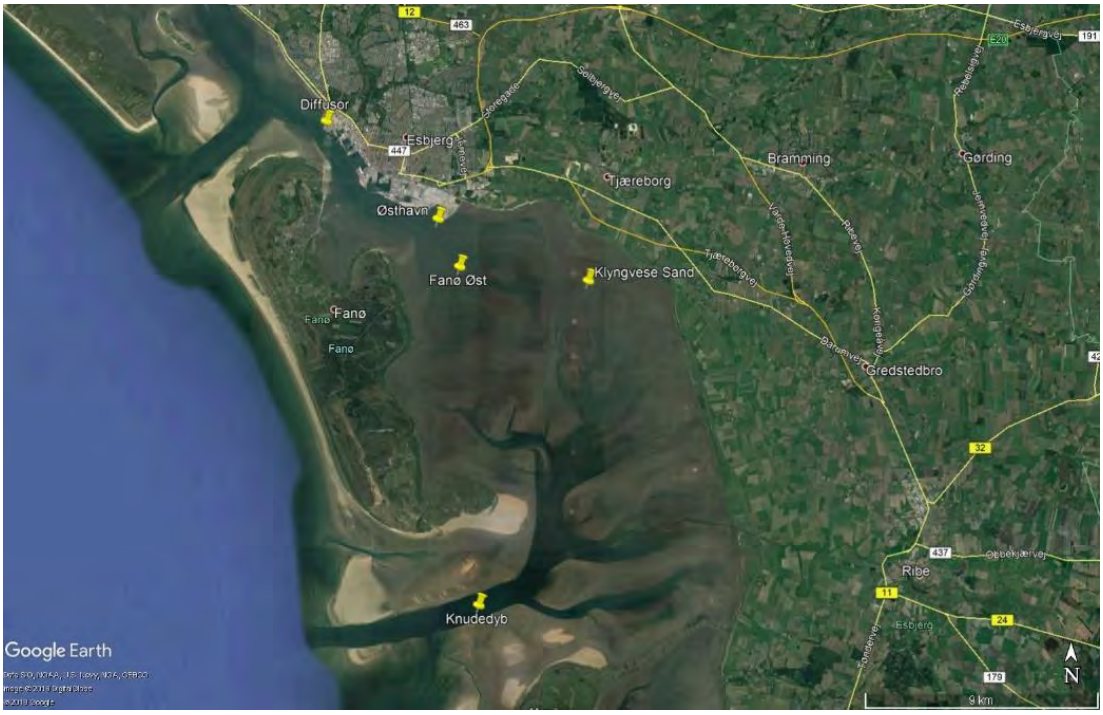


Figur 4-8 Observeret vandstand i Esbjerg Havn ved Bassin 1 i perioden 2007-2018.

Til at drive modellen er der udtrukket vandstande i form af linjetidsserier langs modellens åbne rande fra en hydrodynamisk model dækkende Nordsøen og Østersøen. Disse drivende modeldata er som en del af modelkalibreringen efterfølgende korrigeret på baggrund af de observerede vandstande ved Grådyb for at sikre en så rigtig dynamik i Grådyb og Knudedyb tidevandsområde som muligt.

4.3 Strøm

Som en del af undersøgelsen for udvidelsen af Esbjerg Havn er der målt strøm, vandtemperatur, saltholdighed og turbiditet i Grådyb og Knudedyb tidevandsområde. I alt har der været udlagt 5 stationer, hvis placering fremgår af Figur 4-9.

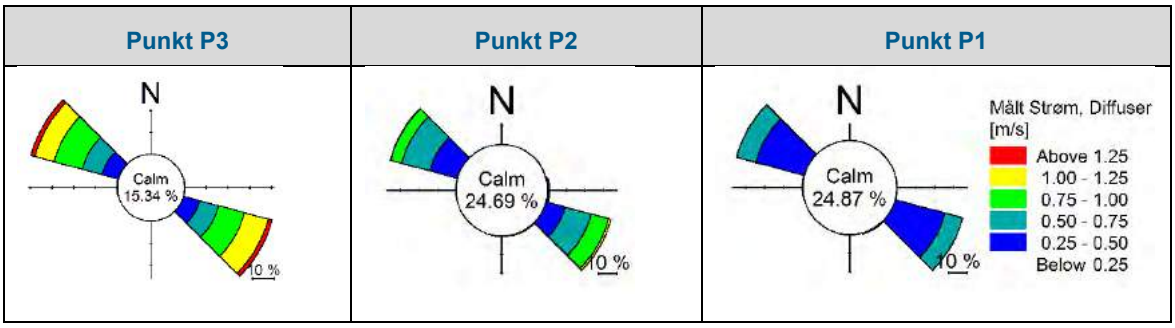


Figur 4-9 Oversigt over de fem udlagte stationer.
Baggrund fra Google Earth.

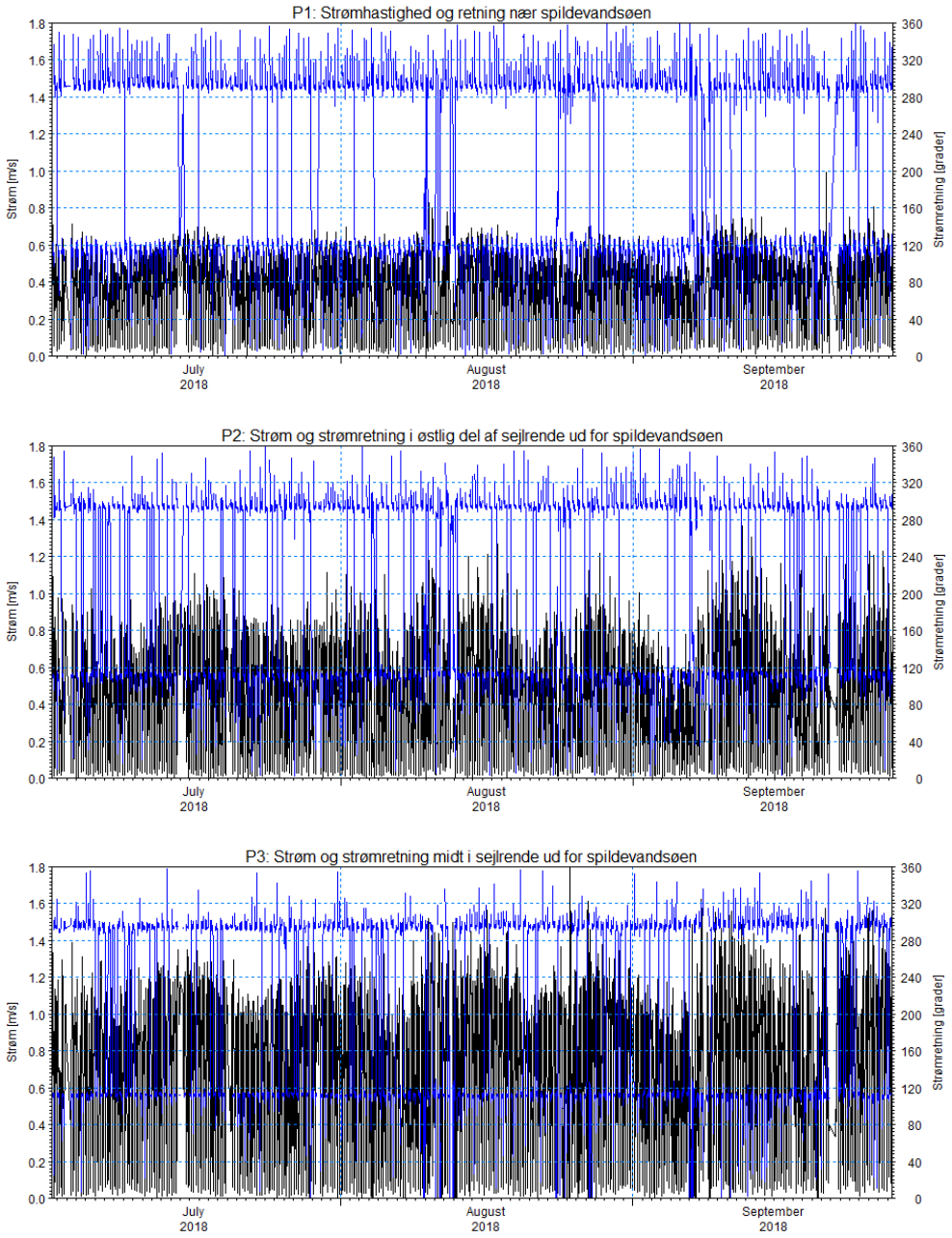
Der blev målt strøm i stationerne benævnt: Diffuser, Østhavn og Knudedyb. Ved spildevandsøen (Diffuser) blev der benyttet en vandretskydende ADCP, som gør det muligt at bestemme strømhastigheden i forskellig afstand fra spildevandsøen. Figur 4-10 angiver en indikation af de tre punkter, hvorfra den målte strøm er plottet som strømrose og tidsserie.

Figur 4-10 Cirka indikation af hvor strømmen er målt i de viste tidsserier og strømroser.

Figur 4-11 viser strømroser i tværsnittet ud for spildevandsøen for perioden 1. juli til 28. september 2018. Det ses, hvordan strømmens er kraftigst i indersiden af svinget (P3), idet vandspejlsgradienten, som en konsekvens af den kortere distance, er størst her. Flodstrømmen ses at være en anelse kraftigere end ebbestrømmen. Tidsserier af strøm og strømretning for P1-P3 er plottet i Figur 4-12. Strømhastighed er angivet med sort kurve og aflæses på den venstre akse, mens strømretning er angivet med blå kurve og aflæses på den højre akse. Strømretning er defineret i forhold til nord og i retning med uret således, at 0˚ angiver strøm rettet mod nord og 90˚ strøm rettet mod øst.

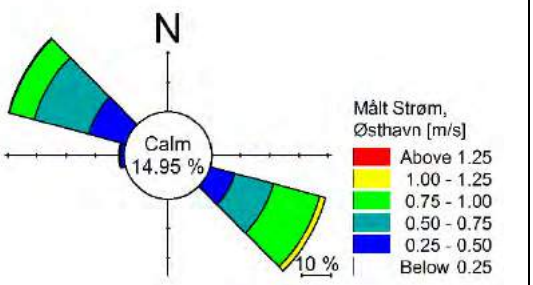
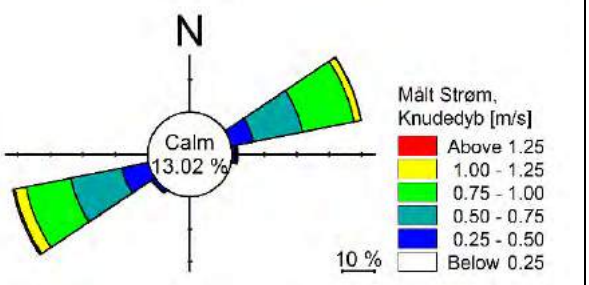


Figur 4-11 Målte strømroser ud for spildevandsøen i perioden 1. juli – 28. september 2018.

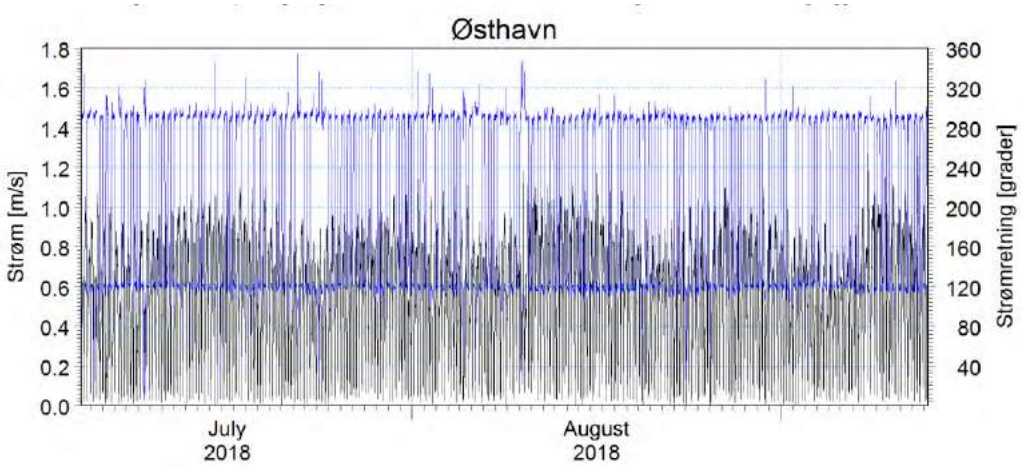


Figur 4-12 Tidsserier af strøm og strømretning i P1-P3.
Sort kurve: Strøm, blå kurve: Strømretning.

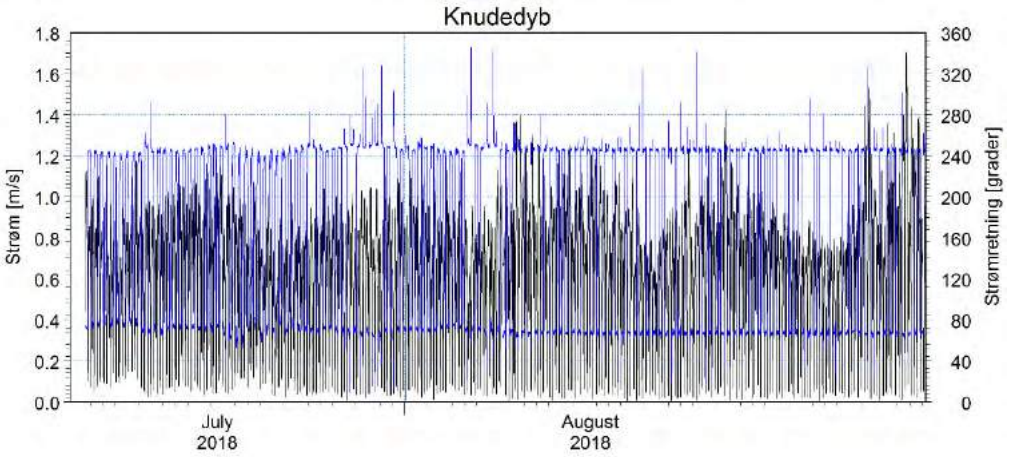
Strømroser beskrivende forholdene ved Østhavn og i Knudedyb i perioden 5. juli – 19. oktober 2018 er vist i Figur 4-13. Måleren ved Østhavn er placeret på 4,3 m vanddybde, mens måleren i Knudedyb er placeret på 9,4 meter vanddybde. Tidsserier af strøm og strømretning er plottet i Figur 4-14 og Figur 4-15.

ADCP Østhavn (8° 28,670´, 55° 26,719´)	ADCP Knudedyb (8° 30,329´, 55° 18,726´)
	

Figur 4-13 Målte strømroser ved Østhavn (venstre) og i Knudedyb (højre) i perioden 5. juli – 19. oktober 2018.



Figur 4-14 Tidsserier af strøm og strømretning i station ud for Østhavn.



Figur 4-15 Tidsserier af strøm og strømretning i Knudedyb.

4.3.1 Transektmålinger af strøm

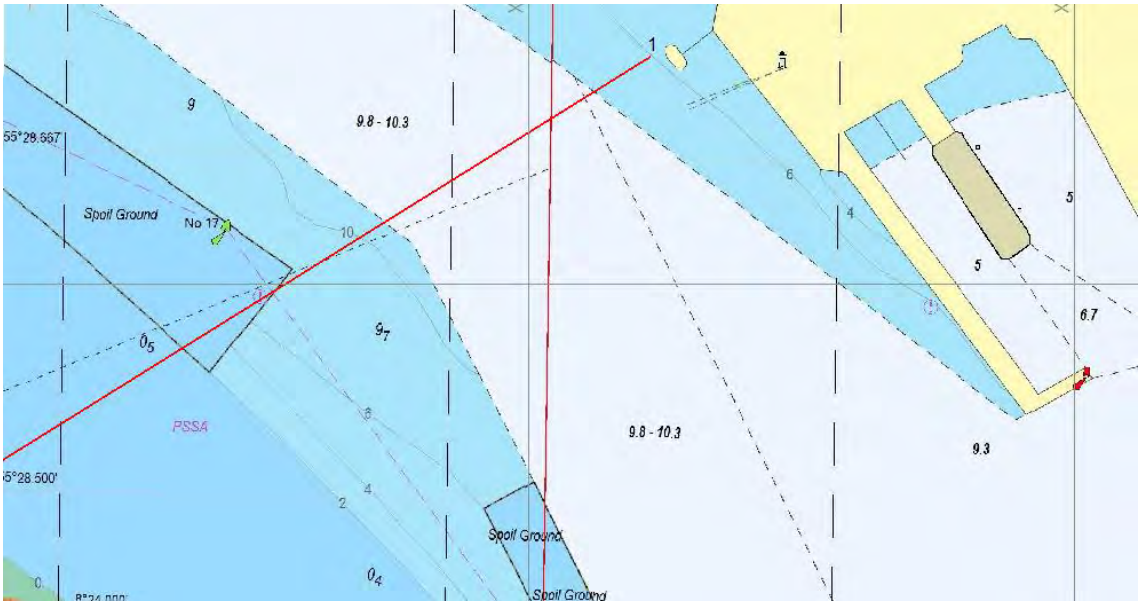
Til at belyse strømmens variation på langs af sejlrenden blev der den 4. januar 2018 udført opmåling af strømhastighedsprofiler i to linjer (transekter) i Grådyb: en nordlig transekt ved

Nordhavnen og en sydlig transekt ved Østhavn. De to transekters placering er vist i Figur 4-16 og Figur 4-17.

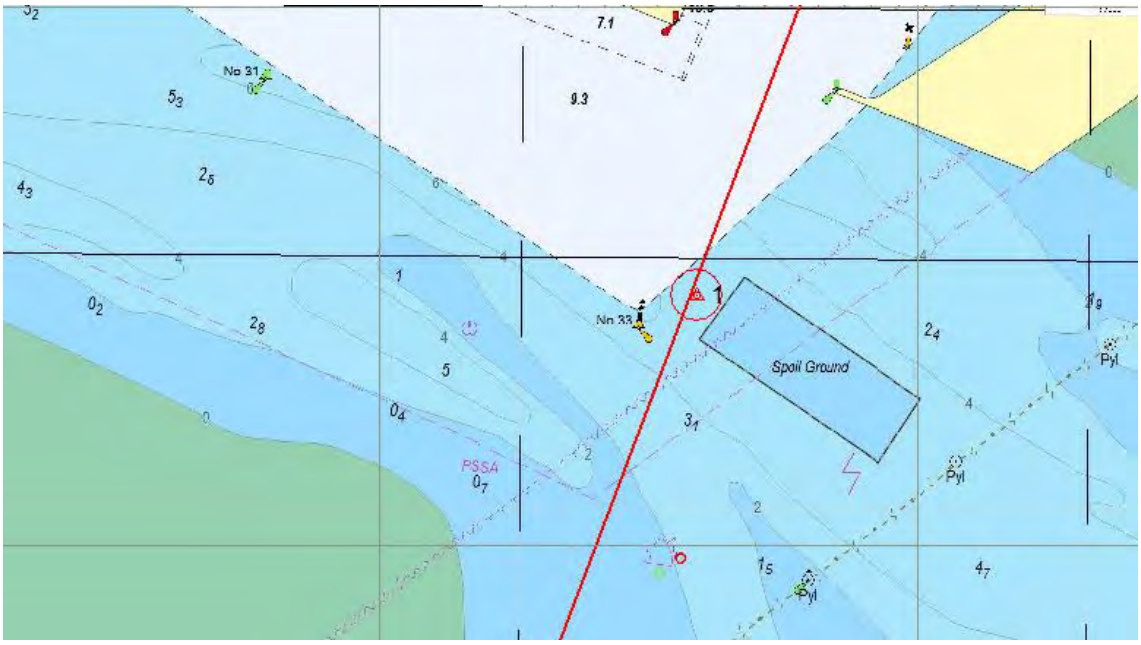
Til opmålingen anvendtes en Teledyne RDI Workhorse 1200 kHz ADCP, som var monteret ombord på Esbjerg Havns arbejdsfartøj 'Sælen'. ADCP'ens monteringsdybde var 0,7 m under vandoverfladen.

Et Hemisphere V101 GPS-kompas tilvejebragte såvel retningsinformationer som positioner.

ADCP'eren var konfigureret til at opmåle strømhastighed og retning med 1 m vertikal opløsning. Første måling ligger cirka 2,5 m under overfladen, mens sidste måling ligger cirka 1 m over bunden. Data blev indsamlet med Teledyne RDI's WinRiver software (version 3.18).



Figur 4-16 Nordlige transekt ved 6. bassin i Nordhavnen.

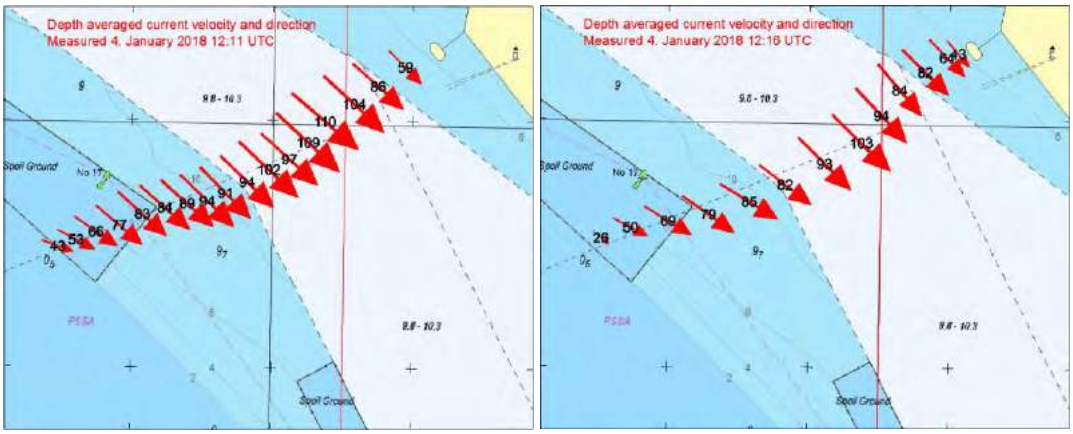


Figur 4-17 Sydlige transekt ved Østhavn.

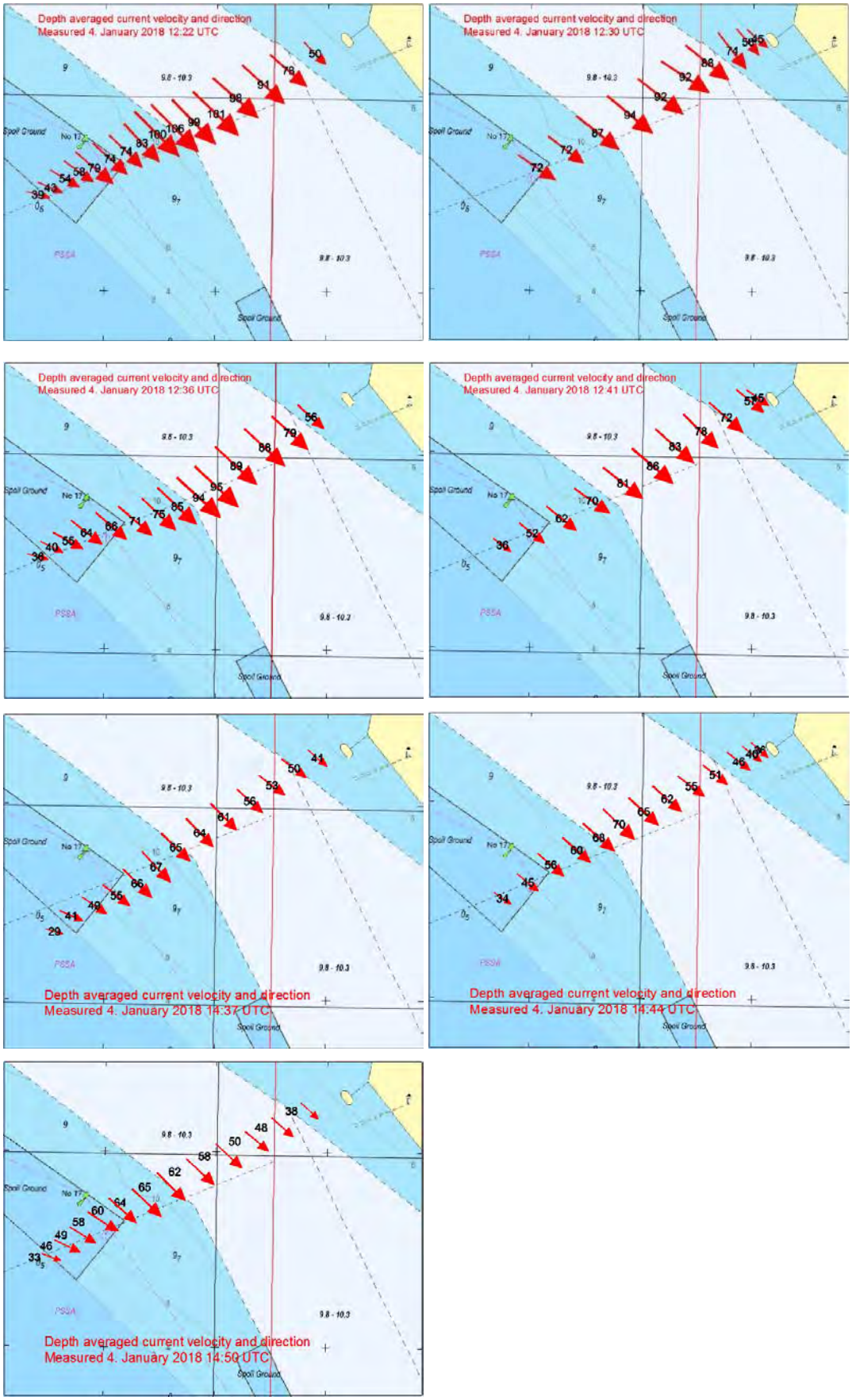
Data indsamledes over en 6 timers periode – startende cirka 1 time efter lavvande og sluttende umiddelbart efter højvande. Ved hvert af de to linjer er der opmålt cirka 10 transekter – skiftevis 3 – 4 transekter i hver linje.

Data er efterfølgende kvalitetssikrede og der er korrigeret med en retningskorrektion på 2.5 grader, som er den observerede forskel i retningsinformationer fra henholdsvis ADCP'erens 'bottom track' med skibets 'GPS track'.

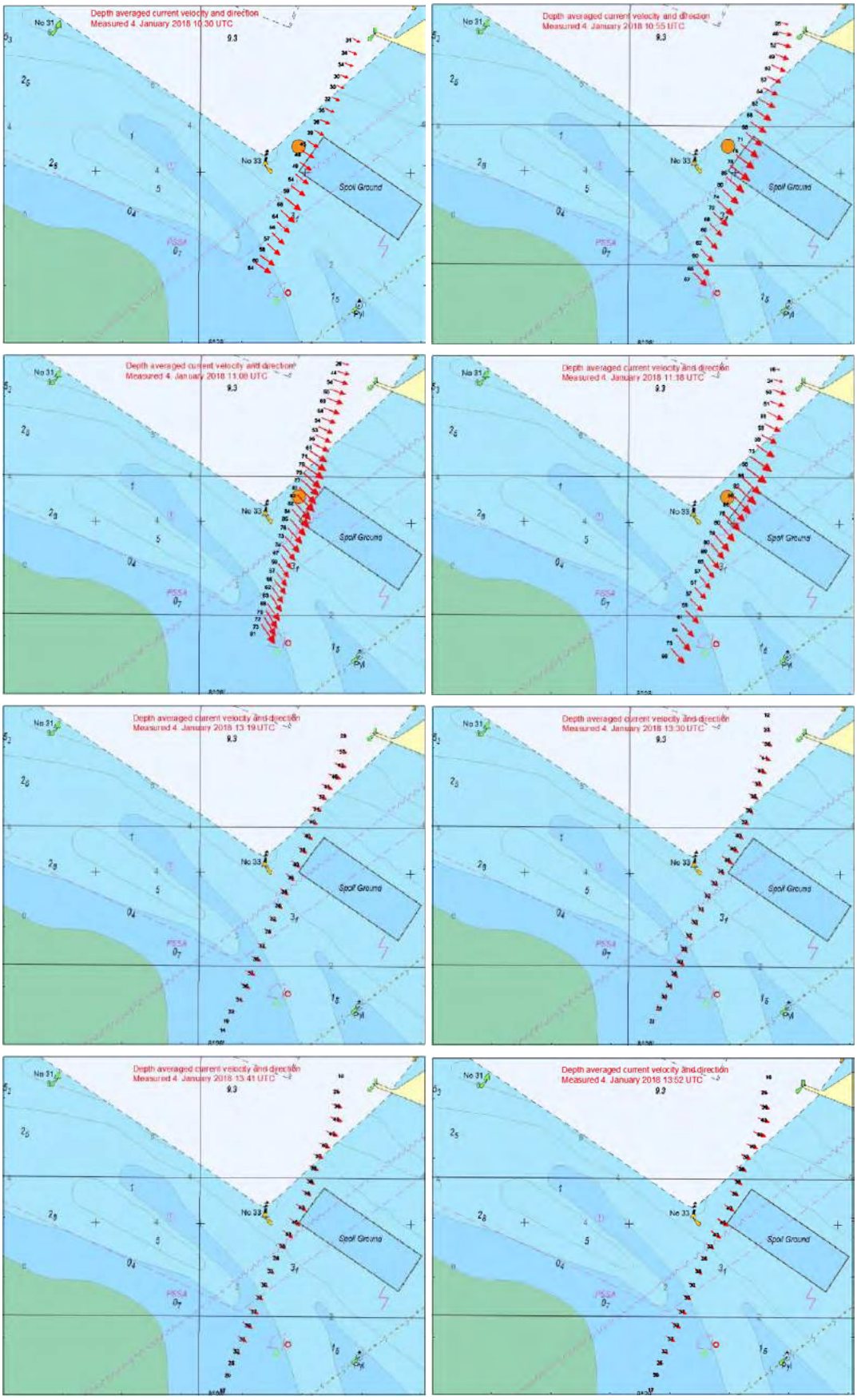
I efterprocesseringen er ADCP'erens hastigheds- og retningsdata midlet såvel horisontalt som vertikalt (dybdemidlet ved vektoriel beregning af middelværdi). Dybdemidlet data er plottet i AutoCAD som vektorer på udsnit af søkort. For hver dybdemidlet vektor er den beregnede middelhastighed angivet i cm/sek.



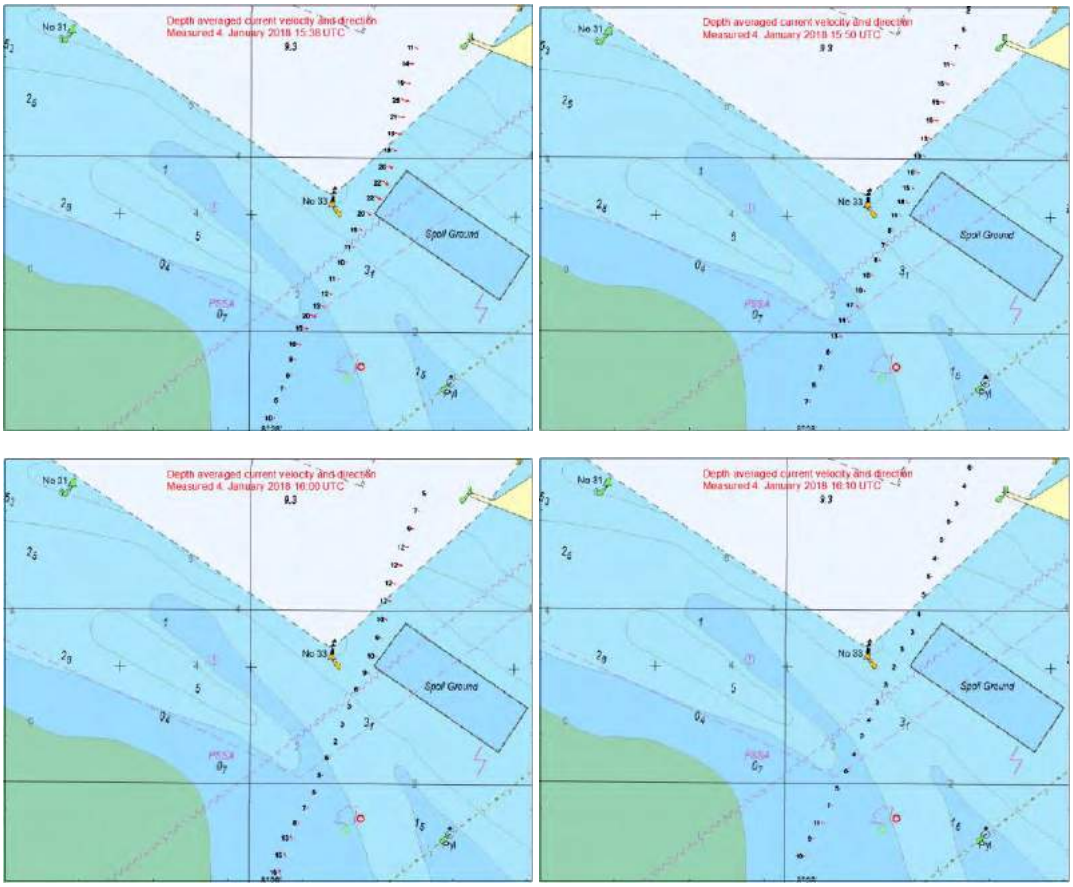
Figur 4-18 Målte transekter ud for Nordhavnen klokken 12:11 og klokken 12:16 UTC.



Figur 4-19 Målte transekter ud for Nordhavnen klokken 12:22, 12:30, 12:36, 12:41, 14:37, 14:44 og 14:50 UTC.



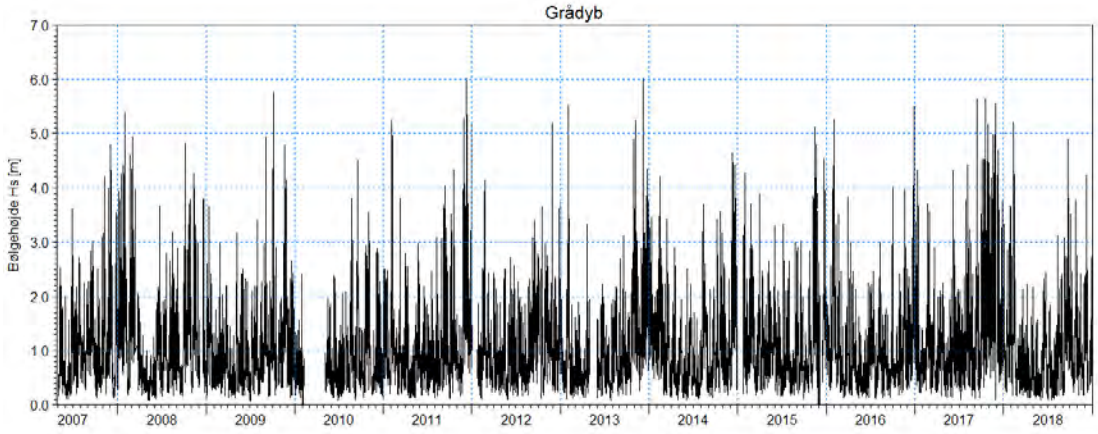
Figur 4-20 Målte transekter ud for Østhavn klokken 10:30, 10:55, 11:08, 11:18, 13:19, 13:30 og 13:52 UTC.



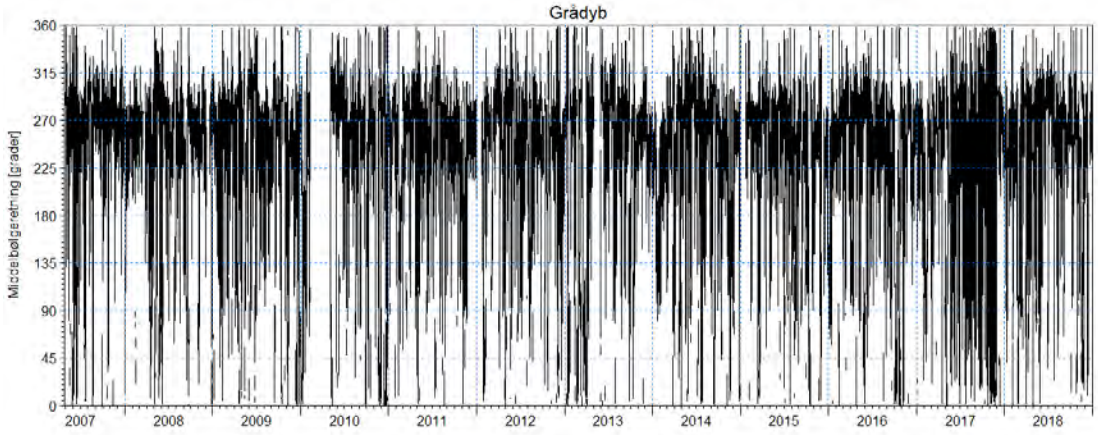
Figur 4-21 Målte transekter ud for Østhavn klokken 15:38, 15:50, 16:00 og16:10 UTC.

4.4 Bølger

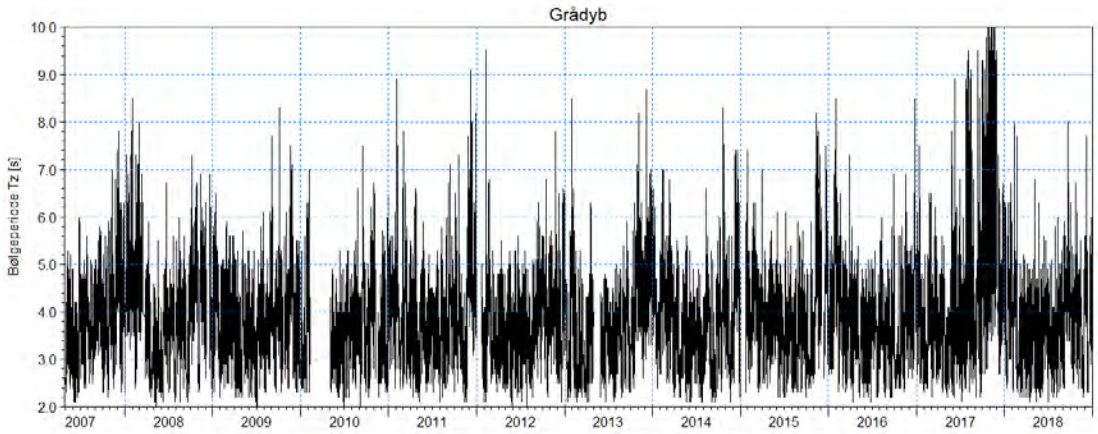
Bølger er primært af betydning på den åbne kyst vest for Skallingen og Fanø, hvor de i brændingszonen skaber en bølgedrevet strøm. Esbjerg Havn ligger beskyttet og i læ af Fanø, så i dette område er bølgernes betydning for strømforholdene meget begrænset. Den hydrodynamiske model inkluderer derfor ikke effekter fra bølger, da hovedfokus er i vadehavet og ikke på den åbne kyst. For en helhedsbetragtning er der i de følgende plot vist observerede bølgehøjder, middelbølgeretninger og bølgeperioder fra Grådyb-bøjen placeret nær og lidt syd for indsejlingen til Grådyb fra perioden 2007-2018. Der er en del støj i de målte bølger i efteråret 2017, men ikke i de modellerede perioder (vinter 2018 og sommer 2018).



Figur 4-22 Observerede bølgehøjder ved Grådybindsejlingen i perioden 2007-2018.

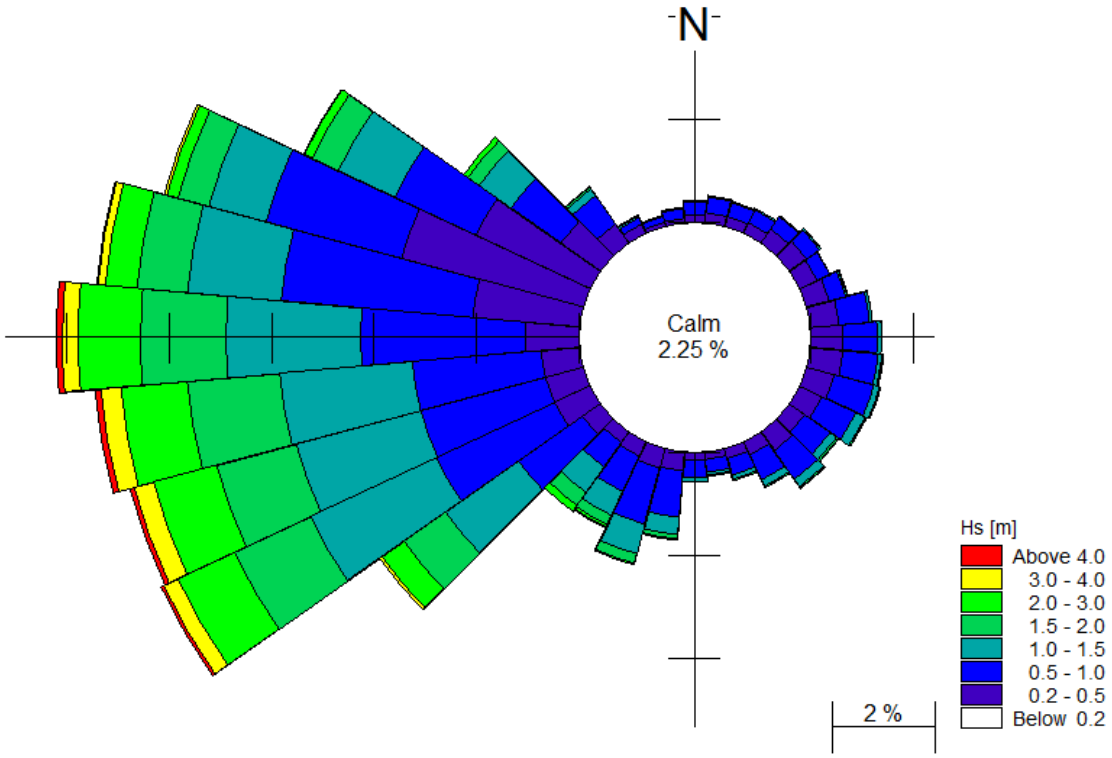


Figur 4-23 Observerede middelbølgeretninger ved Grådybindsejlingen i perioden 2007-2018.



Figur 4-24 Observerede bølgeperioder T_z ved Grådybindsejlingen i perioden 2007-2018.

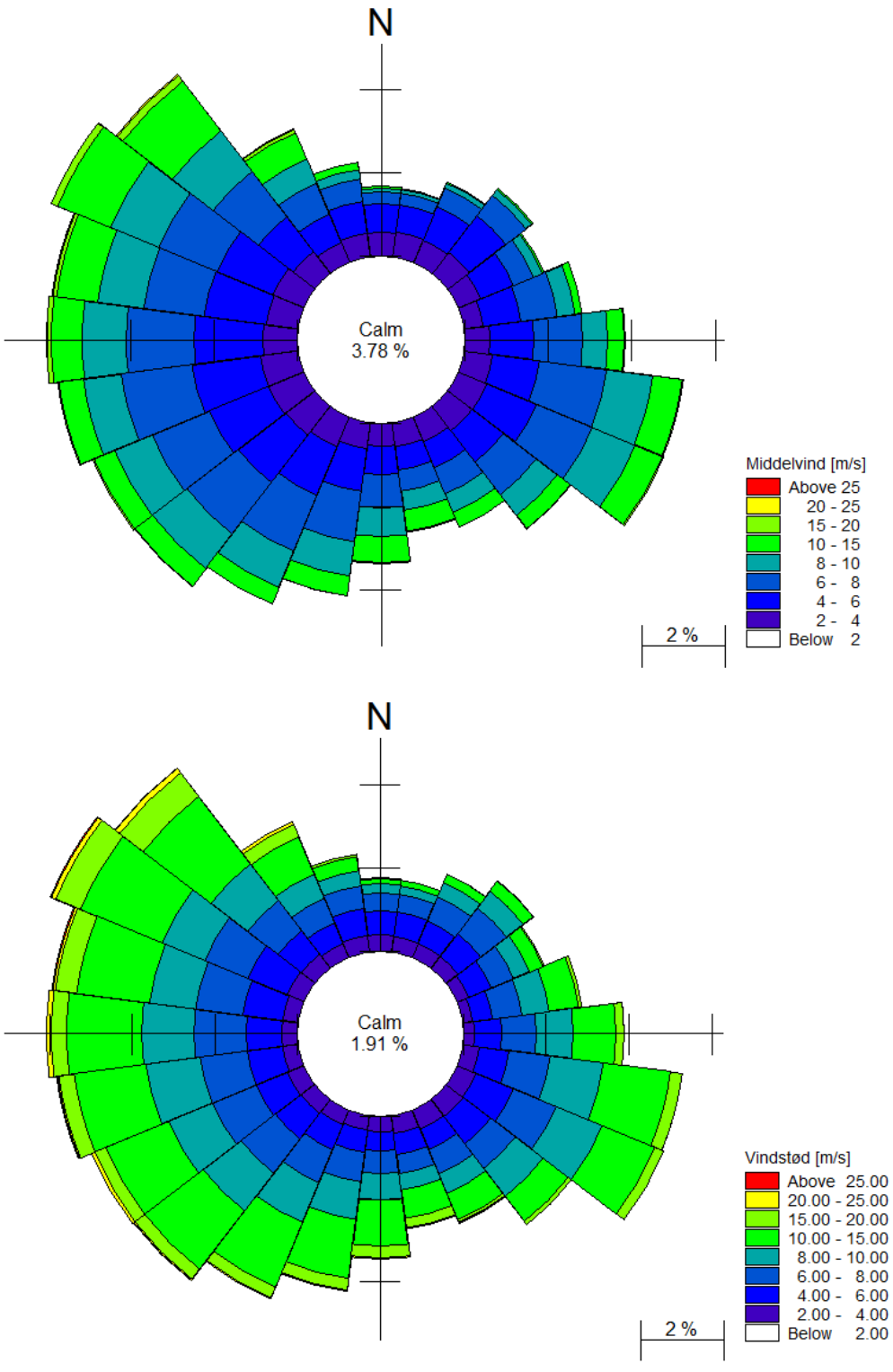
Bølgehøjder og bølgeretning ved indsejlingen til Grådyb er illustreret ved hjælp af en bølgerose i Figur 4-25, som angiver bølgehøjde og den retning som bølgen kommer fra.



Figur 4-25 Bølgerose (visende den retning bølgerne kommer fra) ved Grådybindsejlingen for perioden 2007-2018.

4.5 Vind

Der findes tidserier af målt vind fra Esbjerg Havn dækkende perioden 2007-2018 (begge år inklusiv). Disse data er plottet og vist i form af vindroser for middelvind og vindstød i Figur 4-26. Den målte vind er ikke anvendt i modelleringen, men benyttet til at verificere den anvendte modelvind. Den målte vind har en opløsning på 10 minutter. I den hydrauliske model er der anvendt CFSR modelvind og -trykfelter (U, V, P) med en opløsning på 0,204545 længdegrader og 0,204429 breddegrader. Den tidslige opløsning på modelvindens felter er 1 time.

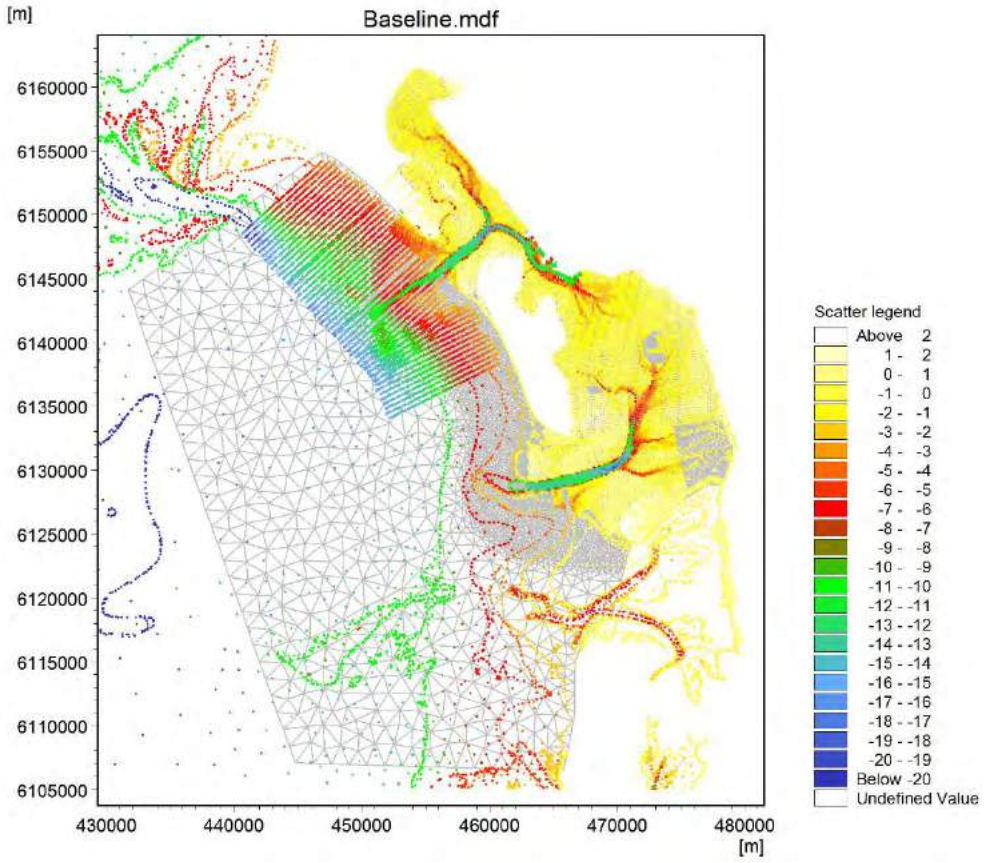


Figur 4-26 Vindroser for observeret middelvind og vindstød (visende den retning vinden kommer fra) for perioden 2007-2018.

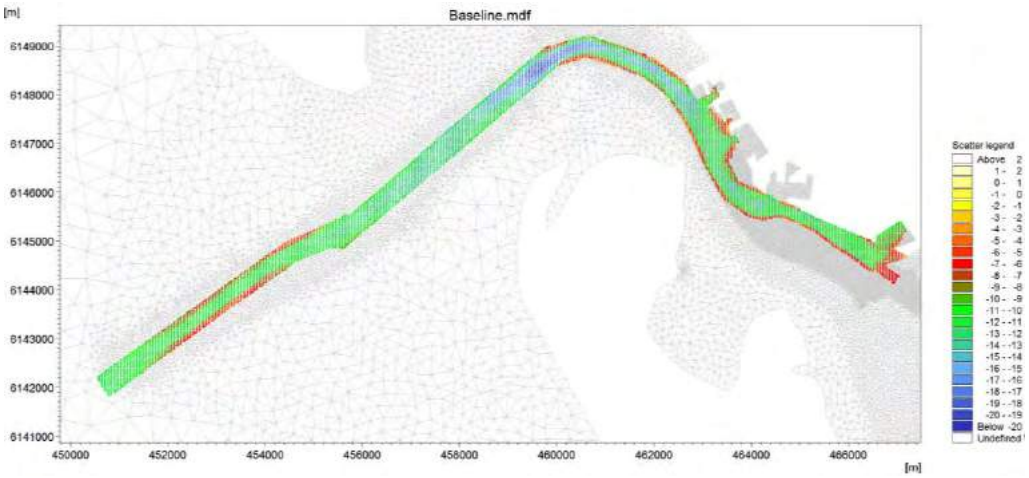
4.6 Batymetrisk grundlag

Det topografiske og batymetriske grundlag er sammensat af en lang række kilder. Sejlrenden gennem Grådyb og ind til Østhavn er beskrevet ved hjælp af en række pejlinger fra marts 2017

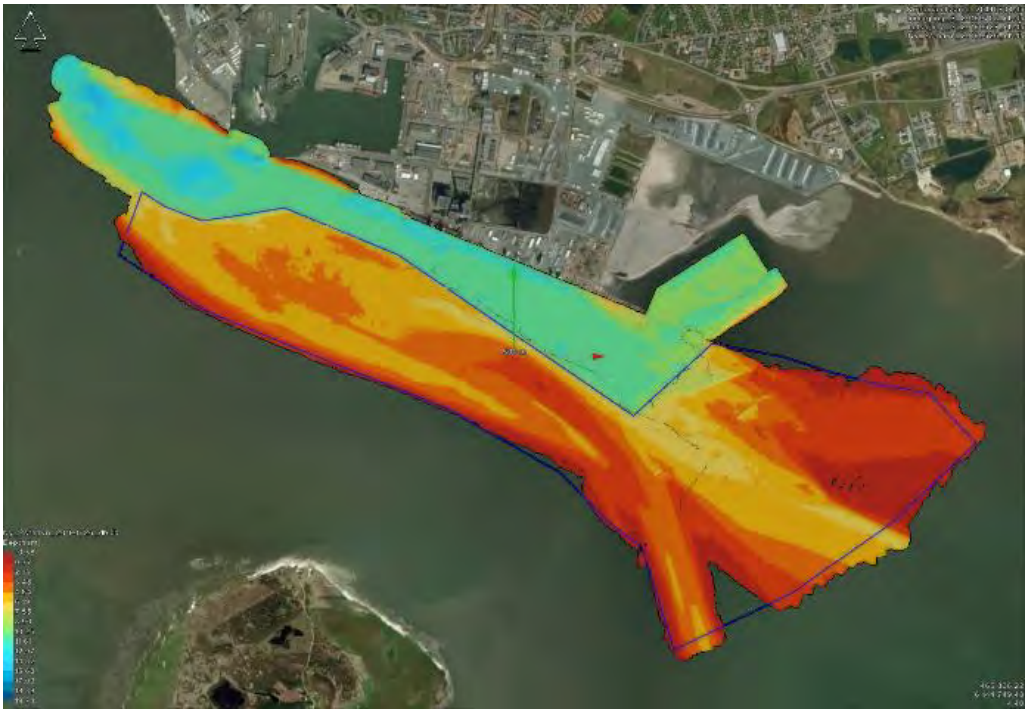
og juni-juli 2019. Pejlingerne fra 2019 dækker også Købmandsand og et område sydøst for havnen. Disse data er optegnet i Figur 4-28 og Figur 4-29. De øvrige data er af ældre dato og er sammensat af målte transekter foretaget af Kystdirektoratet, søkort (MIKE C-Map), samt ældre pejlinger modtaget fra Esbjerg Havn i områder udenfor det, som er dækket af pejlingerne fra marts 2017 og 2019. I områder, hvor pejlingerne fra 2017 og 2019 overlapper, er der taget udgangspunkt i de nyeste pejlinger. Derudover er der anvendt topografiske terrænkurver i 0,5 m opløsning hentet fra Danmarks højdemodel. Det samlede batymetriske grundlag er optegnet i Figur 4-27.



Figur 4-27 Anvendte pejlinger og batymetridata.
Niveauerne refererer til middelvandspejl.



Figur 4-28 Pejlinger fra marts 2017 dækkende Grådyb og sejlrenden langs havnen.
Niveauerne refererer til middelvandspejl.



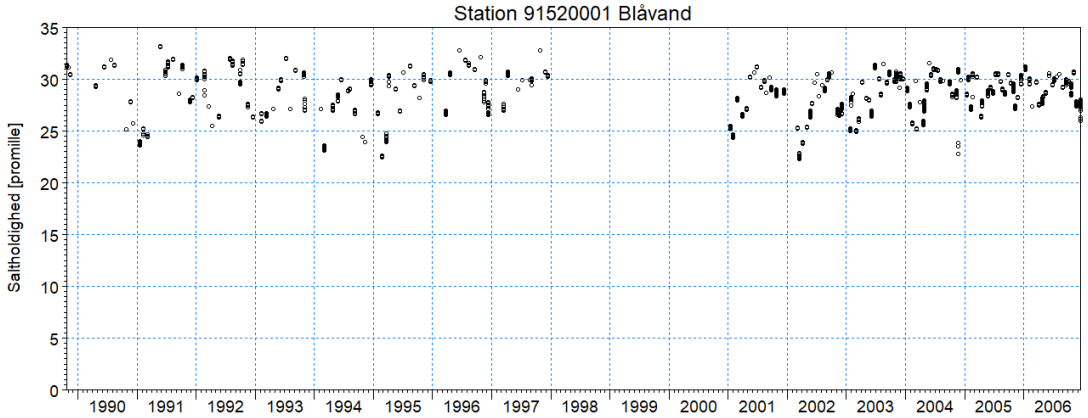
Figur 4-29 Pejlinger fra juni-juli 2019 dækkende Østlige del af sejlrenden og Købmandsand.

4.7 Saltholdighed

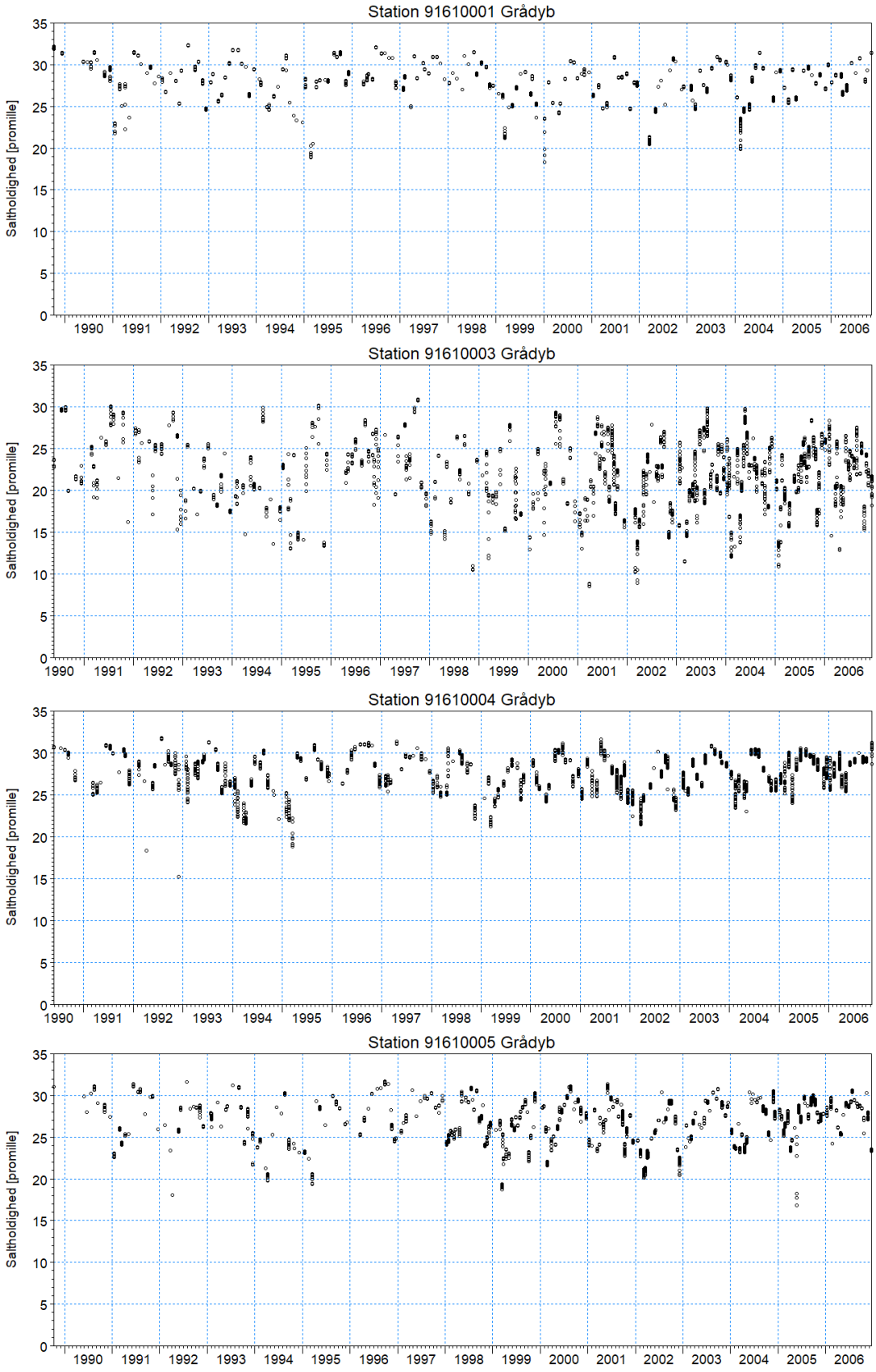
Informationer om saltholdighed og målinger af saltprofiler i Grådyb og Knudedyb tidevandsområde er hentet på Danmarks Miljøportal, ref. /1/. I Figur 4-30 er der angivet et oversigtskort, som viser lokaliteter, hvor der løbende over en årrække er foretaget spotmålinger af saltholdigheden gennem vandsøjlen. De 9 af de 12 stationer, hvorfra der er udtrukket data, er kun supporteret frem til nedlæggelsen af amterne ved årets udgang i 2006 og dækker dermed perioden 1989-2006. De tre resterende stationer (B7, G2 og K3) dækker perioden 1989-2019.

Figur 4-30 Oversigtskort af stationer, hvor der er findes spotmålinger af saltprofiler gennem vandsøjlen. B: Blåvand landgrænse, K: Knudedyb tidevandsområde og G: Grådyb tidevandsområde.

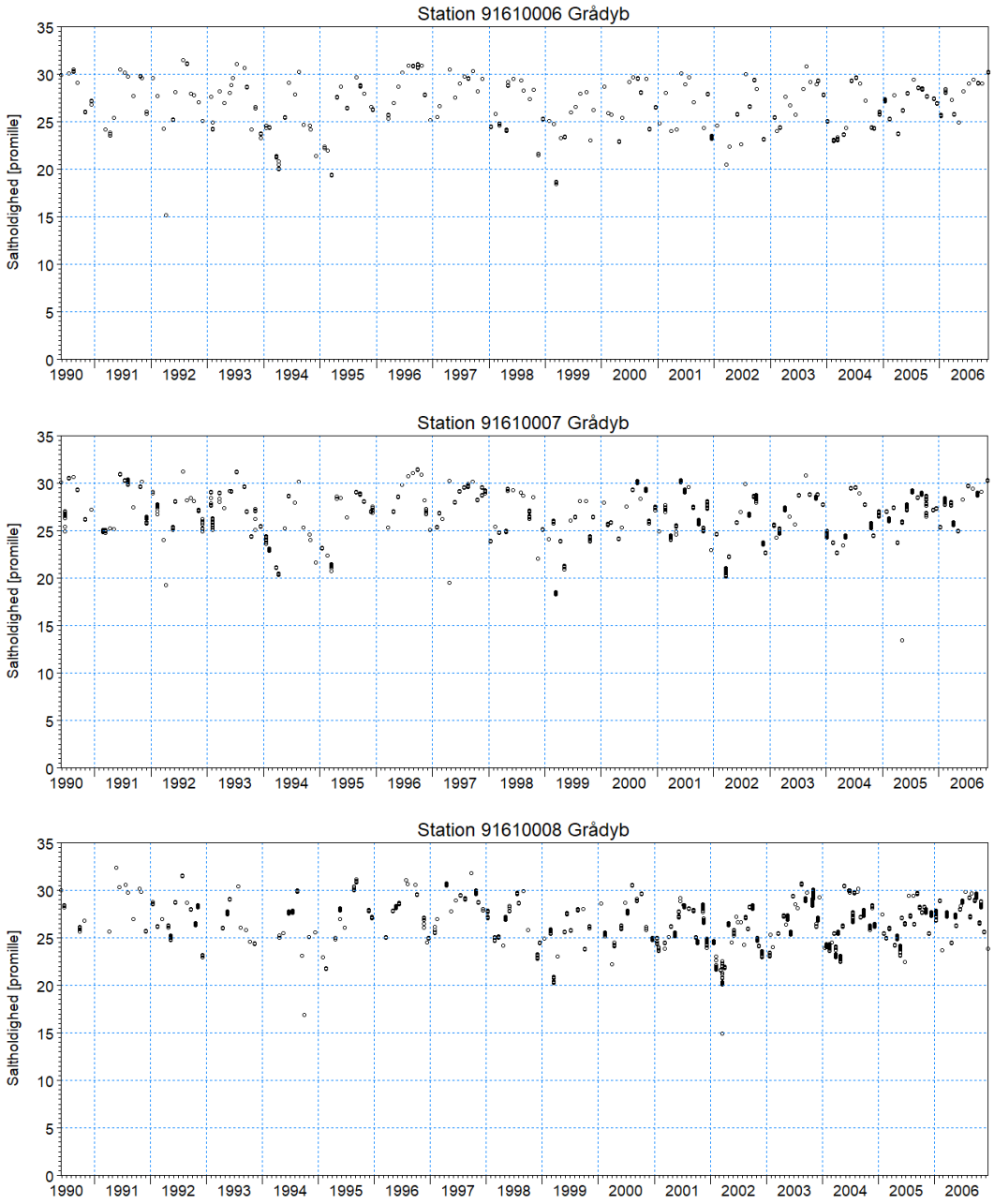
De plottede saltholdigheder viser hvordan saltholdigheden i takt med afstrømningen fra land typisk varierer henover året, samt om der er en tendens til vertikale variationer over vanddybden. Det ses, at der forekommer ret så store variationer i saltholdigheden i den indre del af Grådyb tidevandsområde, som følge af afstrømningen fra større åer: Varde Å, Sneum Å, Konge Å og Ribe Å. Det ses også, at den vertikale variation gennem vandsøjlen er begrænset, som følge af en kraftig opblanding. Da den vertikale variation sjældent overstiger mere end nogle få promille og variationerne i salt er størst i tid og sted, er det muligt at anvende en 2D-model beskrivelse for saltholdigheden.



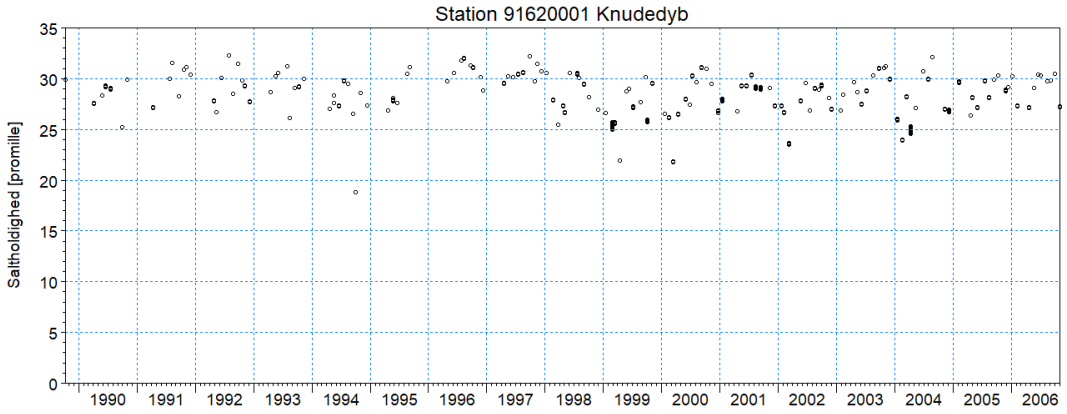
Figur 4-31 Målinger af saltholdighed ved station B1 nord for Fanø i perioden 1989-2006.



Figur 4-32 Målinger af saltholdighed ved station G1, G3, G4 og G5 i perioden 1989-2006.

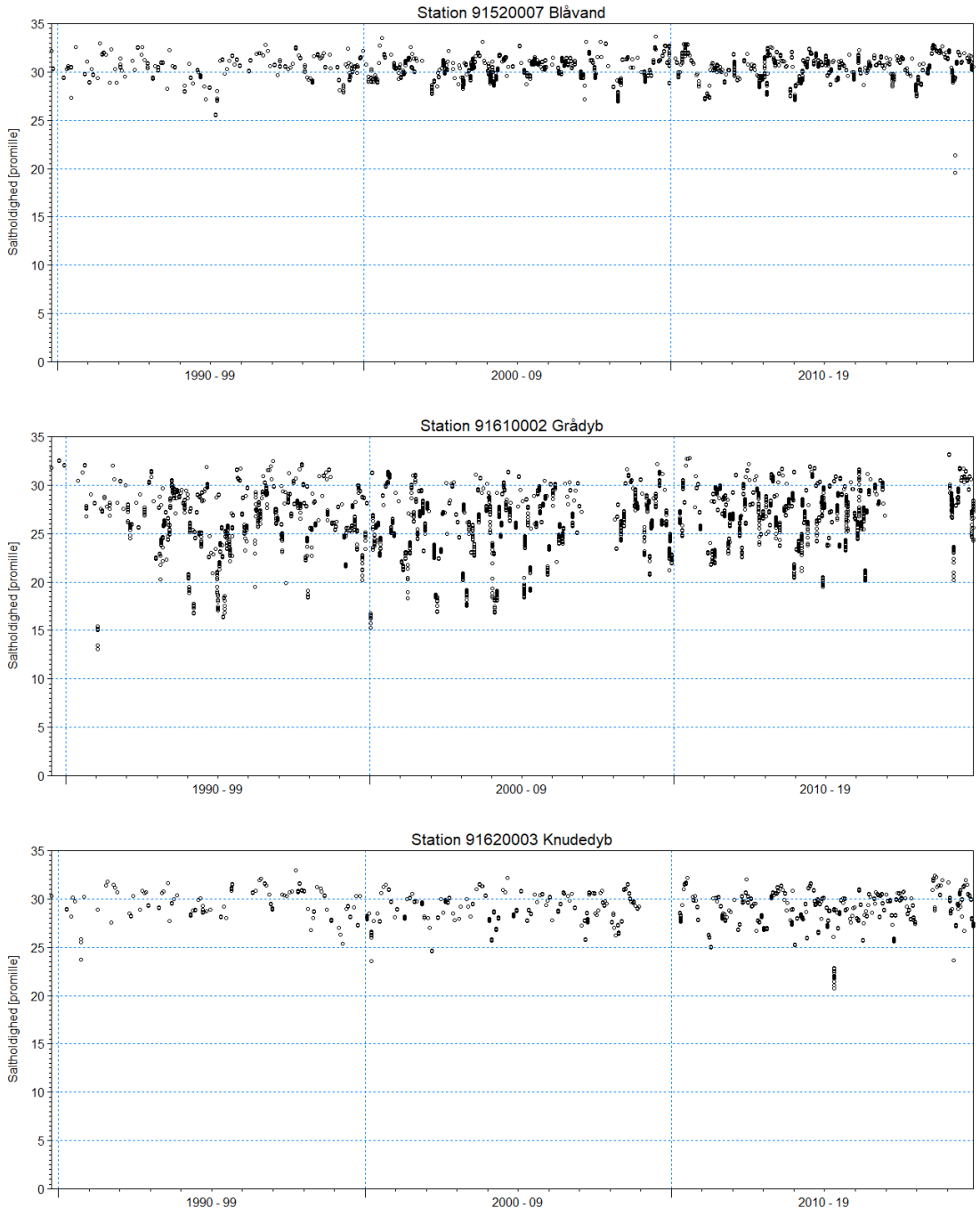


Figur 4-33 Målinger af saltholdighed ved G6, G7 og G8 i perioden 1990-2006.



Figur 4-34 Målinger af saltholdighed ved K1 i Knudedyb tidevandsområde i perioden 1989-2006.

Det er primært målingerne i station G4 beliggende i et havnebassin, som er præget af en vertikal variation i saltholdigheden. I de øvrige stationer er den vertikale variation beskeden. Variationerne er i større grad tidsrelaterede (horisontalt) og knyttet til tidevandsvariationen. Stationerne B7, G2 og K3 vist i Figur 4-35 har målinger helt frem til i dag og kan derfor bruges som et supplement til verifikation af modellens beskrivelse af saltholdighed.



Figur 4-35 Målinger af saltholdighed ved B7, G2 og K3 i perioden 1989-2019.

I Tabel 4-1 er middel, minimum og maksimumværdien og variationsbåndet (Delta) angivet for hver af de 12 stationers spotmålinger. Opstillingen af måleværdierne på denne kondenserede form gør det lettere at sammenligne med modellens resultater selvom der modelleres på en modelperiode, som ligger uden for observationsperioden.

Tabel 4-1 Måleobservationer på kondenseret form.

Station	Middel [‰]	Minimum [‰]	Maksimum [‰]	Delta [‰]
B1	28.91	22,29	33,23	10,94
B7	30,61	19,60	33,70	14,10
G1	28,33	18,32	32,34	14,02
G2	27,66	13,07	33,23	20,16
G3	21,95	8,49	30,89	22,40
G4	27,69	15,27	31,77	16,50
G5	27,16	16,81	31,69	14,88
G6	26,81	15,20	31,48	16,28
G7	26,94	13,47	31,47	18,00
G8	26,85	14,94	32,38	17,44
K1	28,65	18,80	32,28	13,48
K3	29,32	20,75	33,00	12,25

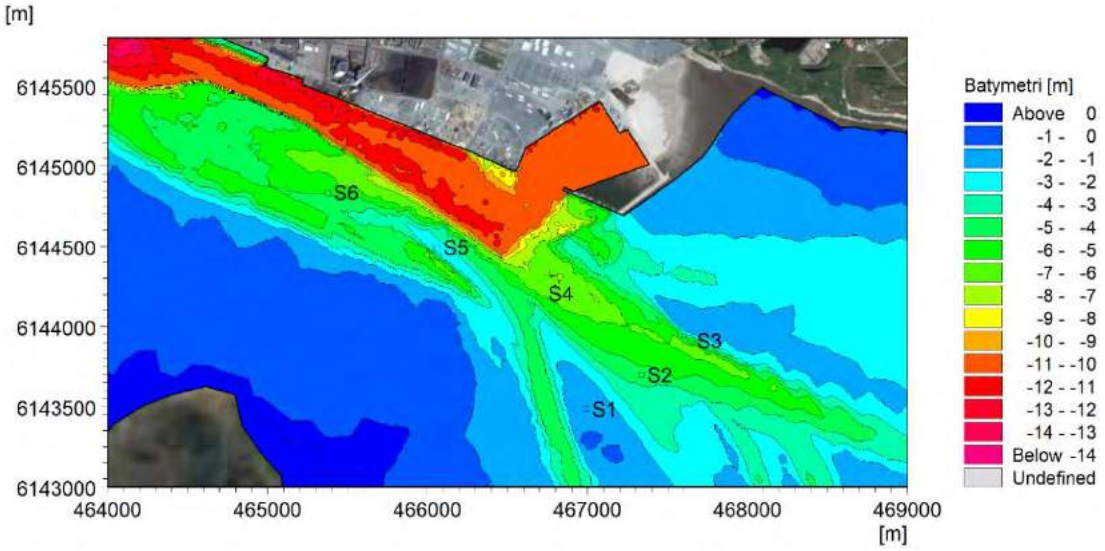
4.8 Kornkurver

De sedimentologiske forhold varierer i Grådyb tidevandsområde. I områder med permanent vanddække er bundsedimentet hovedsalig bestående af sand eller et hårdt lerlag, som er meget modstandsdygtig mod erosion. Typen af sand varierer typisk med eksponeringen (tidevand-strømmens størrelse). I områder med kraftig eksponering og dække af sand er bundsedimentet typisk groft sand (0,5-1 mm), mens den i områder med mindre eksponering typisk består af medium sand (0,25-0,5 mm) eller finsand (0,125-0,25 mm). På de tidevandsdækkede områder er variationen væsentlig større, her findes ud over områder med sand også vader, som er delvist dækket af finkornet materiale.

I forbindelse med dette studie er der af to omgange indhentet oplysninger om bundsedimentets sammensætning i nærområdet af den planlagte udbygning. De første seks prøvetagninger blev taget i den permanent vanddækkede del syd og øst for sejlrenden. Prøvetagningspositionerne og områdets batymetri er vist i Figur 4-36, medens Tabel 4-2 angiver forekomsten af en række kornstørrelser i bundsedimentet, samt vanddybden på prøvetagningstidspunktet. Der er ikke taget prøver i den inderste del af sejlrenden, som blev uddybet fra 4-5 meters dybde til de nuværende 11 meter i forbindelse med udbygningen af Østhavnen. I denne del viser geotekniske boringer at bunden typisk udgøres af hård bund i form af stift ler, som er meget modstandsdygtigt over for erosion. Fra ref. /5/ ved vi, at mediankornstørrelsen i sejlrenden foran Esbjerg Havn, typisk varierer mellem 0,2-0,6 mm i et meget tyndt sandlag med underliggende hårdt ler.

Af tabellen ses det, at mediankorndiameteren d_{50} varierer mellem 0,13-0,2 mm svarende til fint sand. Det ses, at graderingen af bundsedimentet (dvs. variationen i kornstørrelse d_{90}/d_{10}) hænger fint sammen med batymetrien og strømforholdene. Ved S5 krummer strømning i overgangen mellem sejlrende og løb således, at man får en helisk strømningseffekt som løfter det finkornede sediment ind mod prøvetagningspunktet S5 (helt analogt med indersiden af et flodsving). På dette sted er graderingen af sedimentet derfor lille og lidt finere end i de øvrige

prøvetagningspositioner. I S4 er graderingen stor, hvilket kan forklares med at prøvetagningspunktet ligger tæt på overgangen til sejlrenden og dermed er udsat for høje strømhastigheder. I S1 og S2 er der også stor gradering, men i mindre grad end ved S4, da prøvetagningspunkterne ligger lidt længere væk fra overgangen mellem sejlrende og løb og tidevandsstrømmen derfor er mere udjævnet. Kornsammensætningen i S3 og S6 er stort set identisk og uden indhold af groft sand og derfor kun graderet i mindre grad. Det ses af Tabel 4-2, at indholdet af silt/ler er højere i de prøver som indeholder groft sand. Årsagen til dette er, at finkornet sediment lettere kan gemme sig i læ af det grovere sediment og derfor er sværere at mobilisere. Det grove sediment er derimod mere eksponeret på grund af den ikke-ensformige sammensætning af bundsedimentet. Når der ikke er indhold af groft sand, er det vanskeligere for det finkornede sediment at opnå læ, det vil derfor relativt lettere kunne eroderes fra bunden, hvilket er afspejlet i andelen af silt/ler fraktionen i station S3, S5 og S6.



Figur 4-36 Prøvetagningspositioner til bestemmelse af kornstørrelser i den permanent vanddækkede del syd og øst for sejlrenden.

Tabel 4-2 Bundsedimentets sammensætning og vanddybde ved prøvetagning.

Station	d_{10} [mm]	d_{50} [mm]	d_{60} [mm]	d_{90} [mm]	Vanddybde [m]	Silt/ler indhold [%]
S1	< 0,06	0,13	0,15	0,51	1,0	14,8
S2	< 0,06	0,14	0,18	0,55	4,1	12,2
S3	0,09	0,18	0,20	0,35	5,1	3,5
S4	< 0,06	0,20	0,28	0,99	6,1	16,9
S5	0,08	0,12	0,13	0,19	2,4	3,7
S6	0,08	0,17	0,21	0,35	4,5	4,2

På vaden ud for Halen og umiddelbart overfor Østhavn er der taget en række prøver af overfladesedimentet og det underliggende lag. Prøvetagningspositionerne er angivet på billedet vist i Figur 4-37 og med koordinater angivet i Tabel 4-2. Af luftfotografiet ses, at der er megariller langs den ydre del af vaden og et større område med muslingebanker på selve vaden. I de 10 angivne prøvetagningspositioner er der lavet sigteanalyser af overfladesedimentets

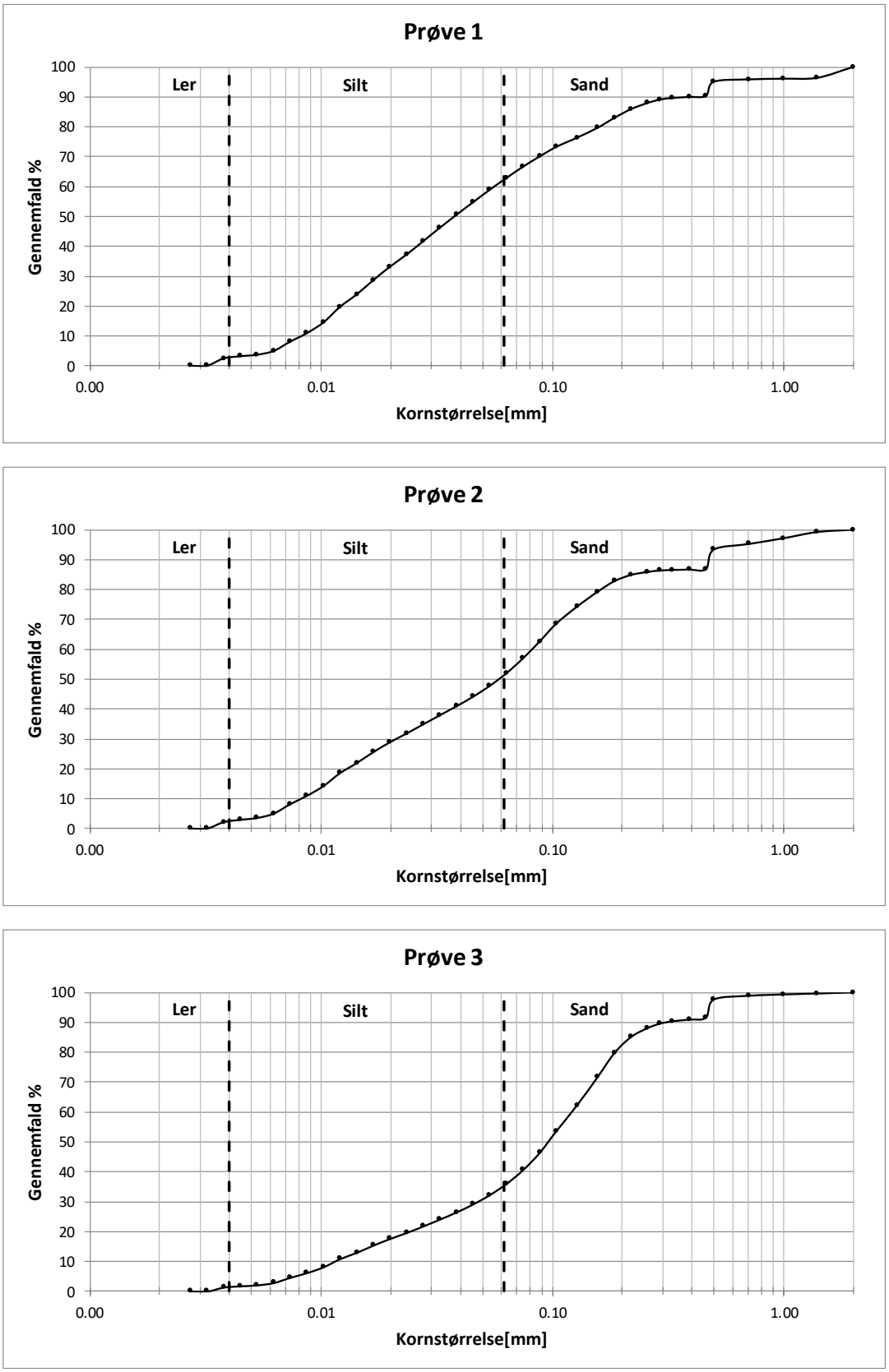
sammensætning, mens der for 6 af positionerne blev lavet sigteanalyser af det underliggende lags sammensætning 20-30 cm under overfladen.

Figur 4-37 Prøvetagningspositioner på vaden ud for Halen.

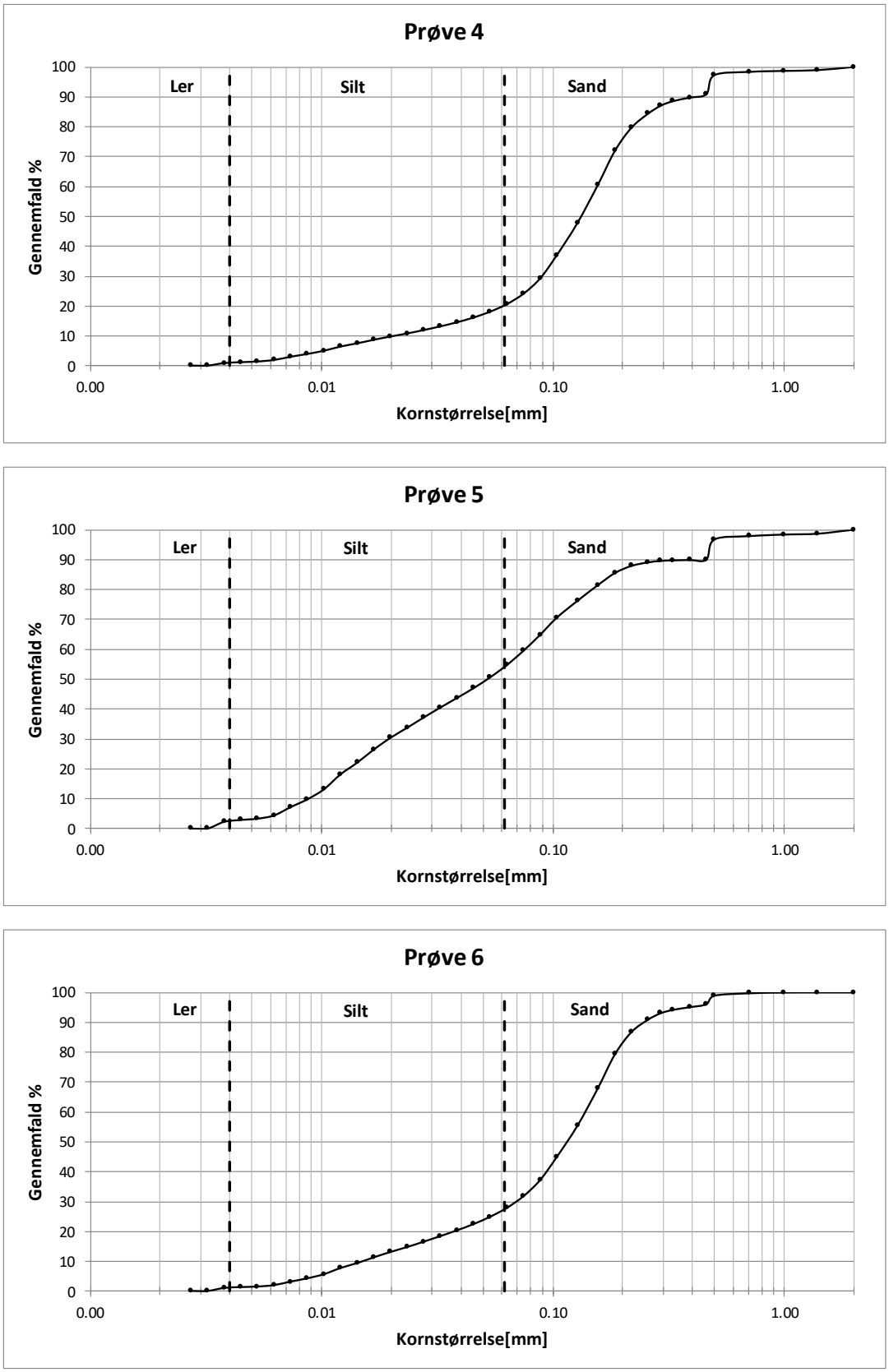
Tabel 4-3 Prøvetagningspositioner.

Prøvenummer	Længdegrad	Breddegrad
1	8,442424	55,439501
2	8,442518	55,442658
3	8,443207	55,444495
4	8,442786	55,447176
5	8,446366	55,446606
6	8,452243	55,445678
7	8,460799	55,443221
8	8,466714	55,440416
9	8,4547	55,439316
10	8,44795	55,441296

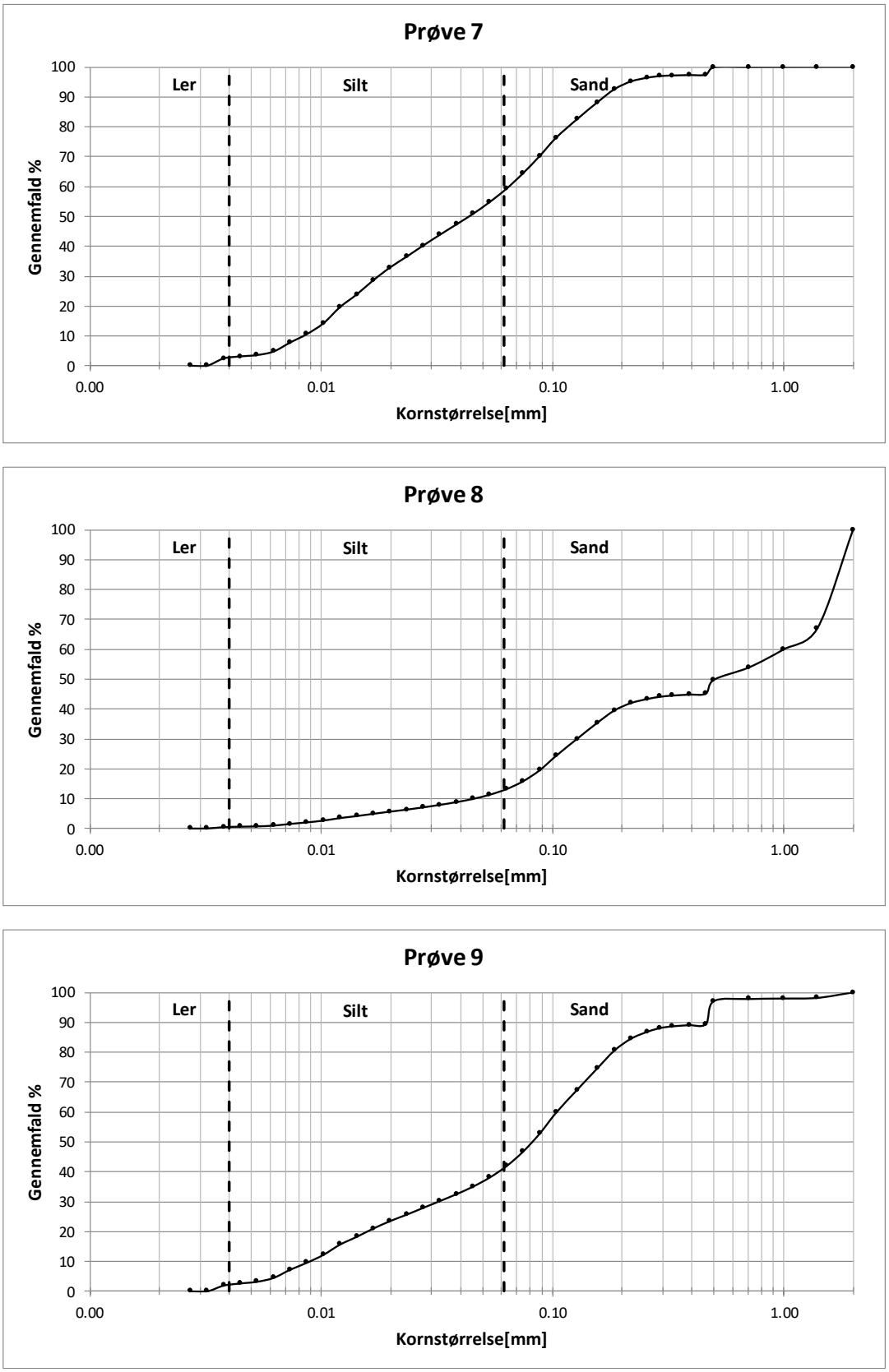
Kornkurver for de analyserede prøver er vist i de følgende figurer. Det ses, at indholdet af ler er meget beskedent. Prøverne er domineret af silt og sandfraktioner. Tilstedeværelse af lerpartikler er en forudsætning for at silt kan flokkulere. Det lave indhold af lerpartikler indikerer derfor at flokkulering kun finder sted i beskedent omfang i dette område.



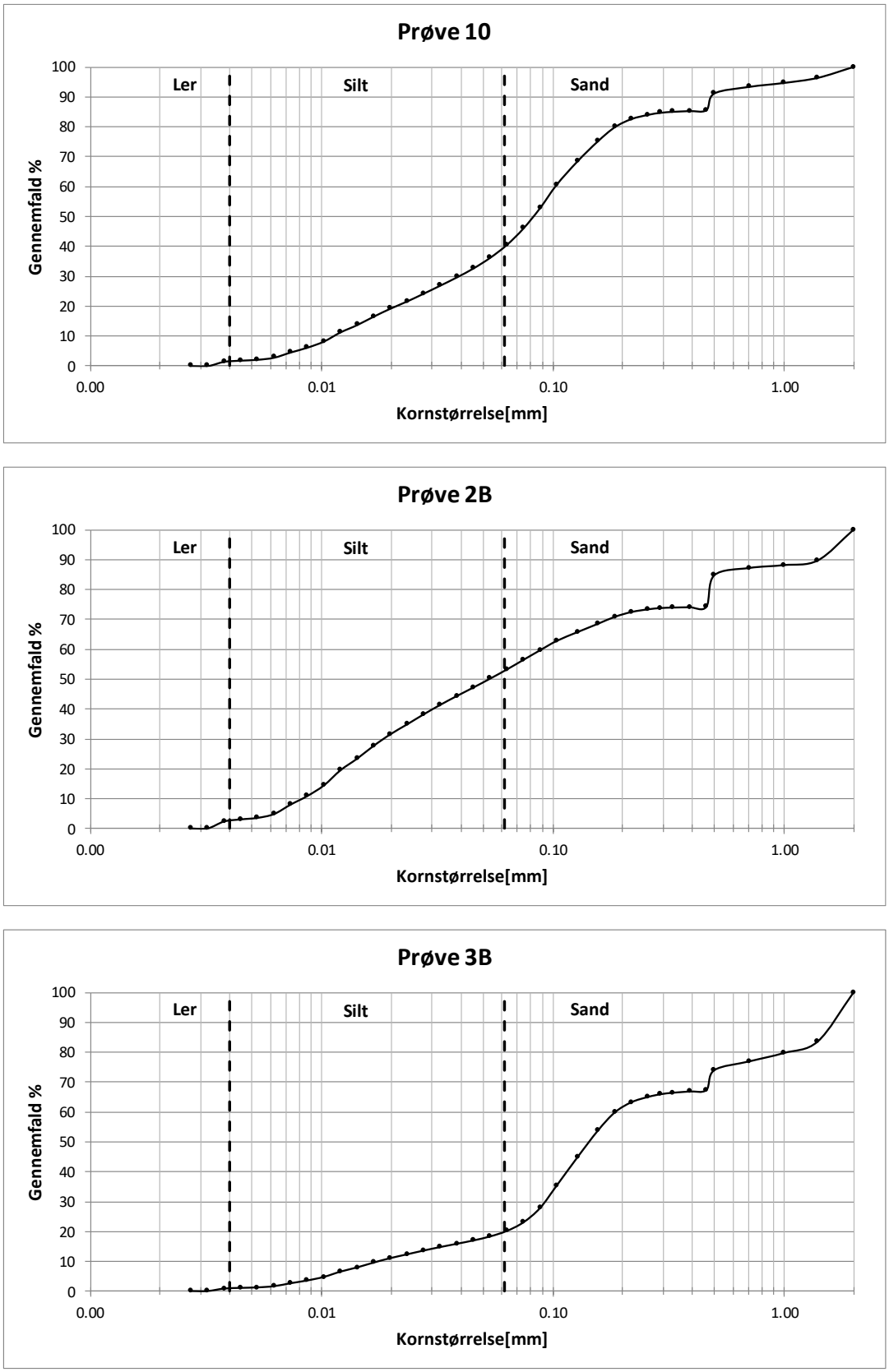
Figur 4-38 Kornkurver for prøve 1-3.



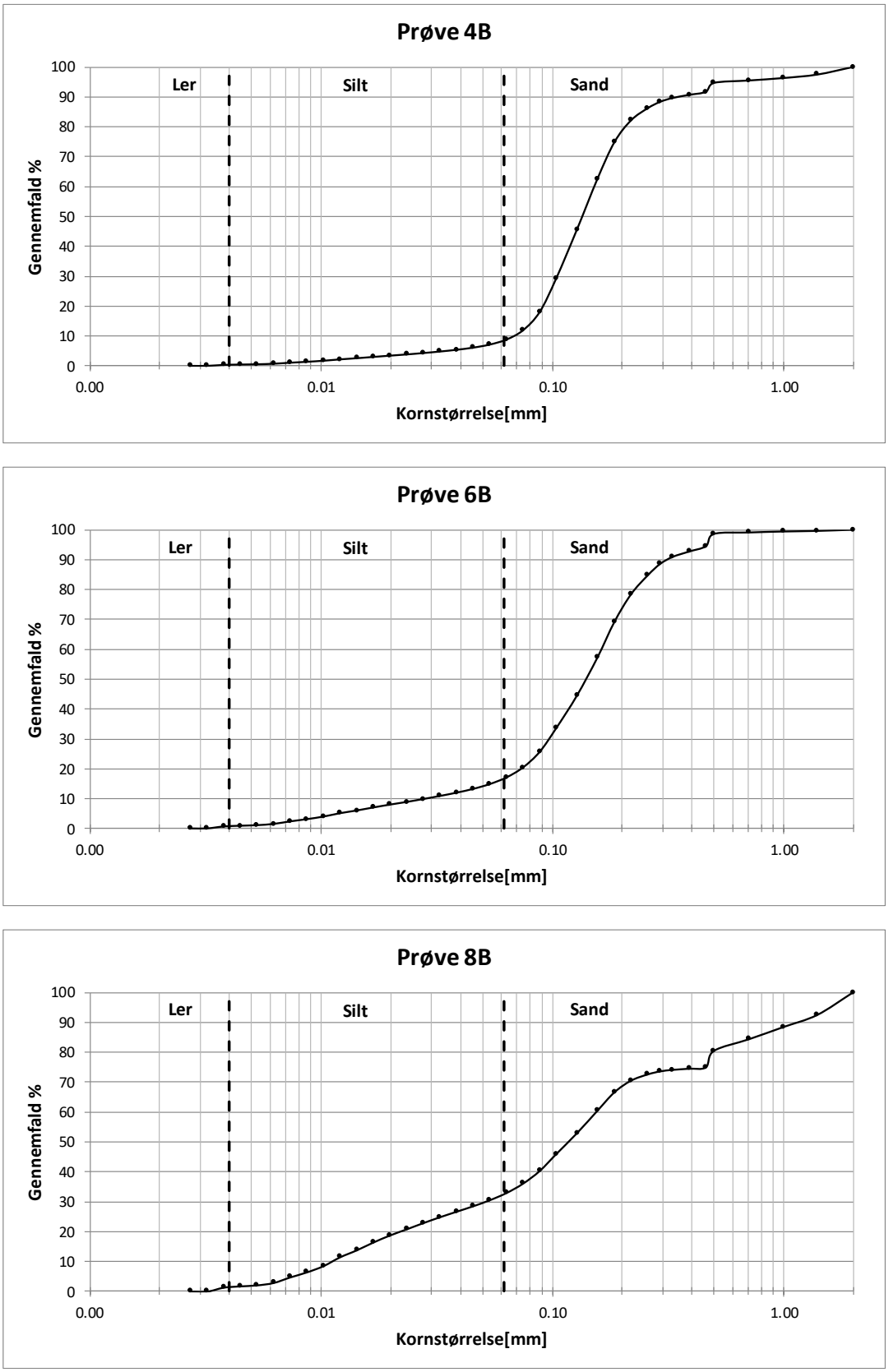
Figur 4-39 Kornkurver for prøve 4-6.



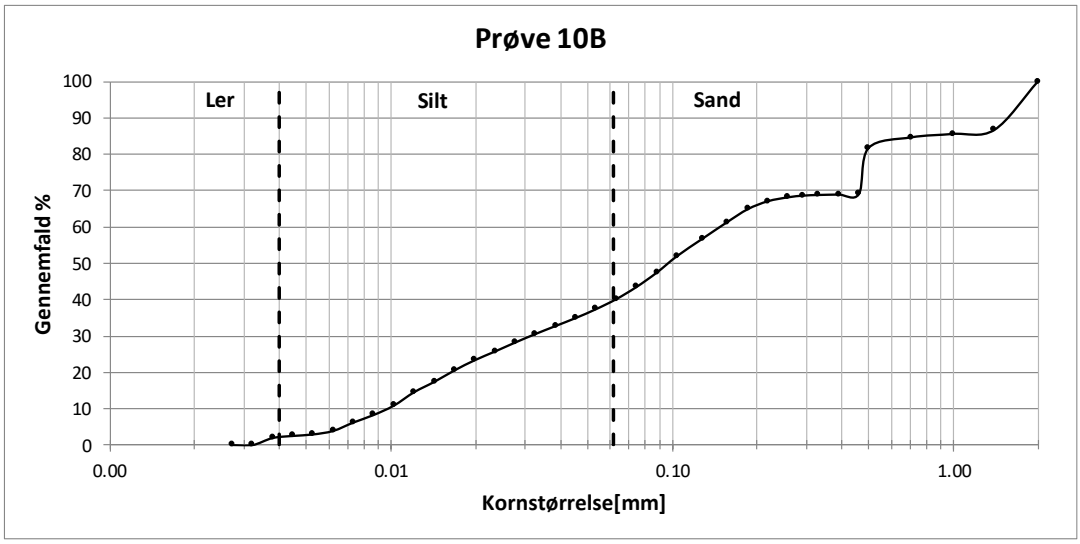
Figur 4-40 Kornkurver for prøve 7-9.



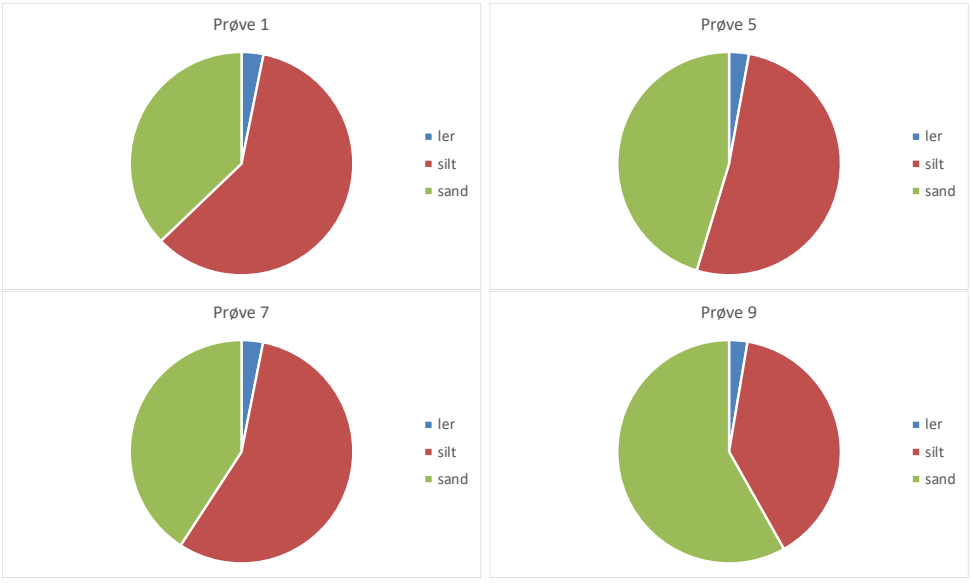
Figur 4-41 Kornkurver for prøve 10, 2B og 3B.



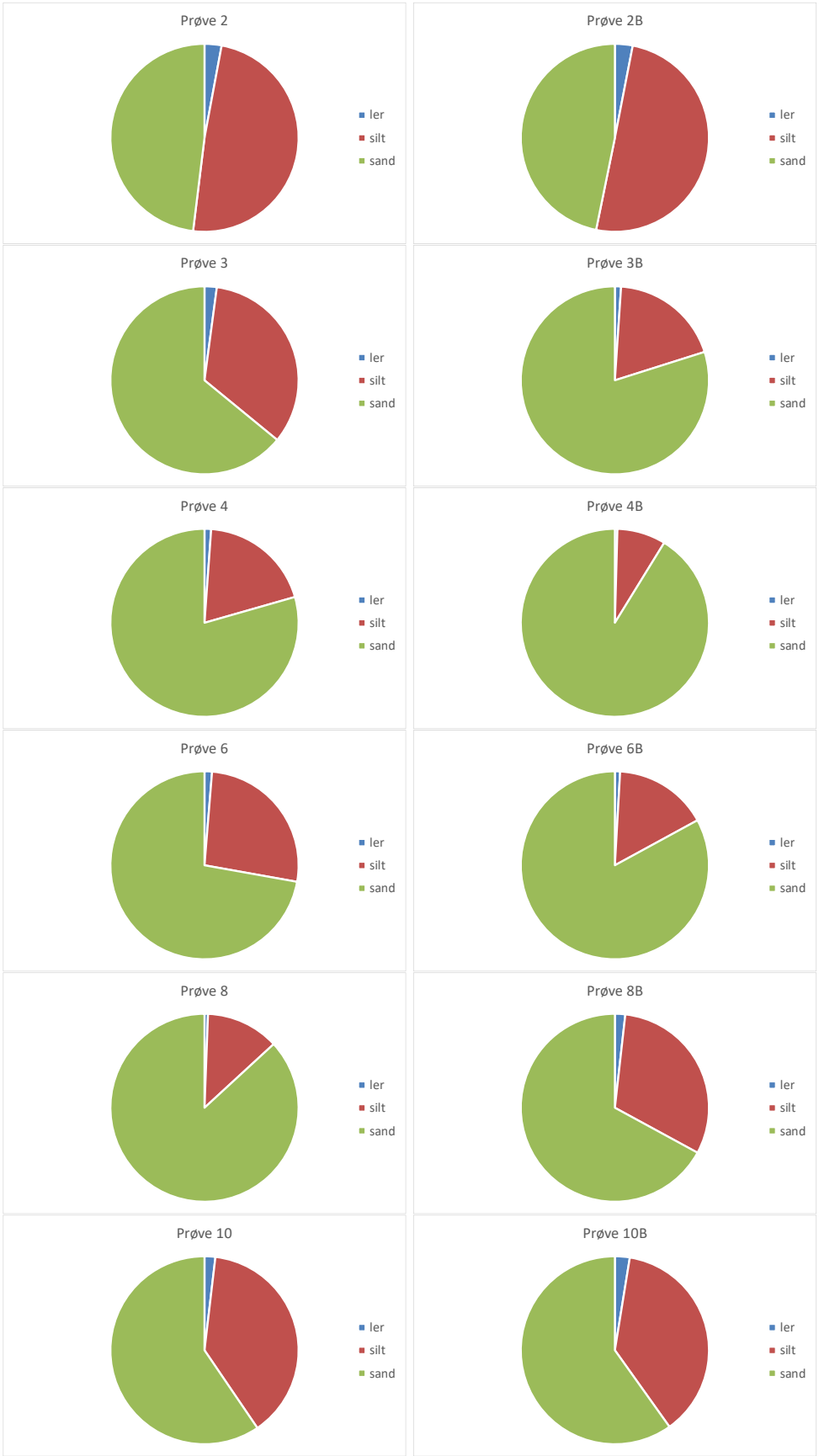
Figur 4-42 Kornkurver for prøve 4B, 6B og 8B.



Figur 4-43 Kornkurve for prøve 10B.



Figur 4-44 Overfladesedimentets sammensætning Prøve 1, 5, 7 og 9.



Figur 4-45 Sedimentsammensætning af overfladesediment (venstre side) og underliggende lag (højre side).

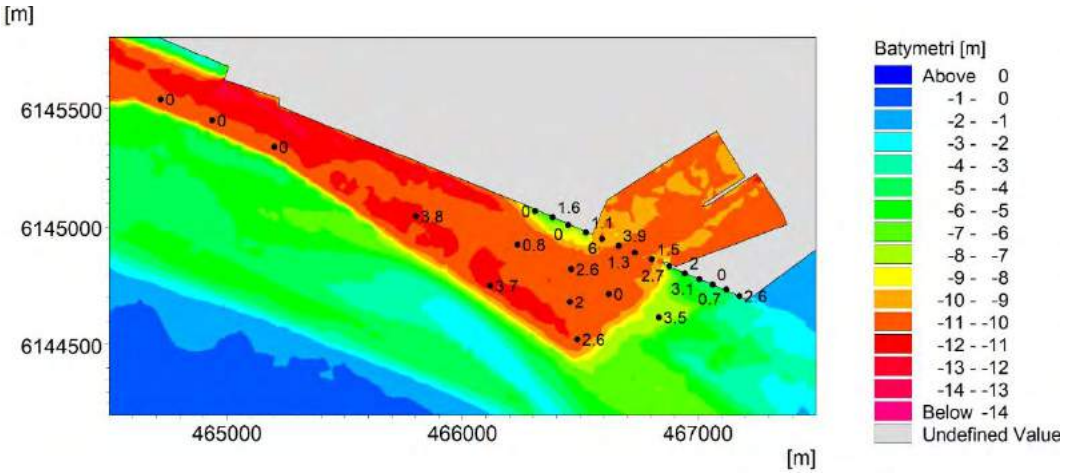
Områderne på vaden kan karakteriseres ved indholdet af finkornet materiale. Når indholdet af silt/ler udgør 65-100% er det en muddervade, udgør indholdet 30-65% er det en blandet vade, og endelig er det en sandvade, når indholdet er mindre end 30%. Tabel 4-4 angiver tabellerede værdier for bundsedimentets sammensætning på vaden ud for Halen.

Tabel 4-4 Bundsedimentets sammensætning – overflade og underliggende lag.

Prøve	d_{10} [mm]	d_{50} [mm]	d_{90} [mm]	Silt/ler indhold [%]	Område	Type
1	0,008	0,038	0,45	62,8	Indre vade	Blandet vade
2	0,008	0,059	0,48	51,9	Midt på vade	Blandet vade
2b	0.008	0,053	1,4	53,2	Midt på vade	Blandet vade
3	0.012	0,096	0,31	35,9	Midt på vade	Blandet vade
3b	0.018	0.145	1,7	20,1	Midt på vade	Sandvade
4	0,021	0,133	0,43	20,6	Ydre vade	Sandvade
4b	0,068	0,136	0,36	8,8	Ydre vade	Sandvade
5	0,009	0,052	0,46	54,7	Ydre vade	Blandet vade
6	0,015	0,115	0,24	27,8	Ydre vade	Sandvade
6b	0,029	0,141	0,32	17,1	Ydre vade	Sandvade
7	0,008	0,044	0,17	59,2	Ydre vade	Blandet vade
8	0,046	0,513	1,8	13,2	Ydre vade	Sandvade
8b	0,011	0,118	1,2	32,9	Ydre vade	Blandet vade
9	0,009	0,082	0,46	41,8	Midt på vade	Blandet vade
10	0,011	0,083	0,49	40,5	Midt på vade	Blandet vade
10b	0,009	0,097	1,6	40,2	Midt på vade	Blandet vade

4.9 Sandlagstykkelse

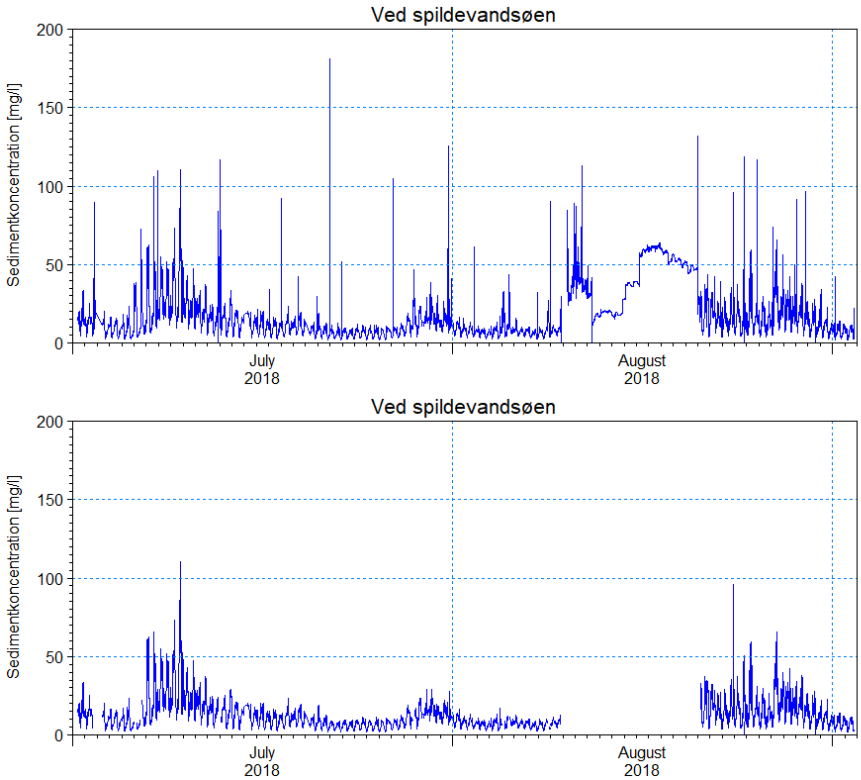
Data udarbejdet af NIRAS for sandlagstykkelsen i området ved Østhavn er vist på baseline batymetrien i Figur 4-46. Tykkelserne er bestemt på baggrund af boreprofiler som tykkelsen ned til første lerlag. Lagtykkelsen varierer mellem 0 og 3,8 m i den på daværende tidspunkt forlængelse af sejlrenden, mens største lagtykkelse på 6 m er observeret ved indløbet til Østhavn før uddybning til bassin. Data er fra 2011 og repræsenterer derfor ikke baselinesituationen for dette studie. Uddybningen og forlængelsen af sejlrenden ned til Østhavn har medført at alle sandlag er fjernet og den underliggende bund i dag består af erosionsbestandigt stift ler.



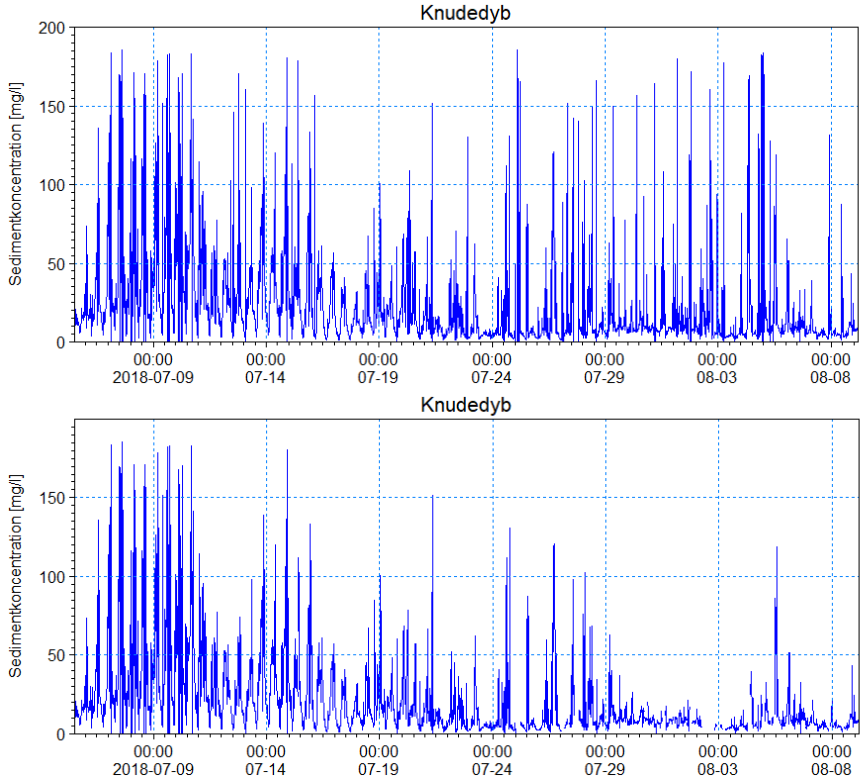
Figur 4-46 Målinger af sandlagstykkelser forud bygningen af Østhavn og uddybning af sejlrende optegnet på nuværende batymetri.
Tykkelser er angivet i meter.

4.10 Turbiditet

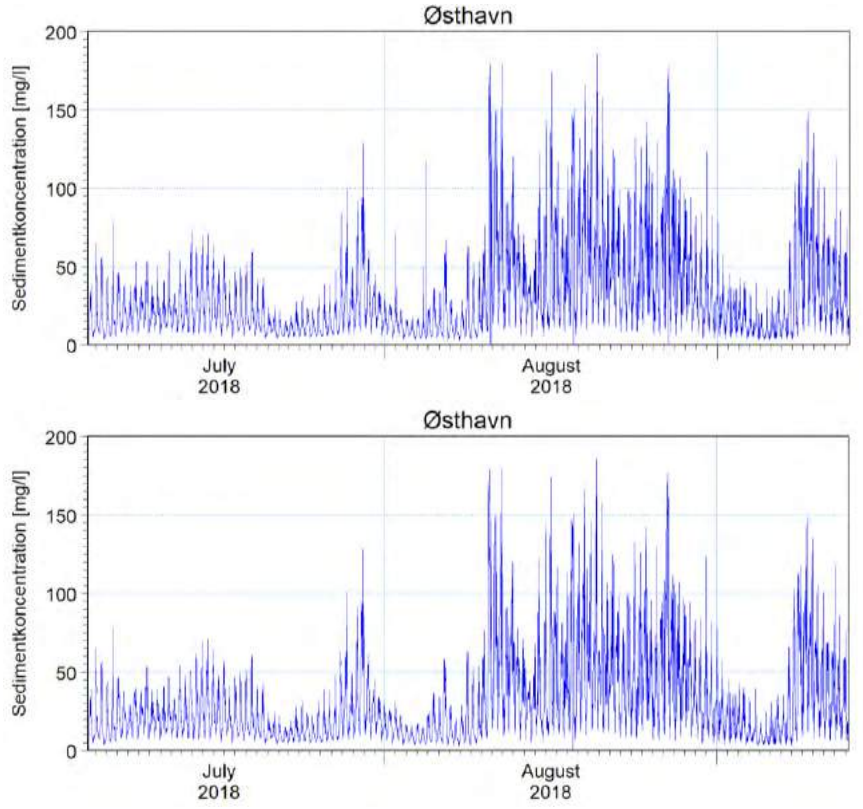
Der er blevet målt turbiditet i alle fem stationer indikeret på Figur 4-9 i juli-august 2018. Turbiditetsniveauerne er blevet omsat til sedimentkoncentrationer af opslæmmet materiale. Disse er vist i Figur 4-47 til Figur 4-51 i form af tidsserier. Måleren ved spildevandsøen stoppede til. Der er derfor fejl på målingerne midt i august 2018, hvilket ses af den manglende dynamiske opførsel over en længere periode. Figurerne viser derfor de rå målinger øverst og de kvalitetssikrede målinger nederst. Målingerne ved de fleste stationer er foretaget nær bunden og de fundne koncentrationsniveauer er derfor en del højere end de dybdemidlede koncentrationer.



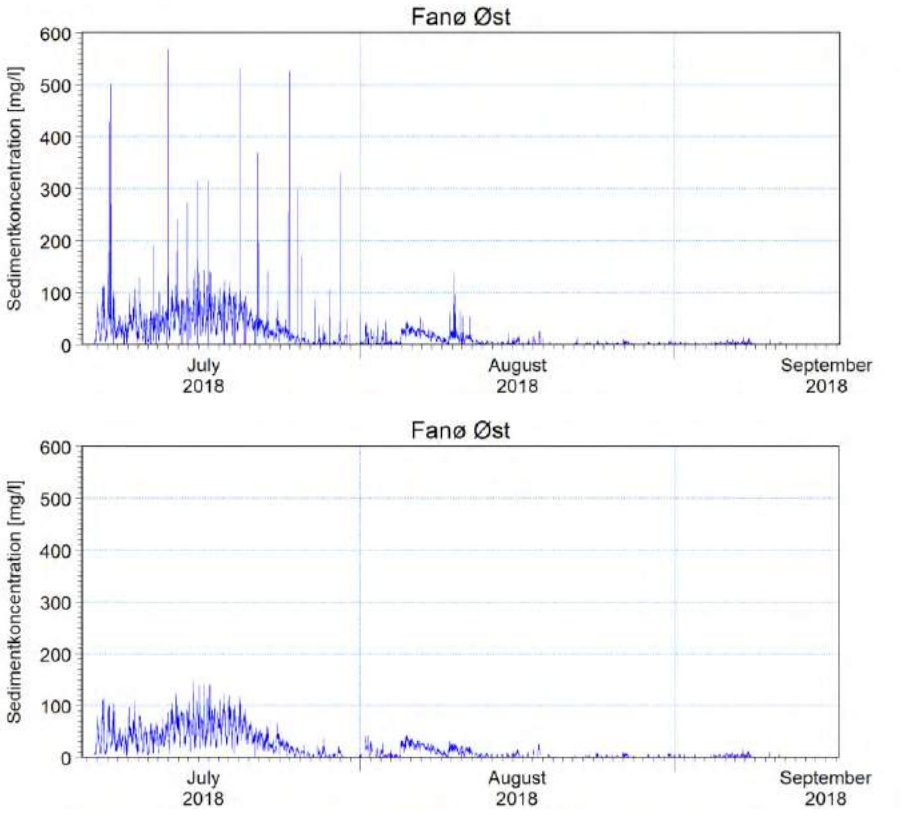
Figur 4-47 Målte sedimentkoncentrationer ved spildevandsøen.
Øverst: ikke-korrigerede data, nederst: sedimentkoncentrationer renset for målestøj. Sensordybde: cirka 4 m over bunden, dybde cirka 8 m.



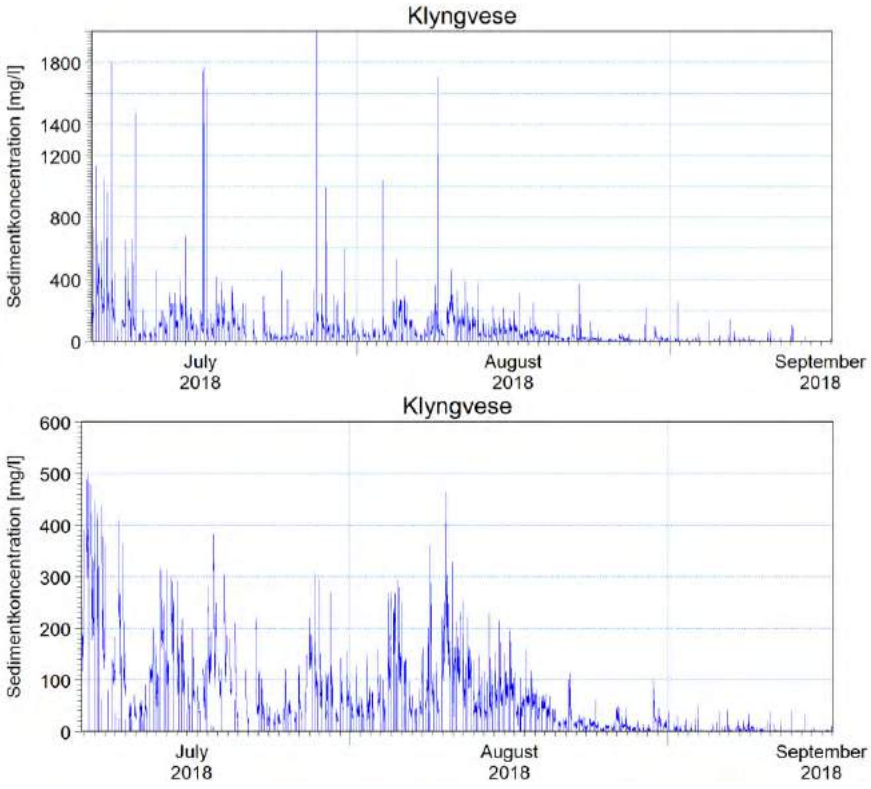
Figur 4-48 Målte sedimentkoncentrationer i Knudedyb nær bund.
Øverst: ikke-korrigerede data, nederst: sedimentkoncentrationer renset for målestøj. Sensordybde: 0,5 m over bunden, dybde 9,4 m.



Figur 4-49 Målte sedimentkoncentrationer i Østhavn nær bund.
Øverst: ikke-korrigerede data, nederst: sedimentkoncentrationer renset for målestøj. Sensordybde: 0,5 m over bunden, dybde 5,4 m.



Figur 4-50 Målte sedimentkoncentrationer i Fanø Øst nær bund.
Øverst: ikke-korrigerede data, nederst: sedimentkoncentrationer renset for målestøj. Sensordybde: 0,5m over bunden, dybde 1,4 m.



Figur 4-51 Målte sedimentkoncentrationer i Klyngvese nær bund.
Øverst: ikke-korrigerede data, nederst: sedimentkoncentrationer renset for målestøj. Sensordybde: 0,5 m over bunden, dybde 1,4 m.

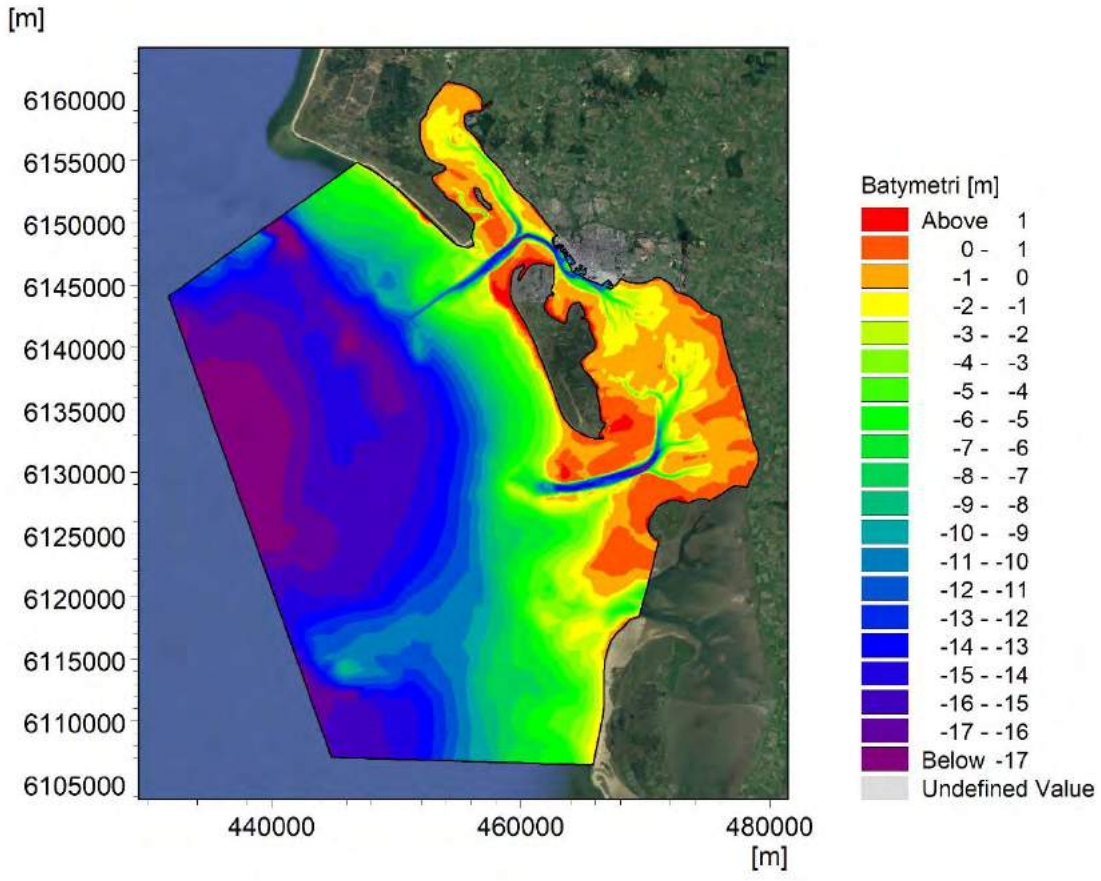
5 Baseline- og udbygningslayouts af Esbjerg Havn

I dette afsnit beskrives layout (geometri), beregningsnet og batymetri for baselinemodellen og Etape 5 udbygningen. Baseline og Etape 5 udbygningens layout udgør grundlaget for den hydrodynamiske og morfologiske modellering, som er udført med henblik på at vurdere påvirkningen af Grådyb og Knudedyb tidevandsområde og ikke mindst det omkringliggende Natura 2000 område.

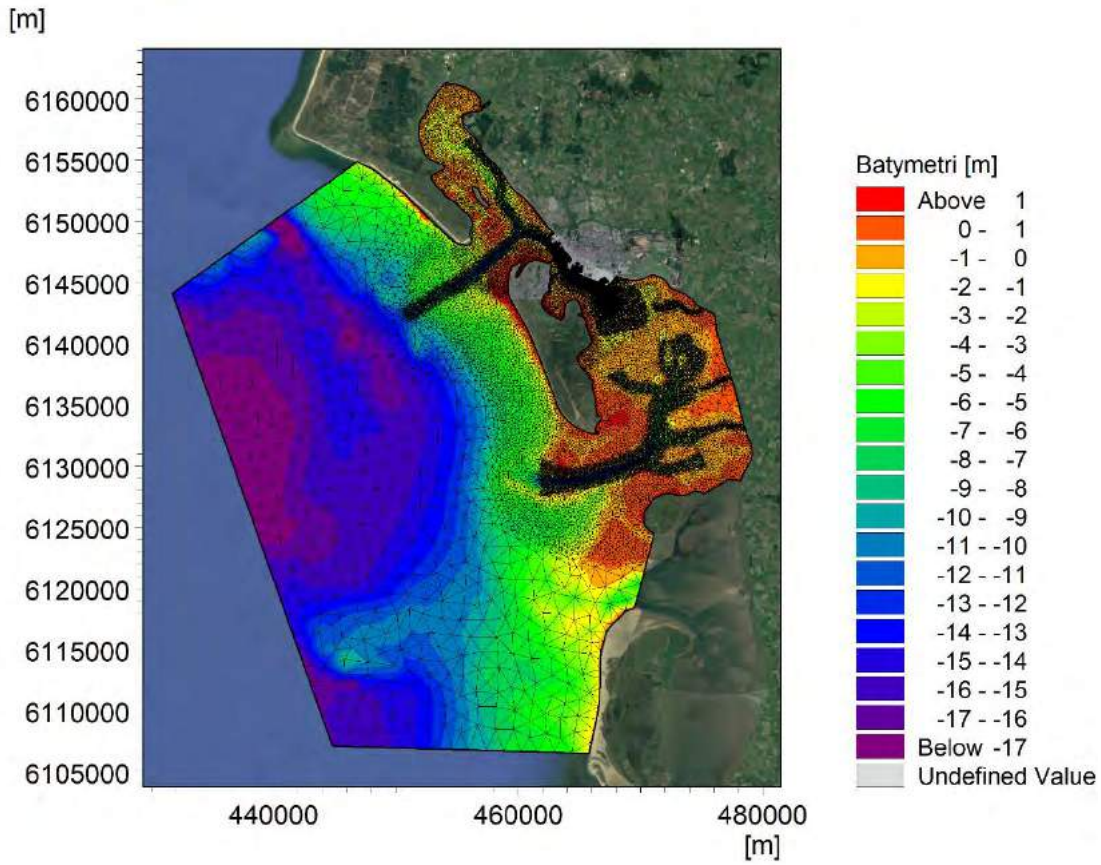
5.1 Baseline

Baselinemodellens batymetri og beregningsnet indeholder sejlrenden ind til Fanø Lystbådehavn ved Nordby. Ligeledes er løbene fra Sneum Å, Konge Å og Ribe Å gennem vaderne lagt ind i batymetrien, idet de ikke er indeholdt i de opmålte transekter. Endelig er det antaget at Etape 4 udbygningen af Østhavnen er afsluttet således, at den sydøstlige del af Østhavn er antaget fuldt uddybet til kote -10,12 DVR90.

Modelområdets udstrækning og baselinemodellens batymetri er vist Figur 5-1, mens Figur 5-2 viser beregningsnettet sammen med batymetrien. Den fine modelopløsning af Grådyb og Knudedyb, gør det ikke muligt at se batymetrien i disse områder. Det er derfor valgt at illustrere batymetri og beregningsnet ved brug af to figurer. Baselinemodellens beregningsnet er sammensat af 89.753 elementer.

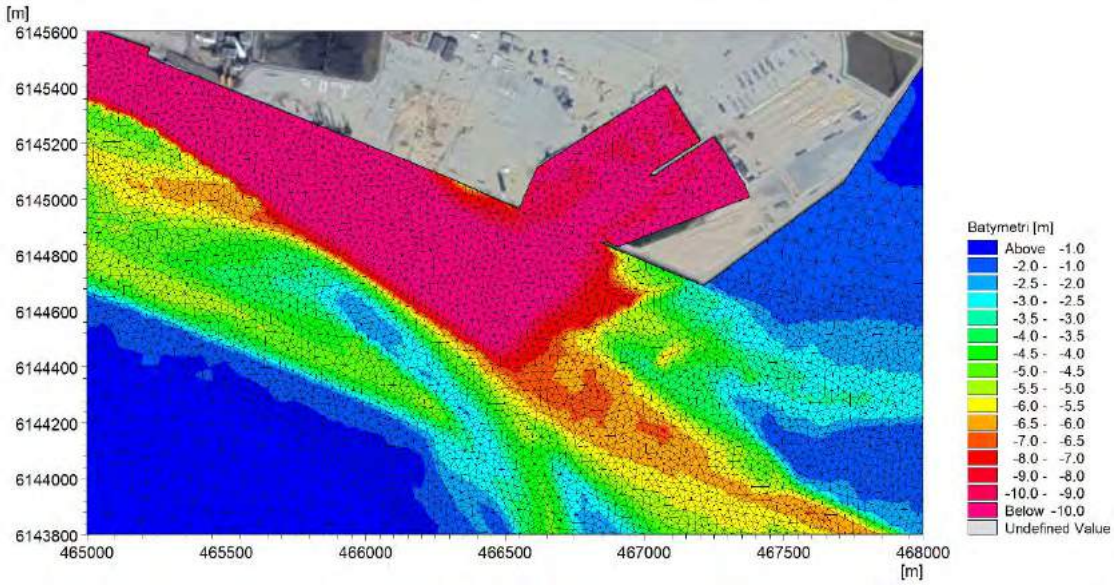


Figur 5-1 Modelområde og baselinemodellens batymetri [m MSL].



Figur 5-2 Batymetri og beregningsnet bestående af 89.753 elementer.

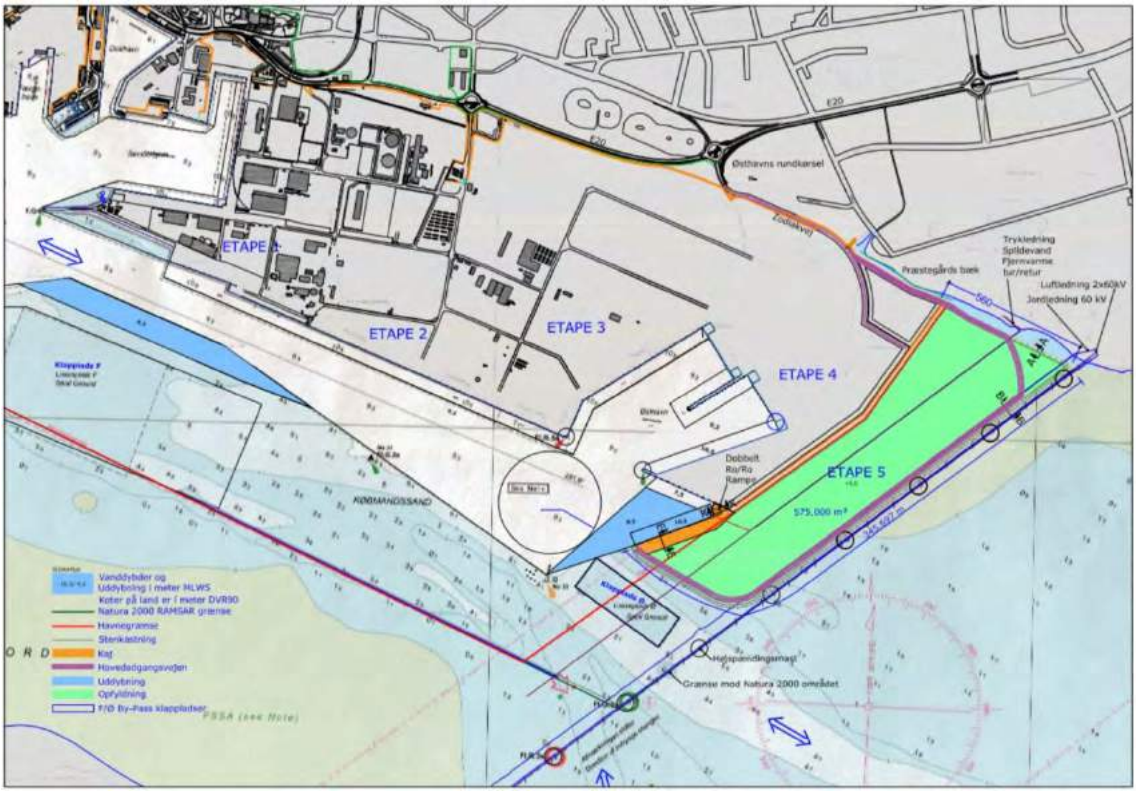
Figur 5-3 viser et zoom af beregningsnet og batymetri af området for Østhavn. Det ses, at der er en forholdsvis abrupt overgang fra sejlrenden og det videre løb. Særligt i området nærmest Østhavn. Beregningsnettet er i dette område opbygget af trekanter med sidelængder på cirka 20 m.



Figur 5-3 Zoom af batymetri og beregningsnet ud for Østhavn.

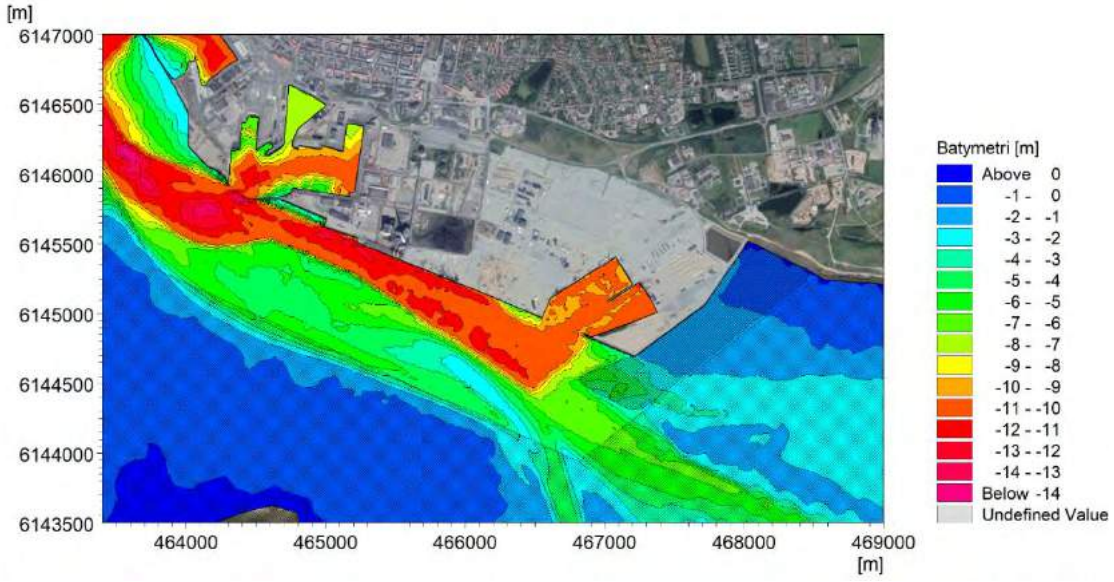
5.2 Etapeudbygning

Etapeudbygning 5, som er vist i Figur 5-4, indebærer at der opfyldes i forlængelse af Østhavnen og et stykke ud i løbet således, at der kan etableres et mindre kajområde i sejlrendens forlængelse. Desuden øges sejlrendens bredde ved hjælp af uddybning i området lige øst for Sønderhavn. Områderne, hvor der udføres en uddybning, er markeret med den lyseblå farve. Højspændingsmasternes fundamenter og linjeføring er markeret med en række cirkler langs den tykke blå linje. Langs med masterne løber ligeledes et 60 KV jordkabel. Opfyldningen placeres ovenpå traceet af trykledninger for spildevand og fjernvarme. Disse ledninger krydser tidevandsområdet på et sted, hvor udbygningen skaber en strømkontraktion og dermed en forøget risiko for erosion og blotlæggelse af ledningerne.



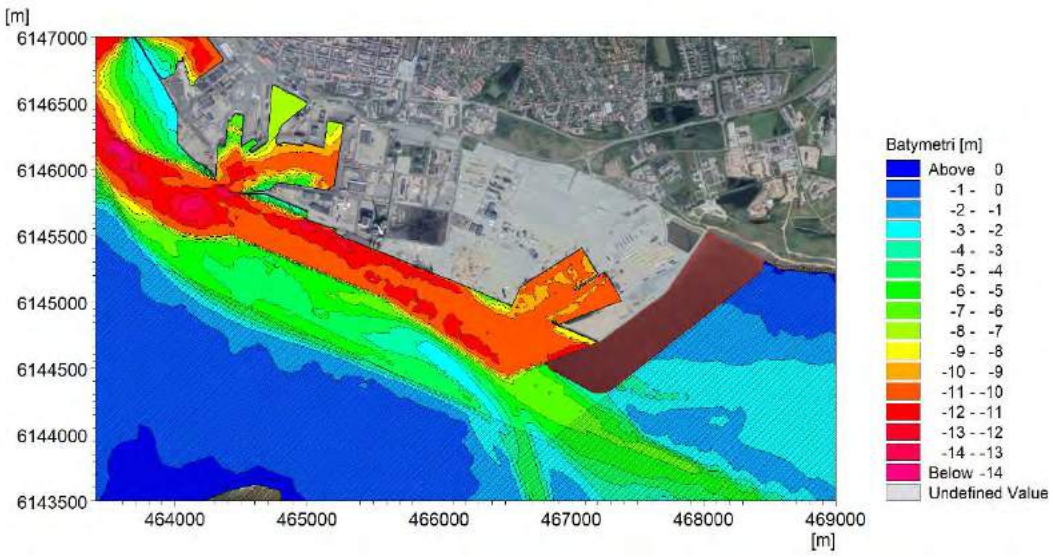
Figur 5-4 Oversigtskort med Etape 5 udbygningen (kilde: Esbjerg Havn).

Figur 5-5 viser baseline batymetrien i området med Sønderhavnen og Østhavnen. Konturen af opfyldningsområdet for Etape 5 er overlejret baseline batymetrien. Desuden er Natura 2000 området indikeret med en sortstribet overlejring. Batymetriens niveauer er angivet i forhold til DVR90.



Figur 5-5 Baseline layout og tilhørende batymetri i udbygningsområdet.

Batymetri og layout for etapeudbygning 5 er illustreret i Figur 5-6. Der opfyldes i det med røde tern skraverede område og uddybes til kote -9,3 m MLWS (-10,12 m DVR90) i det nye kajområde beliggende i umiddelbar forlængelse af sejlrenden (-7,5 m og -10,5 m MLWS ved kajerne). I sejlrendens udvidelsesområde uddybes der til kote -9,3 m MLWS. Lige nord for indsejlingen til Østhavnen fastholdes den nuværende bundform (dvs. området uddybes ikke), idet bundformen virker afbøjende på flodstrømmen og hjælper med at gøre passagen mere strømlinet forbi Østhavnen og det nye kajområde, som etableres i forbindelse med Etape 5.



Figur 5-6 Layout og batymetri for Etapeudbygning 5.

Med udgangspunkt i de definerede batymetrier er uddybningsbehovet i forhold til baseline estimeret til:

- Sejlrende: 460.000 m^3 over et areal på 145.000 m^2
- Ved Østhavn: 290.000 m^3 over et areal på 130.000 m^2

Dvs. en uddybning på i alt 750.000 m^3. NIRAS har oplyst en gravemængde på 900.000 m^3 som antages at indeholde øget uddybning for at sikre opretholdelse af krævede minimumsdybder.

Etapeudbygningen kræver tilførsel af store mængder opfyld; mængder som ikke vil kunne dækkes af egnede materialer indvundet i forbindelse med uddybningsarbejderne. Under forudsætning af, at der opfyldes til kote +5 m DVR90 er det estimerede opfyldningsvolumen på 4.050.000m^3 over et tilført areal på cirka 600.000 m^2.

Denne side skal være blank.

6 Modelperioder og kalibrering af baseline

Til analysen af påvirkning af saltholdighed og strømningsforhold er det valgt at se på henholdsvis en vinter- og sommerperiode for at afdække sæsonvariationer. Måleperioderne er valgt således, at de dækker de to betydende sæsoner og således at der er et datagrundlag til rådighed til kalibrering og validering af modellen. Vinterperioden dækker 18. december 2017 til 20. marts 2018, mens sommerperioden dækker 15. juni 2018 til 15. september 2018. Til vurdering af forholdene under en stormflodshændelse er der taget udgangspunkt i Stormen Bodil i december 2013. Denne modelperiode dækker 3. december 2013 til 9. december 2013. Endelig benyttes modelperioden 1. januar 2018 til 1. januar 2019 til de morfologiske modelleringer, så den fulde sæsonvariation er dækket og for en tidsskala, hvor systemet kan nå at tilpasse sig de ændrede forhold. Oveni dette er modellen afviklet med en opvarmnings-periode af et døgns varighed i de enkelte simuleringer, hvilket er tilstrækkeligt til at få tidevandsudvekslingen i balance. Det initiale felt for saltholdighed er fundet ved gentagne gennemregninger og justeringer i forhold til målinger, således at det hurtigt indstiller sig i en kvasi-stationær ligevægt.

6.1 Afstrømning

Tilførslen af ferskvand til Grådyb og Knudedyb tidevandsområder i farvandet omkring Esbjerg er beskrevet ved hjælp af vandføringstidsserier indeholdende døgnværdier for afstrømningen fra følgende udløb: Varde Å, Sneum Å, Konge Å, Ribe Å, Mølle Bæk, Fovrfeldt Bæk, Esbjerg Gamle By, Novrup Bæk, Darum og Hillerup, jf. afsnit 4.1 Afstrømning. Afstrømningen er størst i vinterhalvåret og mindst i sommerhalvåret. Forskellen i tilførsel af ferskvand henover året indebærer, at der er en sæsonvariation i saltholdigheden, hvor saltholdigheden er typisk størst i sommerhalvåret og mindst i vinterhalvåret. Statistiske parametre for afstrømningen i henholdsvis den modellerede vinter- og sommerperiode er angivet i Tabel 6-1.

Tabel 6-1 Statistiske parametre for oplandets tilførsel af ferskvand i modellerede perioder.

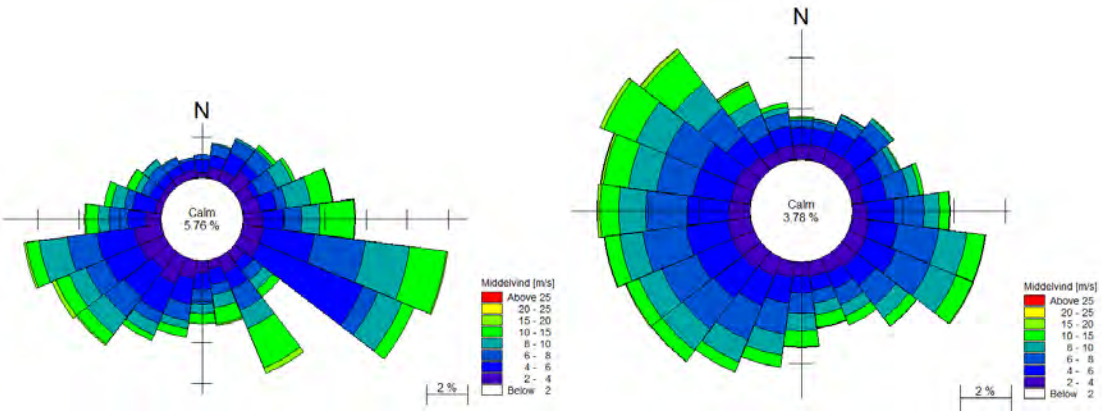
	Vinter vandføring døgnmidlet [m^3/s]			Sommervandføring døgnmidlet [m^3/s]		
Kilder	**middel**	**min**	**max**	**middel**	**min**	**max**
Varde Å	26,26	16,82	47,92	8,82	7,45	12,90
Mølle Bæk	0,25	0,14	0,80	0,13	0,05	0,59
Fovrfeldt Bæk	0,59	0,30	2,32	0,33	0,15	2,97
Esbjerg Gamle By	0,17	0,10	0,54	0,11	0,05	0,74
Novrup Bæk	0,65	0,29	1,55	0,24	0,09	0,83
Sneum Å	12,06	7,26	23,21	3,73	2,75	7,42
Darum Bæk	0,68	0,35	1,65	0,25	0,10	0,85
Konge Å	11,77	6,36	22,19	3,20	2,12	6,84
Hillerup	0,37	0,14	0,63	0,11	0,01	0,65
Ribe Å	22,78	11,48	45,27	5,64	3,91	12,24
Samlet	**76,57**	**43,24**	**146,08**	**22,54**	**16,75**	**42,73**

6.2 Vind

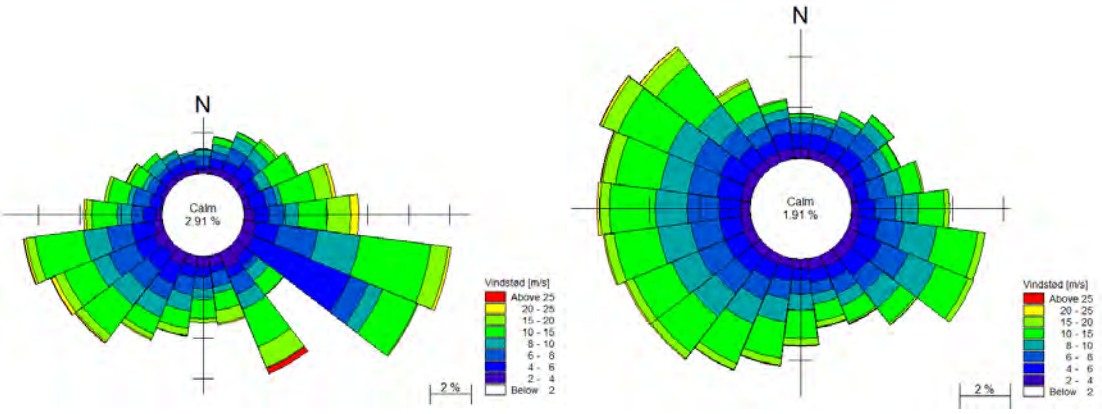
Til vurdering af de valgte modelperioders vindforhold er der lavet en sammenligning, baseret på den ved Esbjerg målte vind med forholdene over en 12-årig periode (2007-2018). Sammenligningen er lavet for både middelvind og vindstød.

Vinterperiode

Figur 6-1 viser en sammenligning af den målte vindrose for den modellerede vinterperiode og de sidste 12 års vind. Middelvinden er 6,3 m/s i modelperioden og 6,6 m/s i den tolvårige måleperiode og dermed tilnærmelsesvis den samme, men fordelingen af de fremherskende vindretninger er noget anderledes. Billedet er det samme for vindstødene vist i Figur 6-2. Her er vindstødene i middel 8,7 m/s i modelperioden og 8,6 m/s i den fulde måleperiode. Modelperioden indeholder en længere sammenhængende periode med relativt kraftige vinde fra østlig retning, hvor vandstanden i Grådyb og Knudedyb tidevandsområder bliver meget lav. Vindforholdene har relativ lille betydning på strømforholdene som er tidevandsdomineret, men har betydning for de lokalt genererede vindbølger. Perioden med vind fra nordvest er underrepræsenteret i modelperioden, hvilket primært har betydning for hvor i tidevandsområdet de højeste bølger forekommer. Vind fra Nordvestlig retning vil typisk resultere i at bølgehøjderne er størst i den sydlige del af Knudedyb tidevandsområde og ind mod den jyske kyst. Den nordvestlige vind har derfor primært betydning for turbiditetsniveauet i Knudedyb tidevandsområde og kun i mindre grad betydning for forholdene vest for udbygningen.



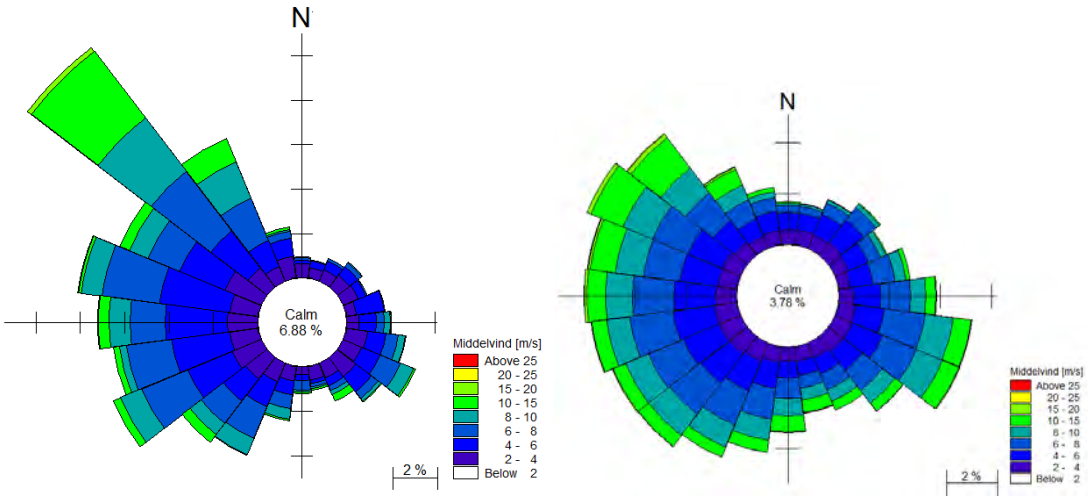
Figur 6-1 Målt middelvind ved Esbjerg - vinterperiode.
Venstre side: Vinterperiodens vindrose, højre side: Vindrose for perioden 2007-2018. Vindroserne angiver den retning vinden kommer fra.



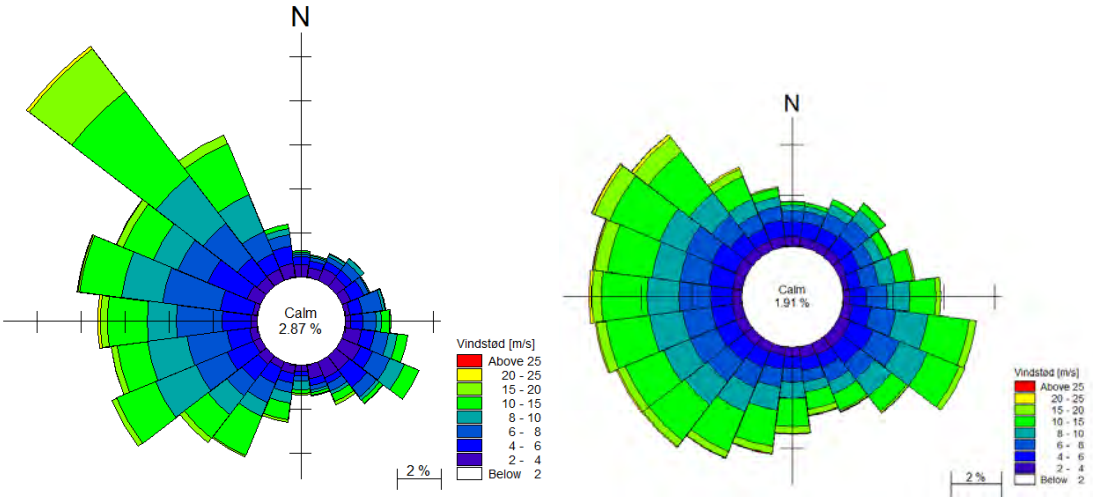
Figur 6-2 Målt vindstød ved Esbjerg - vinterperiode.
Venstre side: Vinterperiodens vindrose, højre side: Vindrose for perioden 2007-2018. Vindroserne angiver den retning vinden kommer fra.

Sommerperiode

Figur 6-3 viser en sammenligning af den målte vindrose for den modellerede sommerperiode og de sidste 12 års vind. Middelvinden i modelperioden er 5,8 m/s, mens vindstødenes middel er 8,0 m/s. Fordelingen af vindretningerne minder om den generelle fordeling. Vindroser for vindstødene er vist i Figur 6-4.



Figur 6-3 Målt middelvind ved Esbjerg – sommerperiode.
Venstre side: sommerperiodens vindrose, højre side: Vindrose for perioden 2007-2018. Vindroserne angiver den retning vinden kommer fra.

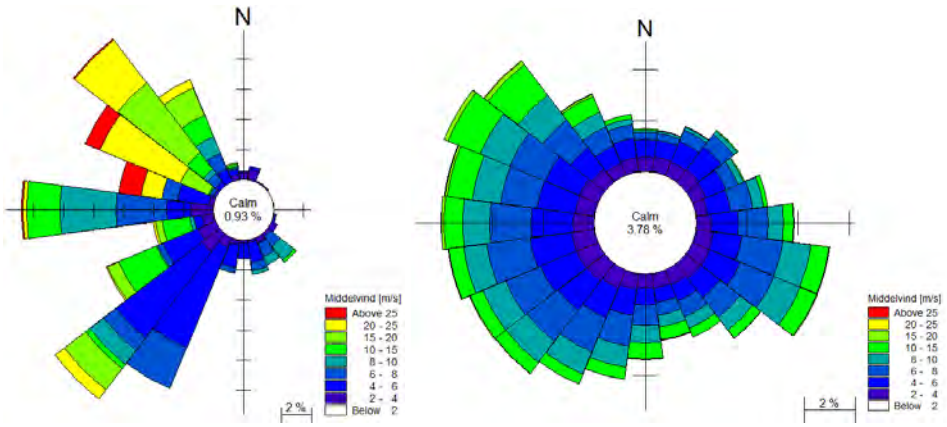


Figur 6-4 Målt vindstød ved Esbjerg – sommerperiode.
Venstre side: Sommerperiodens vindrose, højre side: Vindrose for perioden 2007-2018. Vindroserne angiver den retning vinden kommer fra.

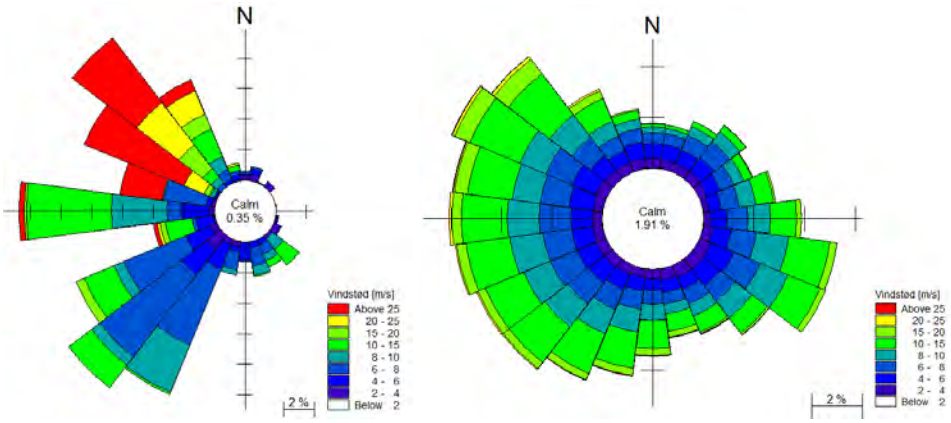
Stormflodshændelse (Bodil)

Modelperioden for stormflodshændelsen Bodil dækker perioden 3-9. december 2013. Figur 6-5 viser en sammenligning af den målte vindrose i perioden omkring stormflodshændelsen og de generelle vindforhold. Middelvinden i modelperioden er målt til 11,6 m/s, mens middel af vindstødene er 15,3 m/s. Det ses, at de kraftigste vinde kommer fra nordvestlig retning.

Vindroser for vindstødene er vist i Figur 6-6. Stormflodshændelsen er rangeret som den 13. højeste vandstand målt i Esbjerg havn i løbet af en 145 års måleperiode.



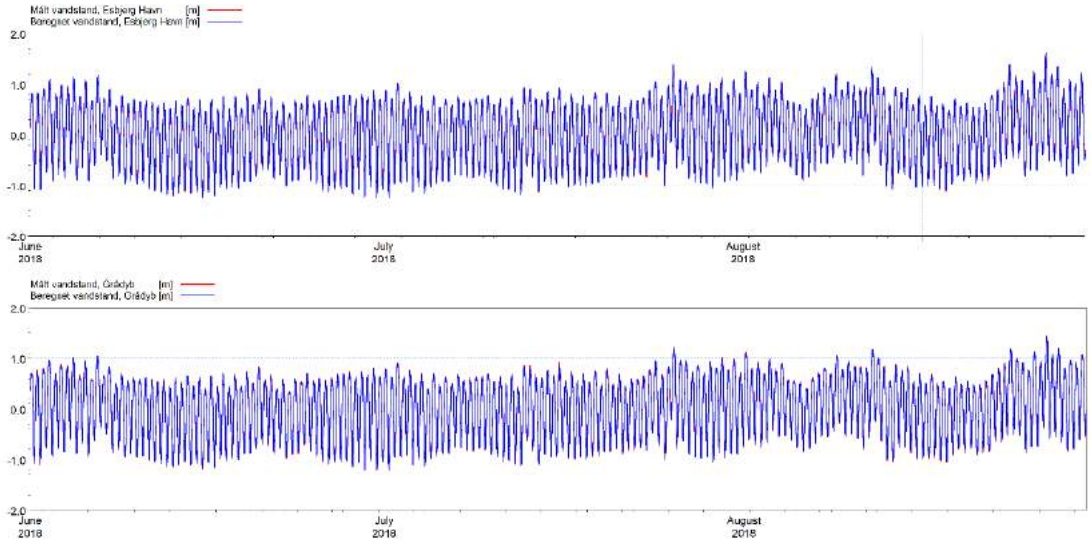
Figur 6-5 Målt vind ved Esbjerg – stormflodshændelse (Bodil).
Venstre side: Vindrose dækkende perioden omkring stormen Bodil, højre side: Vindrose for perioden 2007-2018. Vindroserne angiver den retning vinden kommer fra.



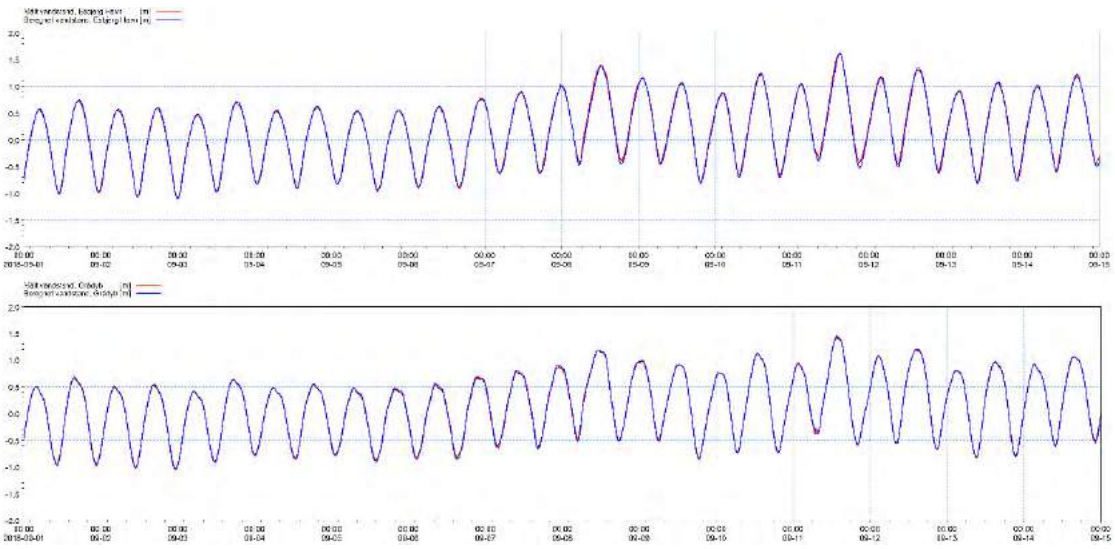
Figur 6-6 Målt vindstød ved Esbjerg – stormflodshændelse (Bodil).
Venstre side: Vindrose dækkende perioden omkring stormen Bodil, højre side: Vindrose for perioden 2007-2018. Vindroserne angiver den retning vinden kommer fra.

6.3 Vandstand

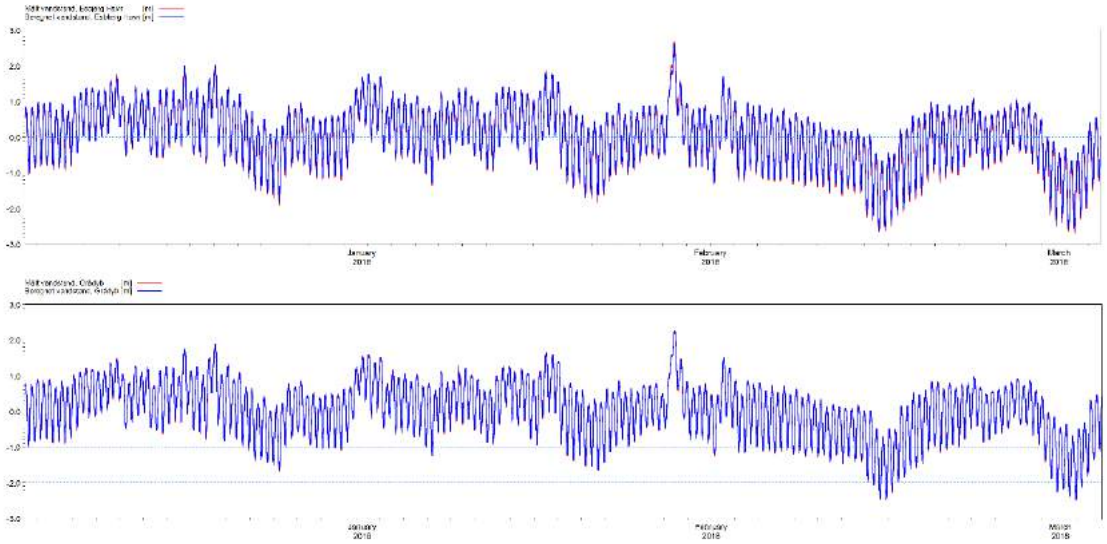
Den hydrauliske model er kalibreret på baggrund af målte vandstande ved Grådybindsejlingen og i Esbjerg Havn Bassin 1. I forbindelse med kalibreringen er Grådyb Barre målerens vandstande løftet med 30 cm, da det er vurderet ved sammenligning med målingerne fra Esbjerg Havn, at der er fejl i det oplyste referenceniveau. Figur 6-7 til Figur 6-10 viser en sammenligning af målte og modellerede vandstande i løbet af den valgte sommer- og vinterperiode. Der ses at være en meget fin overensstemmelse mellem målte og modellerede vandstande i begge målestationer.



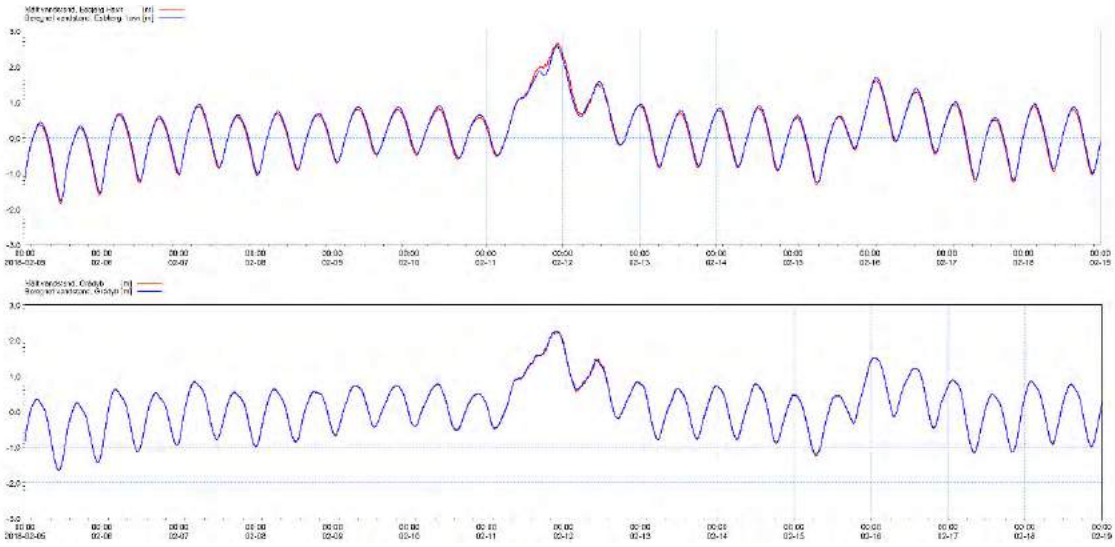
Figur 6-7 Målt og modelleret vandstand ved Esbjerg Havn - Bassin 1 (øverst) og Grådybindsejlingen (nederst) for sommerperioden – fuld simuleringsperiode.
Blå kurve: Model, rød kurve: Måling (inkl. 30 cm korrektion ved Grådyb).



Figur 6-8 Målt og modelleret vandstand ved Esbjerg Havn - Bassin 1 (øverst) og Grådybindsejlingen (nederst) for sommerperioden – 14 dages delperiode.
Blå kurve: Model, rød kurve: Måling (inkl. 30 cm korrektion ved Grådyb).



Figur 6-9 Målt og modelleret vandstand ved Esbjerg Havn - Bassin 1 (øverst) og Grådybindsejlingen (nederst) for vinterperioden – fuld simuleringsperiode.
Blå kurve: Model, rød kurve: Måling (inkl. 30 cm korrektion ved Grådyb).



Figur 6-10 Målt og modelleret vandstand ved Esbjerg Havn - Bassin 1 (øverst) og Grådybindsejlingen (nederst) for vinterperioden – 14 dages delperiode.
Blå kurve: Model, rød kurve: Måling (inkl. 30 cm korrektion ved Grådyb).

På baggrund af de målte og modellerede vandstande i henholdsvis vinter- og sommerperioden er der beregnet en række statistiske parametre for hver af de to stationer. De statistiske parametre er sammenholdt i Tabel 6-2 og Tabel 6-3 for vinterperioden og i Tabel 6-4 og Tabel 6-5 for sommerperioden. Det ses, at der er en meget fin overensstemmelse mellem middelniveau og RMS (root-mean-square) ved Grådybindsejlingen.

Tabel 6-2 Målt og modelleret vandstand ved Grådybindsejlingen i vinterperioden.

Vandstand	Model [m DVR90]	Måling [m DVR90]	Delta [m]
Middel	0,046	0,046	0,000
RMS	0,767	0,768	0,001
Minimum	-2,491	-2,500	-0,009
Maksimum	2,234	2,270	0,036

Forskellene i Bassin 1 er som det fremgår af Tabel 6-3 lidt større som følge af, at kalibreringen er foretaget med udgangspunkt i Grådyb måleren. Som det tidligere er beskrevet, er der grund til at tro, at Grådyb målerens referenceniveau har forskudt sig, hvilket der i modelleringen er kompenseret for ved at hæve de målte vandstandsniveauer ved Grådyb Barre med 30 cm. Afvigelsen i målt og modelleret middelniveau i Bassin 1 på cirka 4 cm, er et udtryk for at den anvendte offset korrektion på 30 cm er i overkanten og i stedet burde være 26 cm i vinterperioden 2018. Generelt ses af tabellerne, at modellen er særdeles velkalibreret på vandstandsniveauer og variationer i denne.

Tabel 6-3 Målt og modelleret vandstand i Esbjerg Havn – Bassin 1 i vinterperioden.

Vandstand	Model [m DVR90]	Måling [m DVR90]	Delta [m]
Middel	0,086	0,045	-0,041
RMS	0,807	0,815	0,009
Minimum	-2,617	-2,690	-0,073
Maksimum	2,592	2,650	0,058

Tilsvarende værdier er angivet i Tabel 6-4 og Tabel 6-5 for sommerperioden. I sommerperioden ses offsetkorrektionen af Grådybmåleren på 30 cm at være i overensstemmelse med middelniveauet i Bassin 1. I sommerperioden holder vandstandsvariationerne sig indenfor et noget mere snævert bånd end i vinterperioden. Som for vinterperioden ses modellen at være særdeles velkalibreret i forhold til vandstand.

Tabel 6-4 Målt og modelleret vandstand ved Grådybindsejlingen i sommerperioden.

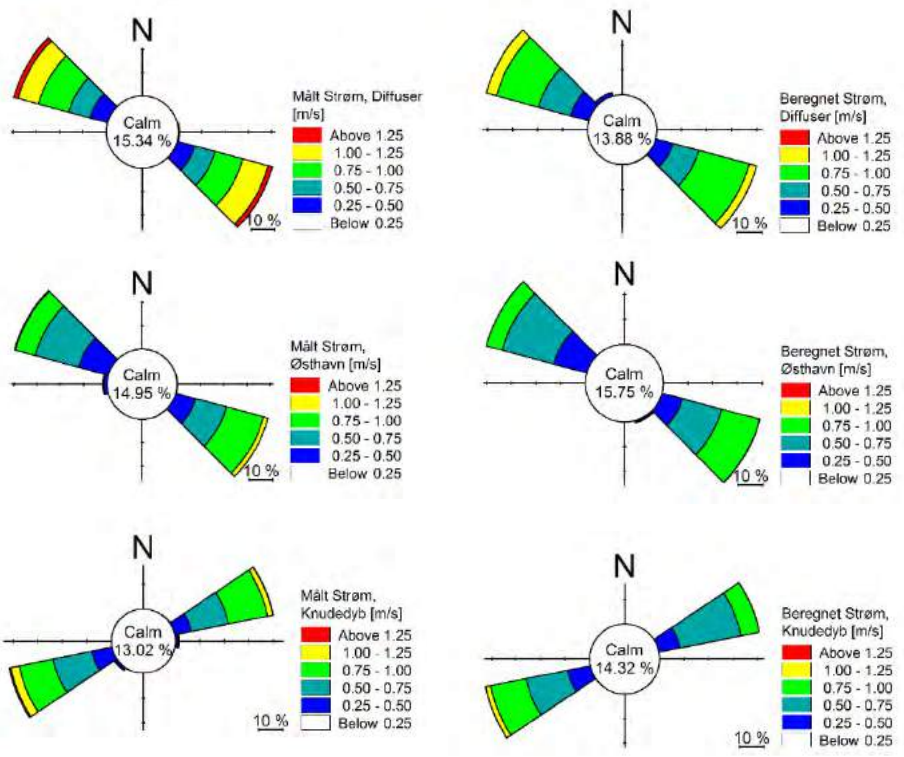
Vandstand	Model [m DVR90]	Måling [m DVR90]	Delta [m]
Middel	0,047	0,049	0,003
RMS	0,570	0,570	-0,001
Minimum	-1,214	-1,220	-0,006
Maksimum	1,421	1,450	0,029

Tabel 6-5 Målt og modelleret vandstand i Esbjerg Havn – Bassin 1 i sommerperioden.

Vandstand	Model [m DVR90]	Måling [m DVR90]	Delta [m]
Middel	0,067	0,073	0,006
RMS	0,597	0,588	-0,009
Minimum	-1,238	-1,240	-0,002
Maksimum	1,619	1,610	-0,009

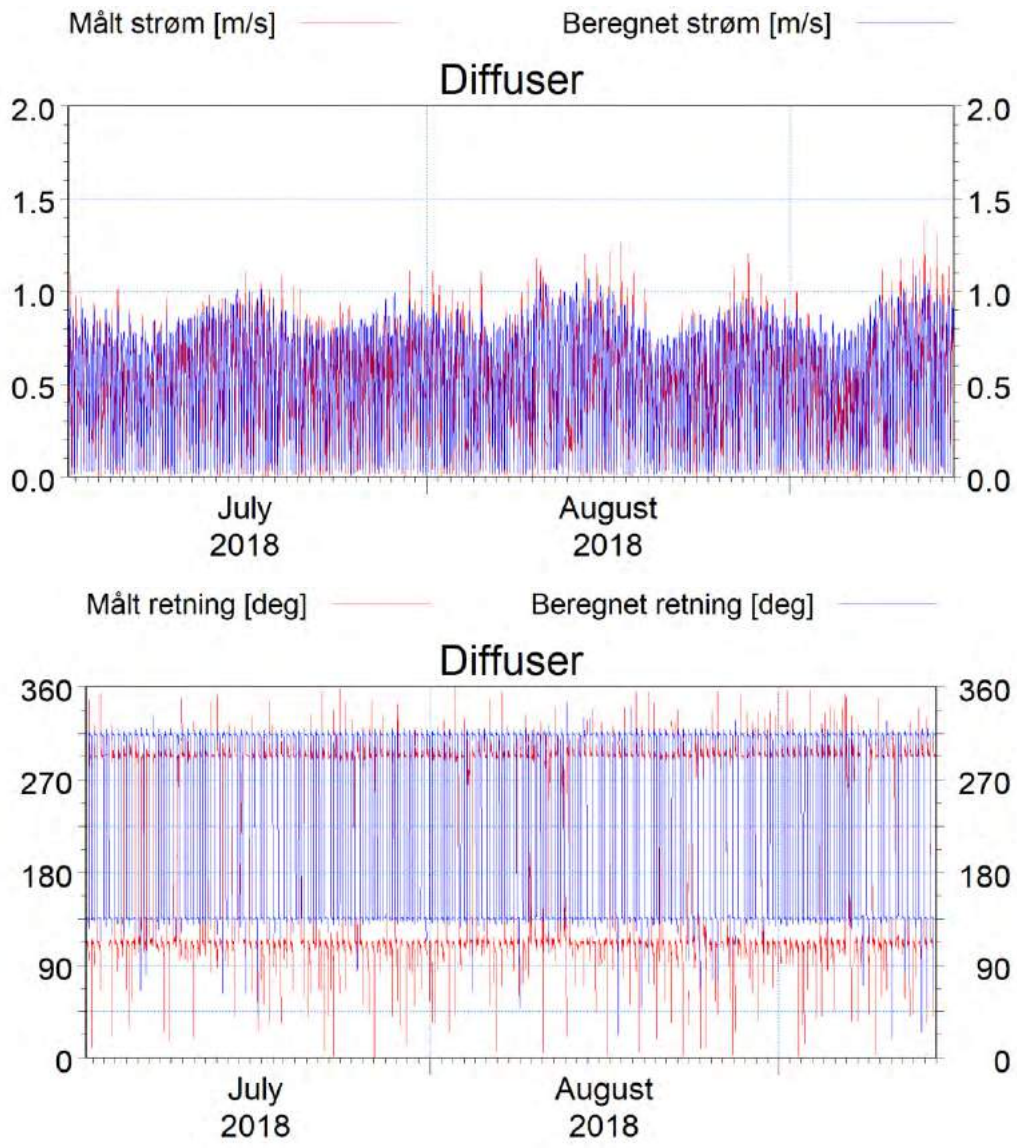
6.4 Strøm

Der er målt strøm ved Diffuser, Østhavn og Knudedyb i sommeren 2018. I Figur 6-11 er disse målinger sammenlignet med modellen i form af strømroser. Målingerne ved diffuseren er baseret på en vandretskydende ADCP, det er derfor ikke helt klart hvilken del af vandsøjlen og position målingerne repræsenterer. I sammenligningen her er det valgt at bruge måletidsserien fra det yderste punkt. Strømrosen for diffuseren dækker perioden 1. juli 10:00 til 15. september 2018 00:00, mens data fra Østhavn dækker perioden 4. juli 06:10 til 13. september 2018 8:00 og for Knudedyb dækker viste data perioden 2. julie 11:20 til 15. september 2018 00:00. Det ses, at der er en ganske fin overensstemmelse mellem målinger og modelresultater, både hvad angår strømretningerne og strømhastigheder.



Figur 6-11 Målt (venstre) og beregnet (højre) strøm i sommerperioden ved hhv. Diffuser (øverst), Østhavn (midt) og Knudedyb (nederst).

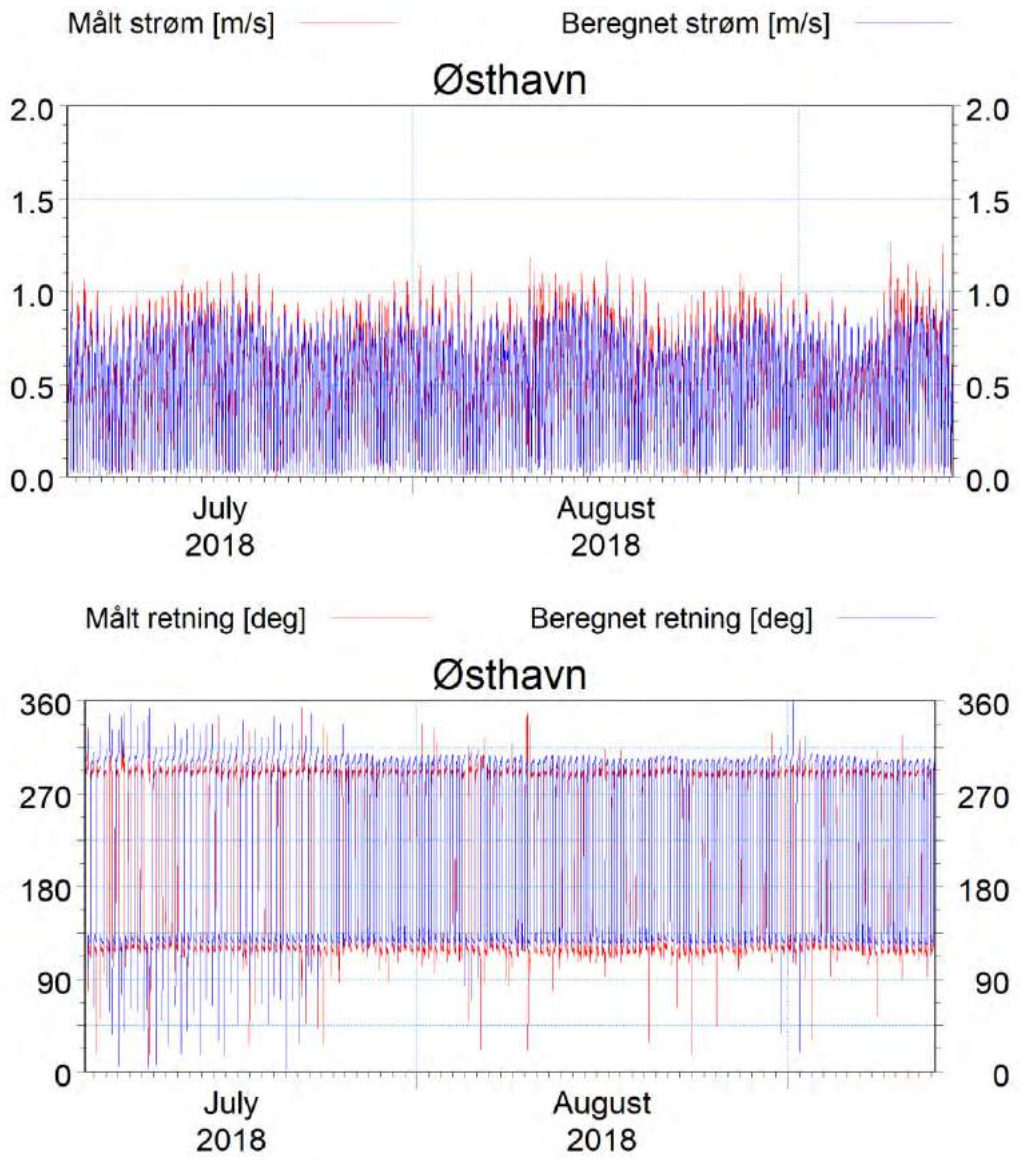
Modellen har dog (ifølge strømroserne) en lille tendens til lidt at vise lidt svagere strøm end de på baggrund af målingerne processerede hastigheder, hvilket skyldes at modellen repræsenterer en dybdemidlet strøm (2D), mens målingerne ved Østhavn og Knudedyb er baseret på middel af et begrænset antal værdier (bins) data over dybdeprofilet. Desuden indeholder målingerne støj (fluktuationer) i modsætning til den modellerede strøm, som er en kontinuert glat kurve. Ved Østhavn er strømhastigheden for eksempel bestemt med mellem 2 og 5 bin alt afhængig af vandstanden. ADCP'en sidder placeret lidt over bunden og med det begrænsede antal bins vil der være en derfor være en tendens til at hastigheden i bin nærmest bunden vægtes for lidt og med for stor hastighed. Samtidig er der situationer i løbet af en tidevandscyklus, hvor øverste bin (nærmest overfladen) vægtes for højt. I målingerne er der også en del støj (fluktuationer) modsat den modellerede strøm, som følger et jævnt forløb.



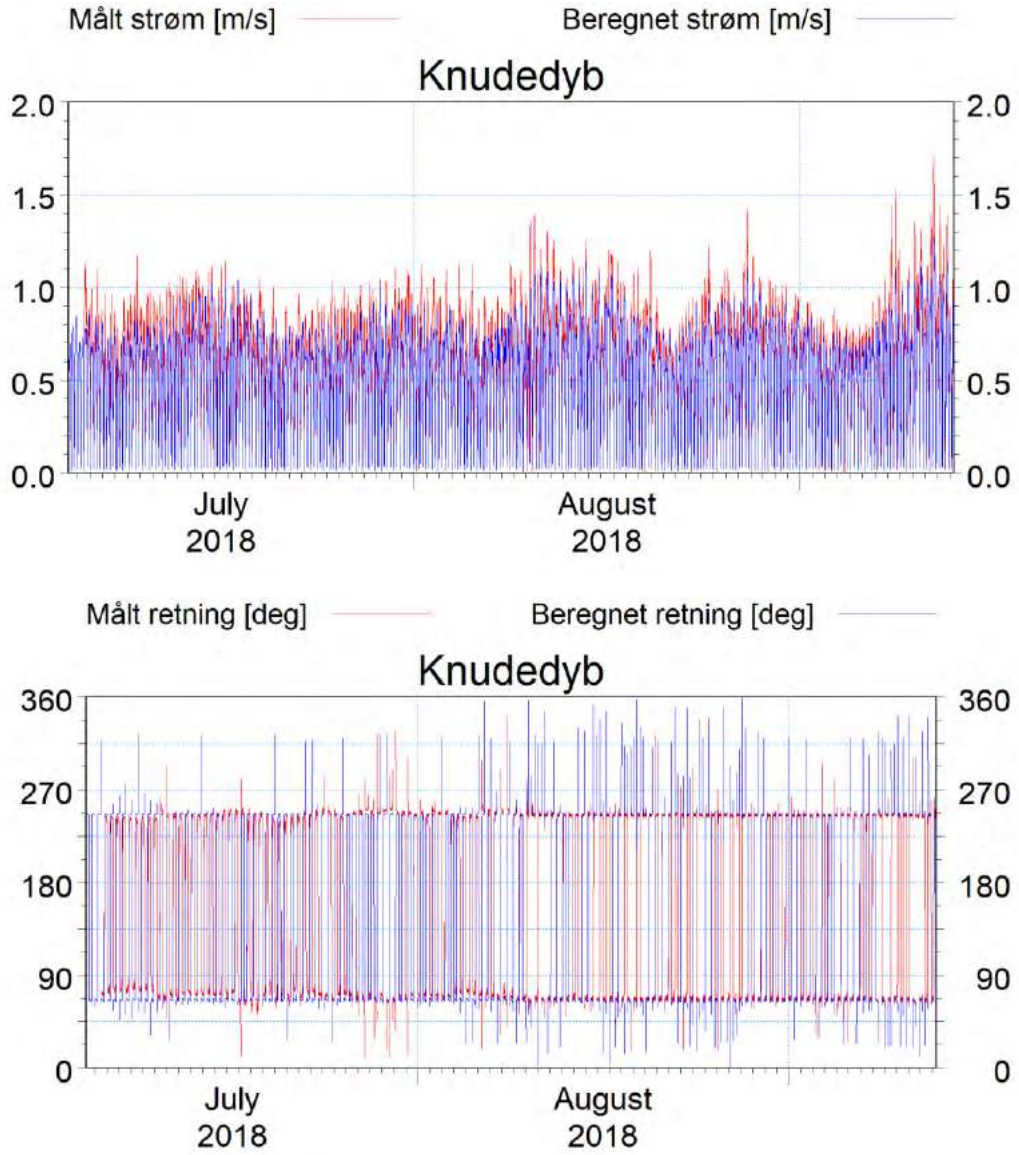
Figur 6-12 Målt og beregnet strøm i sommerperioden ved Diffuser.

En tilsvarende sammenligning af strømhastigheder og retninger, er vist nedenfor i Figur 6-12 til Figur 6-14 som tidsserier for måleperioden. Der ses at være en udmærket overensstemmelse i Knudedyb og Østhavn, mens strømretningen ved Diffuser har en konstant afvigelse i retningen. Dette skyldes formodentligt modellens begrænsede opløsning og den relativt kraftige gradient i strømmen fra Diffuser og ud mod sejlrenden, men også at målingerne repræsenterer et område

og ikke et egentlig fast punkt. Pga. den anvendte retningsopløsning i roserne ovenfor på 30 grader, så fremgår denne afvigelse ikke i rose-plottet. Nævnte lidt svagere modellerede strøm ved Østhavn og Knudedyb ses også i tidsserieplottene.



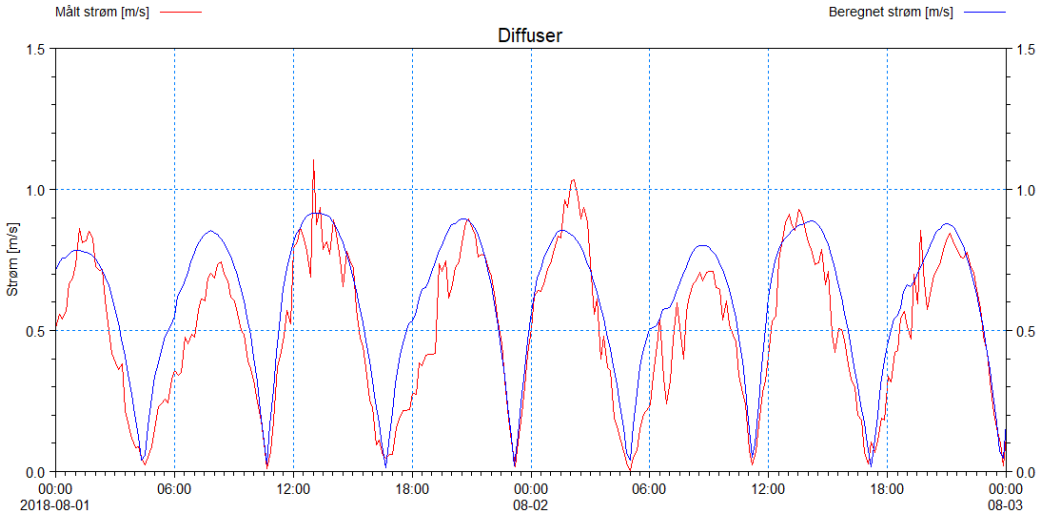
Figur 6-13 Målt og beregnet strøm i sommerperioden ved Østhavn.



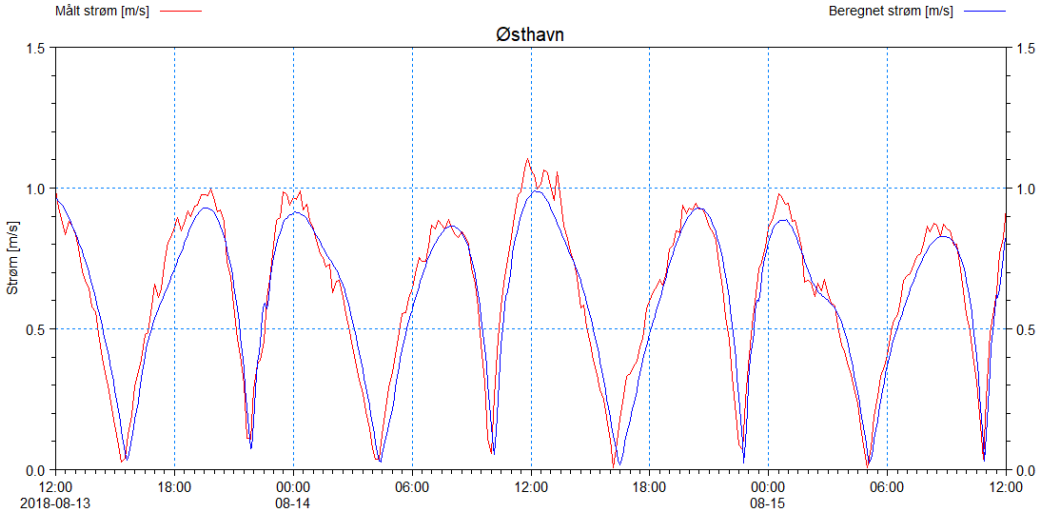
Figur 6-14 Målt og beregnet strøm i sommerperioden ved hhv. Knudedyb.

Den modellerede strøm passer bedre end hvad det fremgår af strømplottene af den fulde tidsserie, hvor støj i målingerne giver udslag i form af høje strømhastigheder. Zoomer man ind på tidsserieplottene, vil man se støjen i målingerne og at der rent faktisk er en fin overensstemmelse mellem de målte og beregnede strømhastigheder. Figur 6-15 - Figur 6-17 viser udsnit af den beregnede og målte strøm ved Diffuser, Østhavn og Knudedyb.

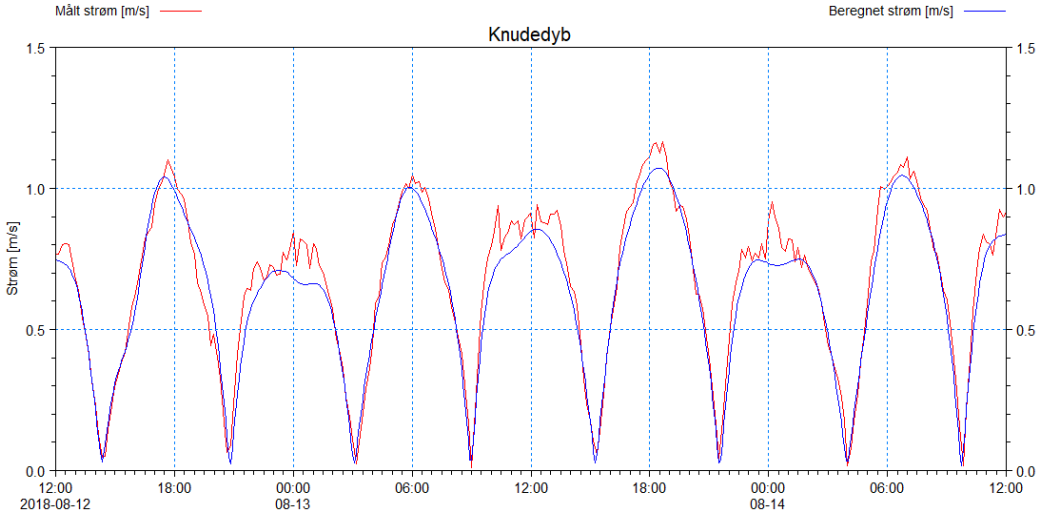
Vandstandskalibreringen viser, at der er en meget præcis overensstemmelse mellem det med tidevand ud- og indstrømmende vand. Det er derfor forventeligt at modellen også afspejler de faktiske strømforhold ganske præcist. Når der derfor er mindre forskelle på den målte og beregnede strøm, hænger det derfor som tidligere nævnt sammen med støj i målingerne og det beskedne antal bins og den måde de vægtes på. Zoomes der ind så signalet opløses henover nogle få tidevandscyklusser, bliver det tydeligt at der rent faktisk også er en god overensstemmelse mellem de målte og modellerede strømhastigheder.



Figur 6-15 Udsnit af målt og beregnet strøm ved Diffuser.



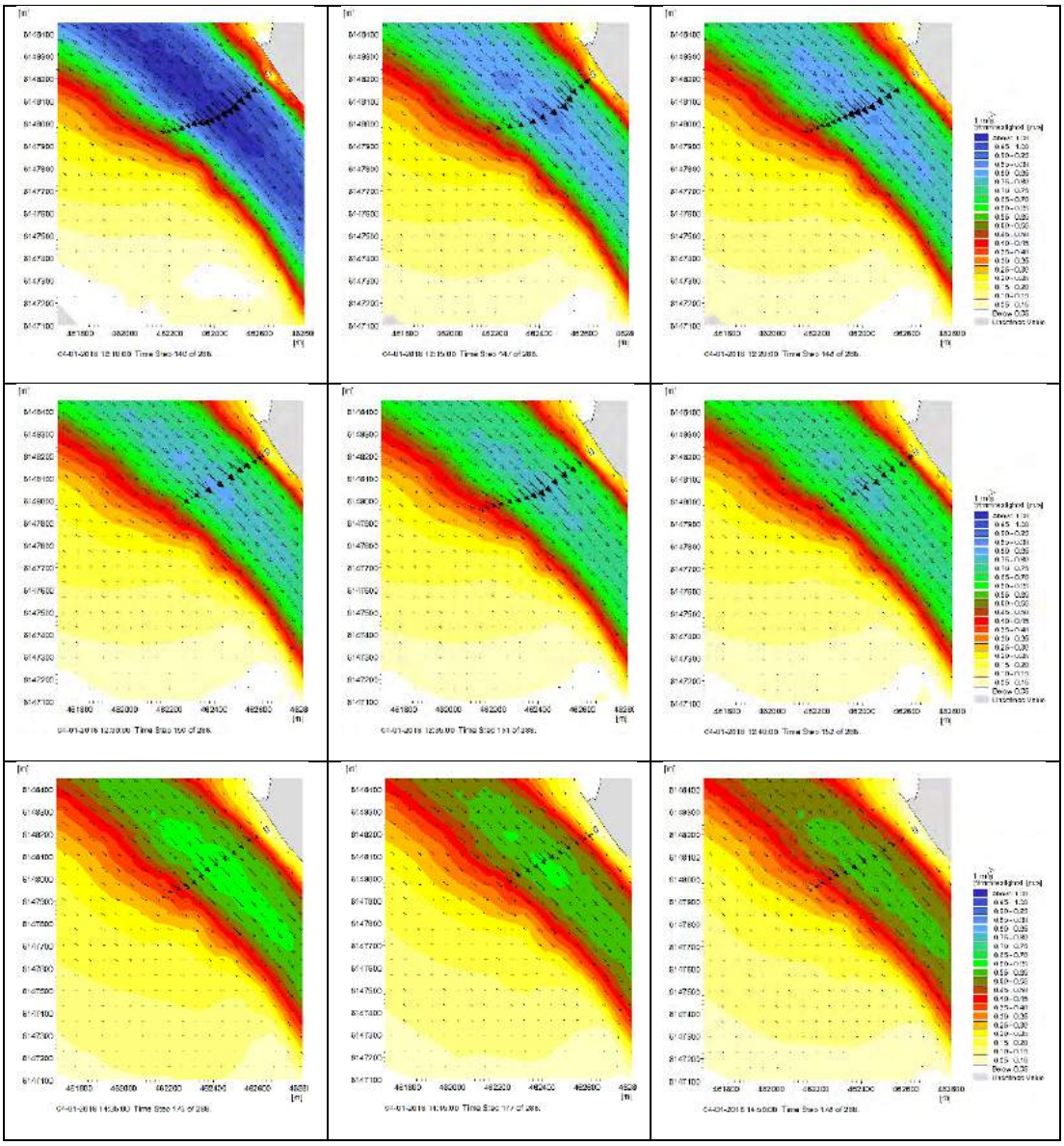
Figur 6-16 Udsnit af målt og beregnet strøm ved Østhavn.



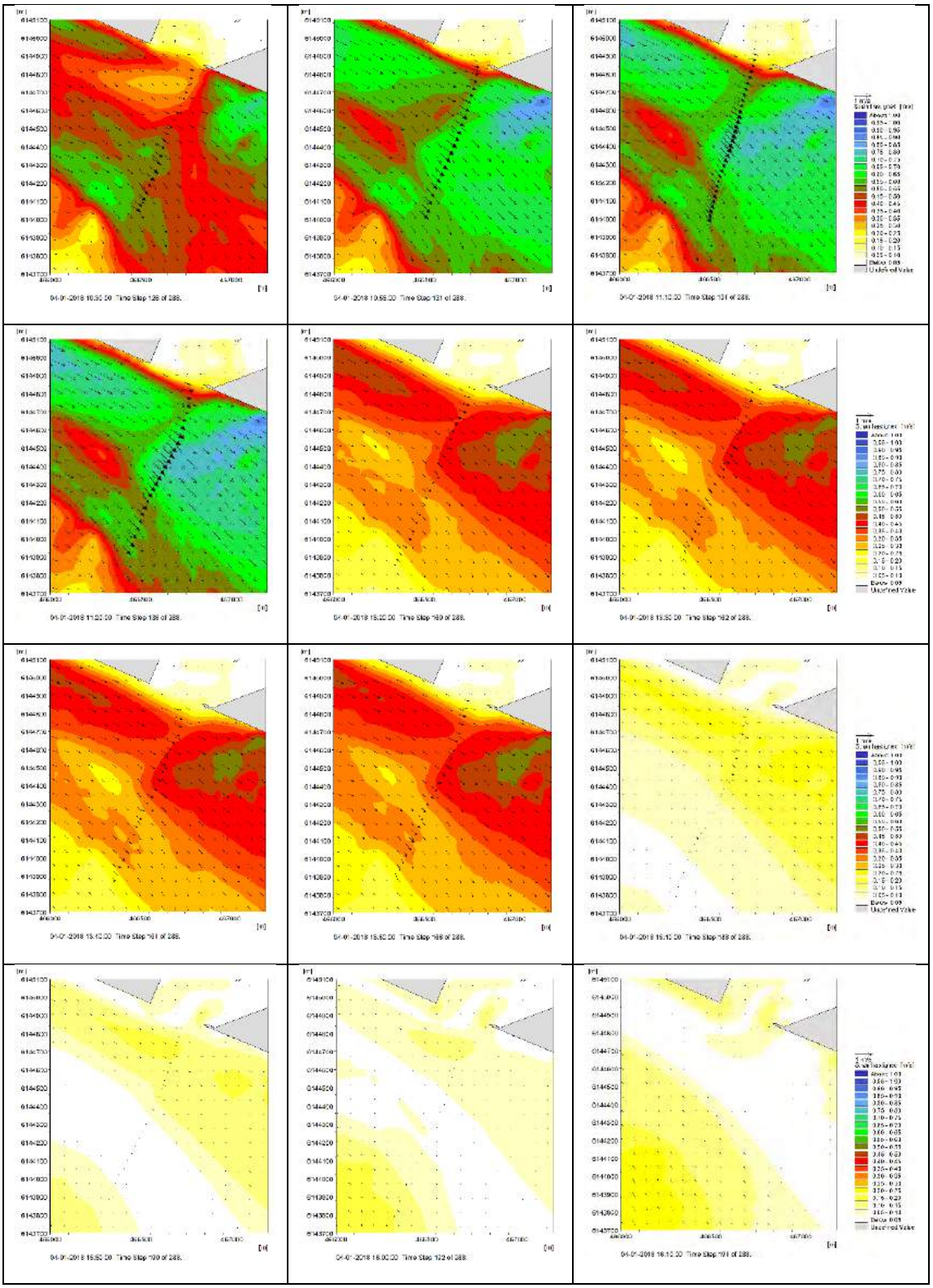
Figur 6-17 Udsnit af målt og beregnet strøm i Knudedyb.

Nedenfor er der desuden vist en sammenligning af beregnede strømfelter og opmålte strømhastighedsprofiler (transekter) målt den 4. januar 2018 ved Diffuser og Østhavn. De målte data er beskrevet i afsnit 4.3.1.

Resultaterne viser, at modellen på tilfredsstillende vis repræsenterer de observerede strømforhold i Grådyb og Knudedyb tidevandsområde.



Figur 6-18 Strømfelter og transektmålinger 4. januar 2018 ved Diffuser.



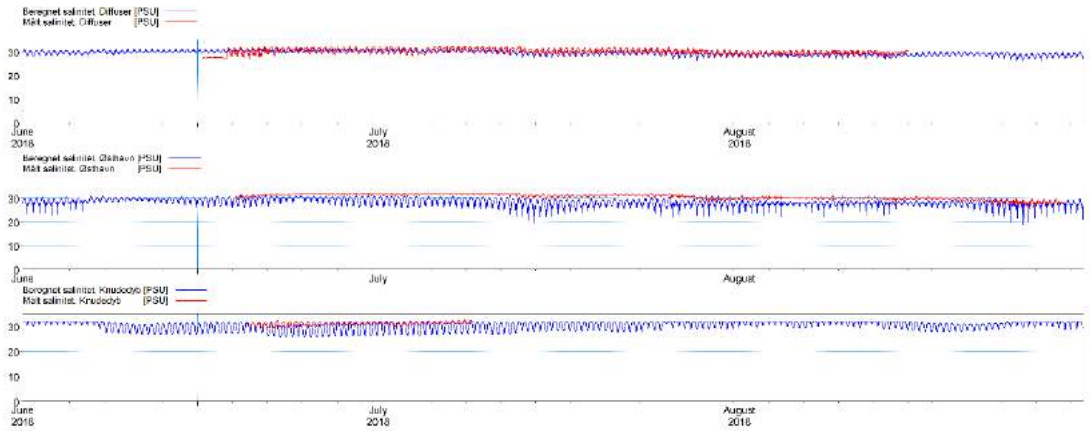
Figur 6-19 Strømfelter og transektmålinger 4. januar 2018 ved Østhavn.

6.5 Saltholdighed

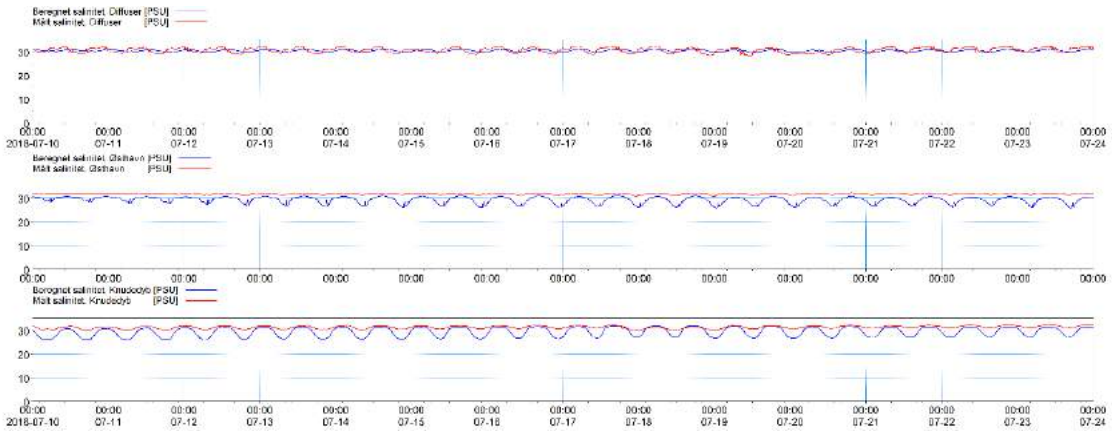
Der er målt saltholdighed ved Diffuser, Østhavn og Knudedyb i sommerperioden 2018. Ved Diffuser er målingerne fra cirka midt i vandsøjlen, mens den ved Østhavn og i Knudedyb er målt omkring 0,5-1 meter over bunden. Da der er en svag vertikal variation af saltholdigheden over dybden, vil målingerne i Knudedyb og ved Østhavn repræsentere en højere værdi end dybdemidlet værdi, mens målingerne ved Diffuser er et godt bud på dybdemidlet værdi.

Nedenfor er der vist tidsserier med sammenligning af målt og beregnet saltholdighed.

Den beregnede saltholdighed repræsenterer hele vandsøjlen (2D), mens målingerne repræsenterer forhold i et givet niveau over bunden. Variationerne ved bunden er mindre end ved overfladen, hvor udvekslingen mellem havvand og afstrømning fra oplandet er størst. En anden ting, som påvirker modellens saltholdighed, er beskrivelsen for tilførsel af ferskvand. I modellen tilføres ferskvandet jævnt på basis af en døgnmidlet værdi. R tilføres der kun ferskvand i de perioder, hvor vandstanden bag ved sluseportene er højere end i tidevandsområdet og de dermed kan holdes åbne. Afstrømningen fra Varde Å er ikke styret af en sluseport.



Figur 6-20 Sammenligning af målt og beregnet saltholdighed ved Diffuser, Østhavn og Knudedyb for sommerperioden – fuld simulerings periode.



Figur 6-21 Sammenligning af målt og beregnet saltholdighed ved Diffuser, Østhavn og Knudedyb for sommerperioden – 14 dages delperiode.

Det fremgår, at saltholdighedens niveau overordnet set er tilfredsstillende i modellen, mens den daglige variation er overvurderet i modellen. Det skal bemærkes, at modellering af saltholdighed normalt er væsentligt sværere end f.eks. modellering af vandstand og strøm, da saltholdigheden i højere grad afhænger af historikken og dermed af det anvendte initialfelt for saltholdighed ved model start. Pga. det begrænsede antal målinger tilgængelige for at kunne sammensætte et repræsentativt initialfelt er det svært at opnå en god overensstemmelse. Da nærværende studie primært drejer sig om påvirkninger af Etape 5 udbygningen, som kan beskrives ved *ændringer* mellem baseline- og layoutforhold, er en præcis absolut beskrivelse af initialfeltet og deraf præcis beskrivelse af variationen i saltholdighed mindre væsentlig.

Yderlig information om variationen i saltholdighed findes med udgangspunkt i de 12 stationer benævnt i Figur 4-30. I to af stationerne B7 og K3 findes der målinger til verifikation af modellen, men da de er placeret udenfor eller på grænsen til tidevandsområdet, er de i stedt blevet brugt til at fastlægge modellens randbetingelse for saltholdighed. En gennemgang af modellens beskrivelse af sæsonmæssige og tidevandsskabte saltholdighedsvariationer viser, at der generelt set er en god overensstemmelse mellem modellen og målinger. Eneste undtagelse er station G4, som er placeret i et havnebassin. Saltudvekslingen med havnebassinerne styres primært af densitetsdrevne strømme, som ikke kan opløses med en dybdemidlet modelbeskrivelse. Når strømningen forbi havnebassinets munding har en højere saltholdighed end vandet i havnebassinet, skabes der en tung bundstrøm som er rettet ind i havnebassinet, og en udadrettet overfladestrøm. Den omvendte cirkulation finder sted, når strømningen forbi havnebassinets munding har en lavere saltholdighed end vandet i havnebassinet. Uden for havnebassinerne er saltet tilnærmelsesvis fuldt opblandet vertikalt, hvilket betyder at det kan beskrives med en dybdemidlet model.

7 Baseline forhold

7.1 Stormflod med ekstremvandstand

Stormflod med ekstremvandstand optræder kun med års mellemrum og er derfor ikke indeholdt i den valgte vinter- og sommerperiode. Det er derfor valgt at tage udgangspunkt i den værste hændelse som er observeret i løbet af måleperioden med vandstandsdata fra Grådybmåleren (2007-2018). I Kystdirektoratets højvandsstatistik, Ref. /10/, er de 20 værste stormflodshændelser i perioden 1874-2018 angivet, jf. Figur 7-1. Af oversigten kan det identificeres, at stormen Bodil 5. december 2013 udgør den værste hændelse i perioden med vandstandsdata. Hændelsen er opgjort som værende den 13. værste hændelse i løbet af de seneste 145 år. De angivne vandstande er angivet som værende trendfri, hvilket betyder at de er opgjort med reference til år 1990 og derfor korrigeret for effekter af landhævning og havspejlsstigning. Den faktisk målte vandstand under stormen Bodil er derfor 6 cm højere end den i oversigten angivne trendfri vandstand.

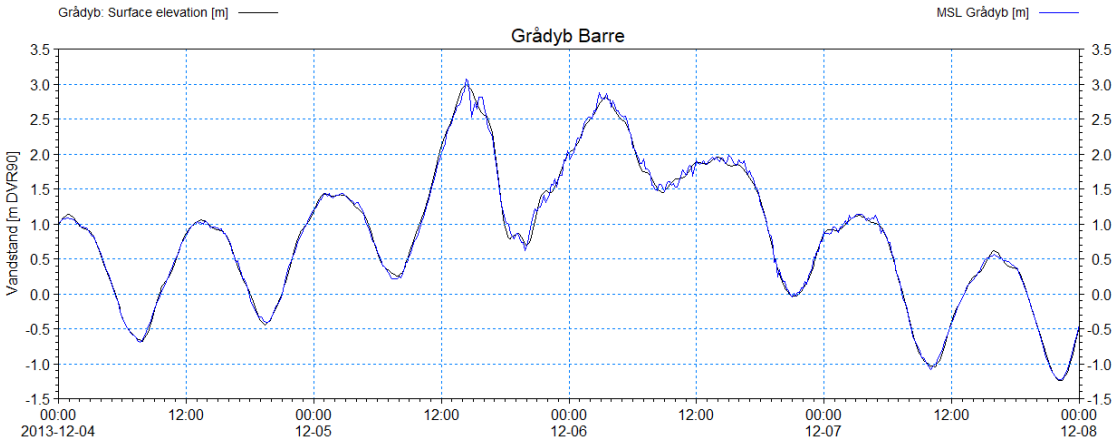
Højeste registrerede vandstande i cm [trendfri]

24. november 1981	423	9. januar 1991	370	6. november 1911	346	17. februar 1916	333
26. januar 1990	402	30. august 1923	367	3. januar 1976	346	8. januar 2005	330
24. november 1928	396	15. januar 1968	366	5. december 2013	337	6. november 1985	325
3. december 1909	389	6. december 1911	357	27. februar 1990	336	25. oktober 1881	323
3. december 1999	378	24. november 1938	350	27. oktober 1936	335	21. januar 1976	321

Figur 7-1 Oversigt visende de historisk værste højvandshændelser i Esbjerg i perioden 1874-2018 Ref. /10/.

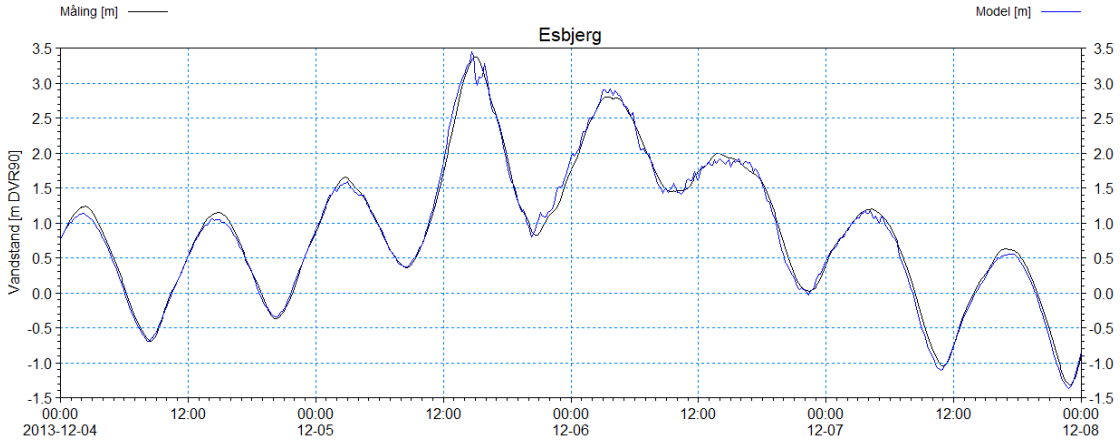
I Kystdirektoratets højvandsstatistik er der også værdier for Grådyb Barre, Mandø og Ribe Kammersluse. Under hændelsen blev der registreret vandstande på 2,98 m DVR90 ved Grådyb Barre, 3,43 m DVR90 ved Esbjerg, 3,84 m DVR90 ved Mandø og 4,04 m DVR90 ved Ribe Kammersluse.

Stormen Bodil er blevet modelleret og kalibreret med udgangspunkt i vandstandsvariationen ved Grådyb Barre. En sammenligning af målt og modelleret vandstand er vist i Figur 7-2. Det ses, at der er en meget fin overensstemmelse mellem målinger og model.



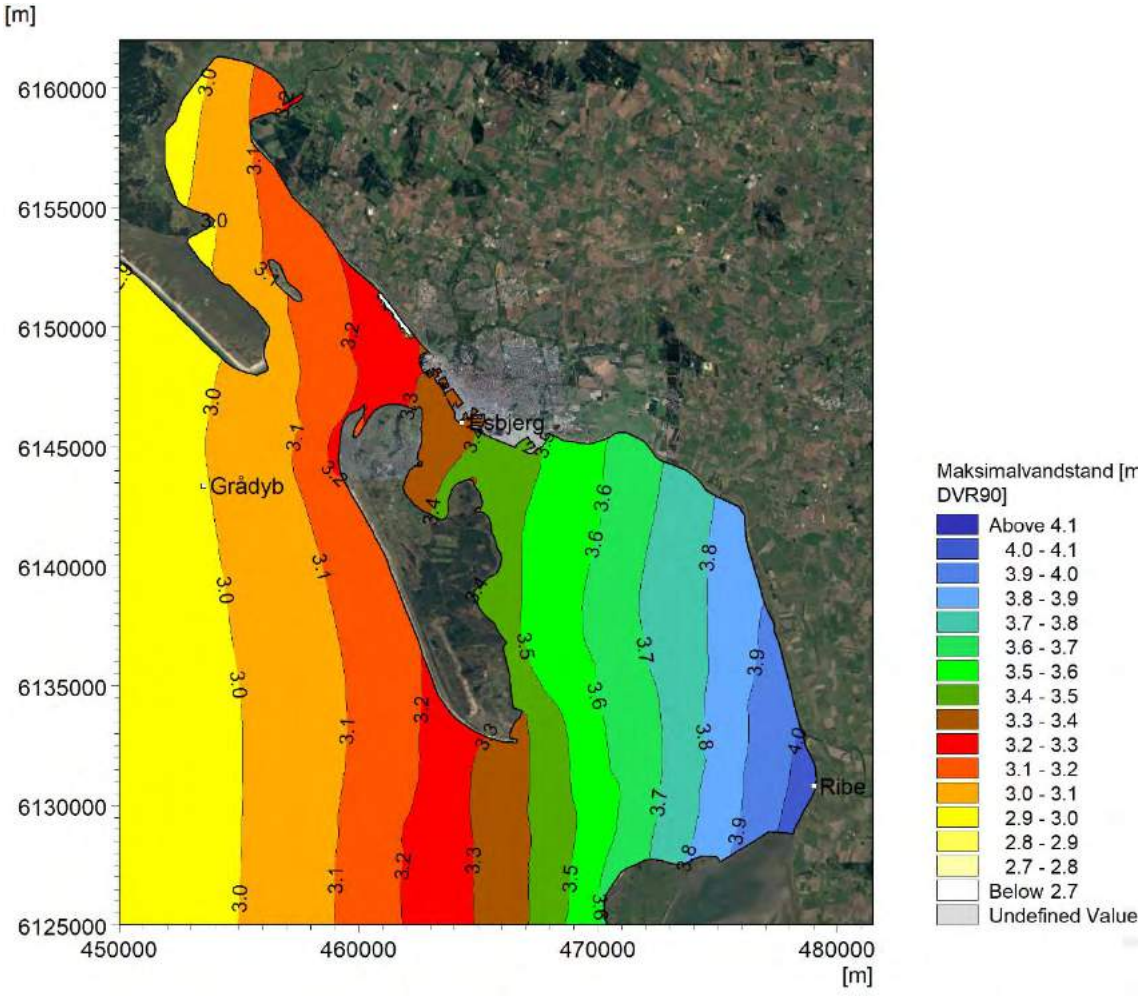
Figur 7-2 Sammenligning af målt og modelleret vandstand ved Grådyb Barre under stormen Bodil.

I Figur 7-3 er den ved Esbjerg målte og modellerede vandstand sammenlignet, også her er der god overensstemmelse mellem målinger og model.



Figur 7-3 Sammenligning af målt og modelleret vandstand i Esbjerg Havn under stormen Bodil.

Der er en tidsforskydning på 20 minutter imellem tidspunktet hvor den højeste vandstand optræder ved Grådyb Barre og i Esbjerg. For at vise ekstremvandstanden under hændelsen i hele tidevandsområdet er man derfor nødt til at lave en statistisk analyse, hvor man udtrækker den i løbet af hændelsen højeste værdi i hvert enkelt beregningselement. Resultatet af denne analyse er vist i Figur 7-4. Det ses, at ekstremværdierne er i meget fin overensstemmelse med de i Kystdirektoratets statistik angivne vandstande.



Figur 7-4 Modelleret maksimal vandstand under stormen Bodil 5. december 2013.

For eksempel finder vi med udgangspunkt i modellen følgende ekstremvandstande:

- Grådyb Barre: Måling 2,98 m DVR90, Model 2,99 m DVR90 – afvigelse 0,01 m
- Esbjerg Havn: Måling 3,43 m DVR90, Model 3,38 m DVR90 – afvigelse 0,05 m
- Ribe Kammersluse: Måling 4,04 m DVR90, Model 4,05 m DVR90 – afvigelse 0,01 m

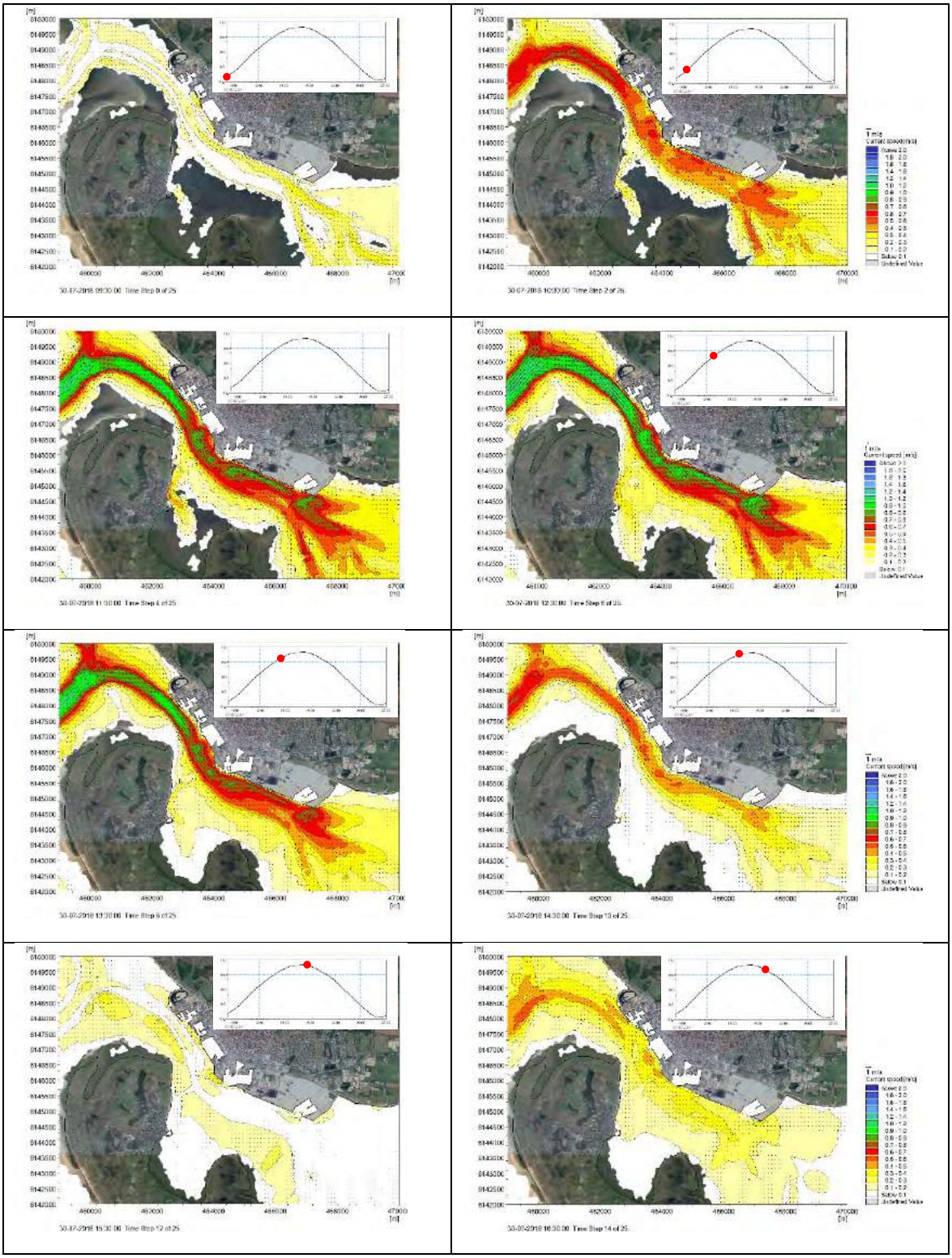
Modellen må derfor anses som værende særdeles velegnet til at kunne beskrive udbygningens betydning for ændringer i stormflodniveauer.

7.2 Generelle strømforhold

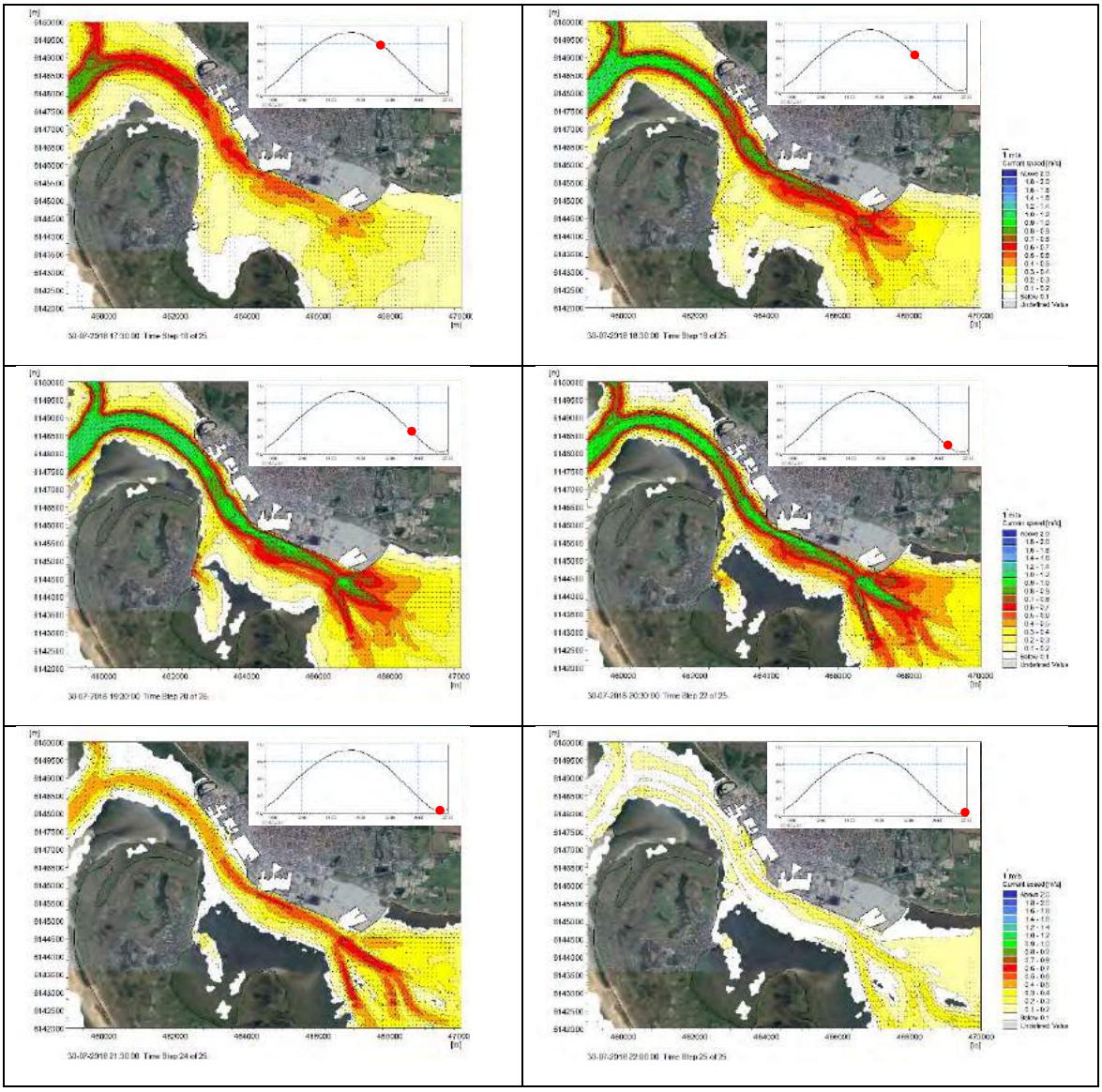
De generelle strømforhold langs med Esbjerg Havn er styret af tidevandet, samt af de vindstuvninger eller vindsænkninger som større vejrsystemer skaber i den sydøstlige del af Nordsøen (Vadehavet). I dette afsnit beskrives de typiske strømforhold, samt situationer med ekstrem flod- og ebbestrøm.

7.2.1 Normale tidevandsforhold

Langt størstedelen af året er strømforholdene i Grådyb og Knudedyb tidevandsområdet påvirket af tidevandsvariationer uden større påvirkning fra vindstuvninger eller vindsænkninger i Vesterhavet og særligt i sommerhalvåret. Tidevandet har en periode på 12,5 timer og typisk en vandstandsvariation på lidt under 2 meter. Figur 7-5 og Figur 7-6 viser strømfeltets variation igennem en typisk tidevandsperiode. Det ses, at der næsten ingen strøm er i forbindelse med lavvande og højvande. Ebbestrømmen er generelt lidt kraftigere end flodstrømmen, særligt i sejlrenden langs med havnen. I Grådyb er forskellen noget mindre. I den viste tidevandscyklus, når flodstrømmen op på strømhastigheder af størrelsesordenen 90 cm/s i området foran havnen, mens ebbestrømmen når strømhastigheder lidt over 100 cm/s. I Grådyb er tidevandsstrømmen lidt kraftigere og når strømhastigheder op mod 120 cm/s.



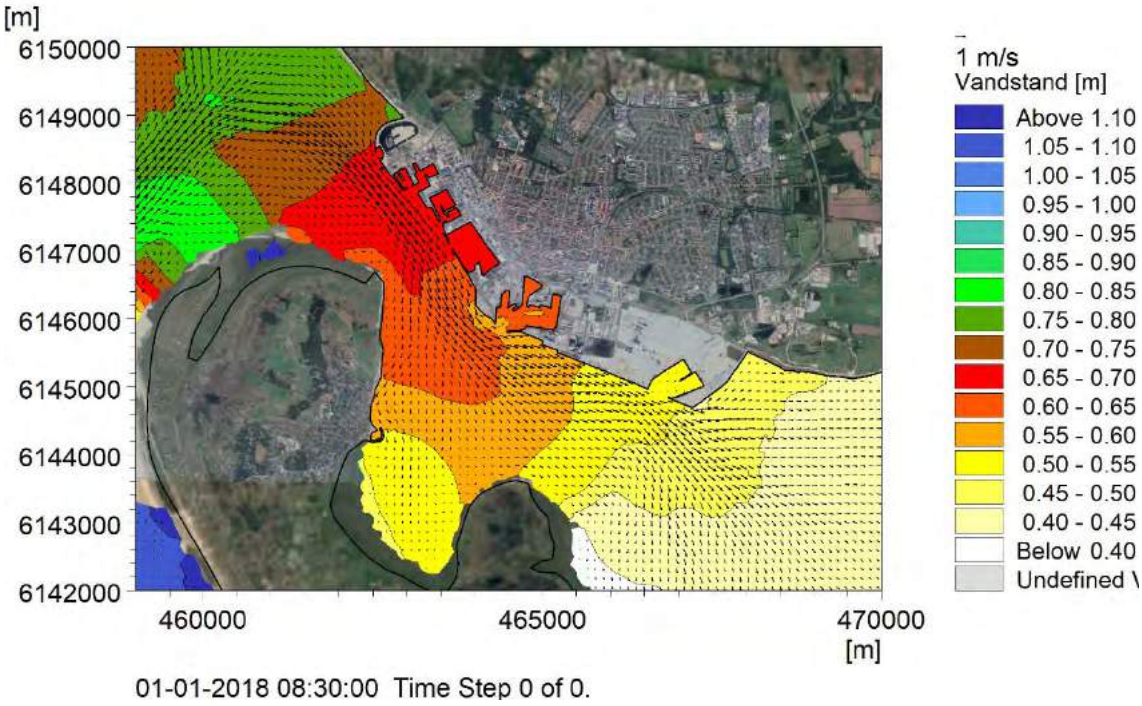
Figur 7-5 Strømfelter med stigende vandstand 30. juni 2018 kl. 9:30, 10:30, 11:30, 12:30, 13:30 og 14:30, og faldende vandstand kl.15:30 og 16:30 (UTC-tid).



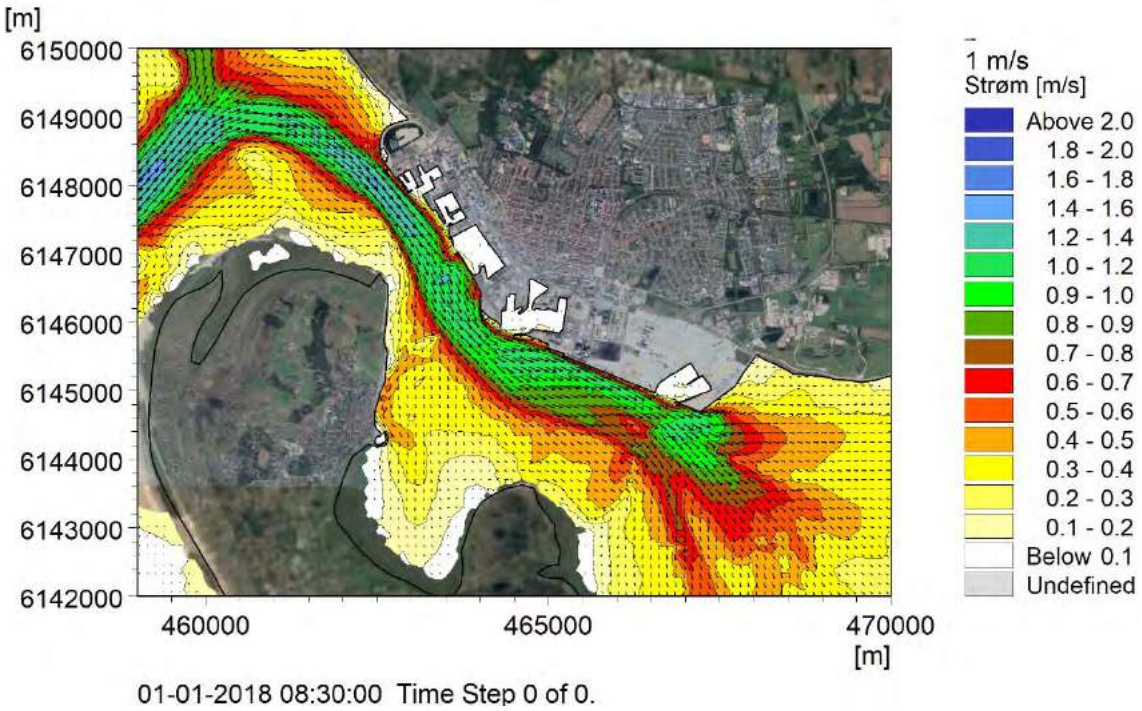
Figur 7-6 Strømfelter med faldende vandstand 30. juni 2018 kl. 17:30, 18:30, 19:30 og 20:30, og stigende vandstand kl.21:30 og 22:00 (UTC-tid).

7.2.2 Forhold med ekstrem flodstrøm

I hovedparten af året er tidevandsstrømmen som beskrevet i foregående afsnit, men der kan forekomme enkelte hændelser, hvor flodstrømmen er forstærket. Hændelserne optræder i forbindelse med stærkt stigende tidevand overlejret af en vindgenereret forstærkning af stigningsraten. Et eksempel på sådan en hændelse finder vi den 1. januar 2018 kl. 8:30 (UTC-tid). Strømhastighederne er knyttet til og drevet af vandstandsniveauer og vandstandsforskelle. Figur 7-8 viser strømfeltet hørende til situationen med kraftig flodstrøm, mens Figur 7-7 viser den tilknyttede vandstandsfordeling. Det ses, at der i den givne situation er en vandspejlsforskel på cirka 35 cm mellem Østhavn og Grådyb. De viste strømforhold er udtryk for et øjebliksbillede, hvor strømmen er kraftigst i sejlrenden langs med havnen. I Grådyb peaker flodstrømmen cirka en time tidligere. Strømhastighederne varierer for den givne situation med mellem 100-115 cm/s på strækningen mellem Sønderhavn og Østhavn. På samme strækning varierer den under mere normale forhold med mellem 85-95 cm/s. Forstærkningen af flodstrømmen ses derfor at være relativ begrænset.



Figur 7-7 Vandstandsforhold under en situation med kraftig flodstrøm (1. januar 2018 kl. 8:30, UTC).

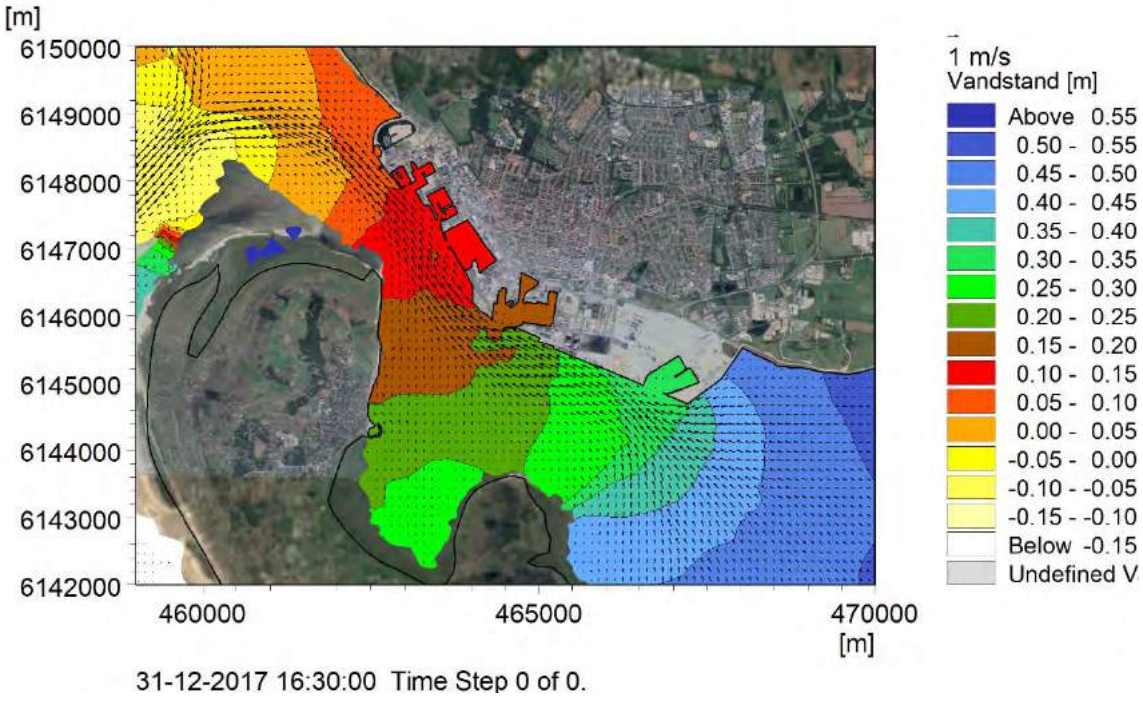


Figur 7-8 Strømfeltet hørende til en situation med kraftig flodstrøm (1. januar 2018 kl. 8:30, UTC).

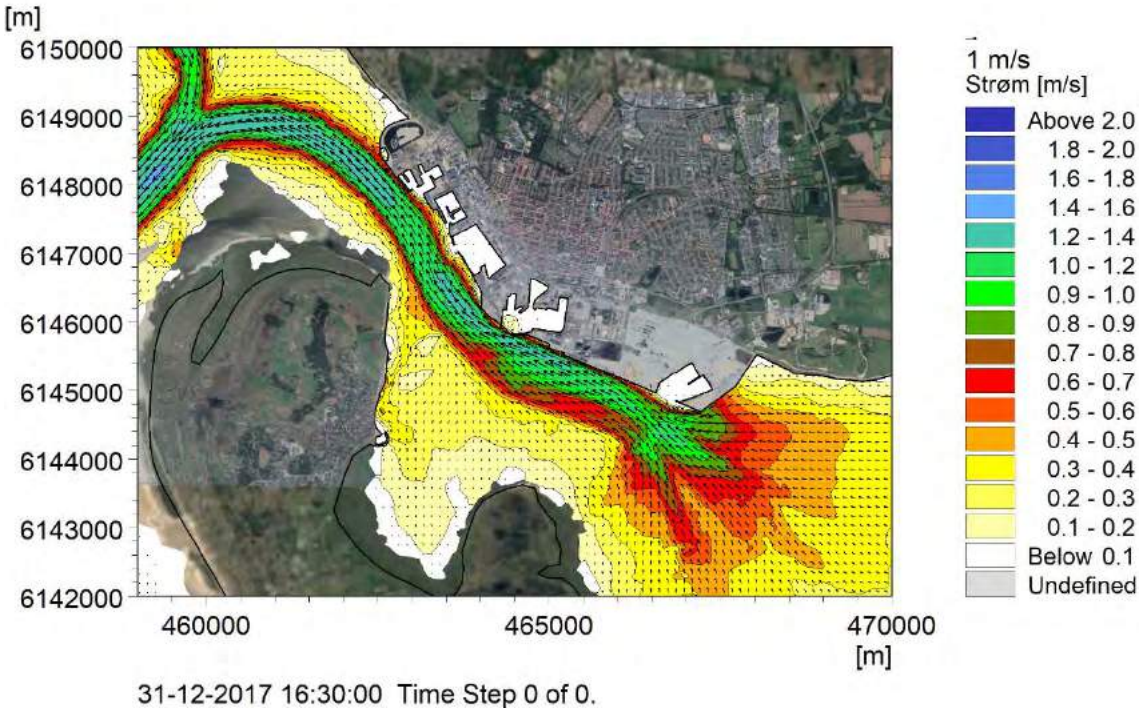
7.2.3 Forhold med ekstrem ebbestrøm

Hændelser med forstærket ebbestrøm optræder i forbindelse med hurtigt faldende tidevand overlejret af en vindgenereret forstærkning af reduktionsraten. Et eksempel på sådan en hændelse finder vi den 31. december 2017 kl. 16:30 (UTC-tid). Strømhastighederne styres af vandspejlsgradienten og for den givne strømningssituation finder man en vandspejlsforskel på

cirka 43 cm mellem Østhavn og Grådyb, jf. Figur 7-9. Strømhastighederne varierer for den givne situation med mellem 100-130 cm/s på strækningen mellem Sønderhavn og Østhavn. På samme strækning varierer den under mere normale forhold med mellem 85-100 cm/s. Forstærkningen af ebbestrømmen ses derfor at være lidt større end for flodstrømmen.



Figur 7-9 Vandstandsforhold under en situation med kraftig ebbestrøm (31. december 2017 kl. 16:30, UTC).

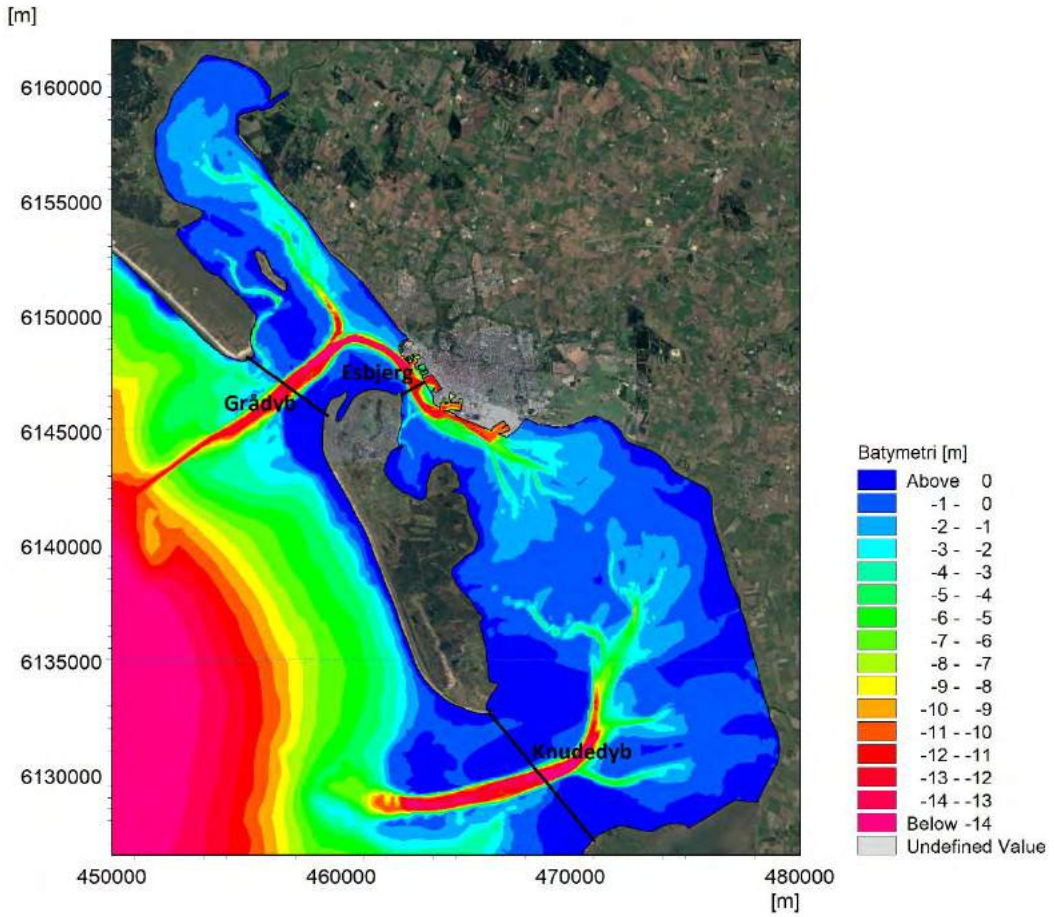


Figur 7-10 Strømfeltet hørende til en situation med kraftig ebbestrøm (31. december 2017 kl. 16:30, UTC).

Gennemgangen af strømforholdene under typiske tidevandsforhold og i situationer med henholdsvis ekstrem flodstrøm og ekstrem ebbestrøm giver et klart billede af, at tidevandet er af primær betydning, mens vindstuvninger og vindsænkninger er af sekundær betydning for de generelle strømforhold i tidevandsområdet.

7.3 Vandbalance

Etapeudbygningen vil påvirke vandbalancen i Grådyb og Knudedyb tidevandsområde, idet strømforholdene ændres lokalt og tidevandsvolumenet reduceres som følge af opfyldningen på vand. Til belysning af den nuværende vandbalance er der defineret tre tværsnit placeret ved henholdsvis Grådyb, Knudedyb og ved Esbjerg. De tre tværsnits placering er indikeret i Figur 7-11.

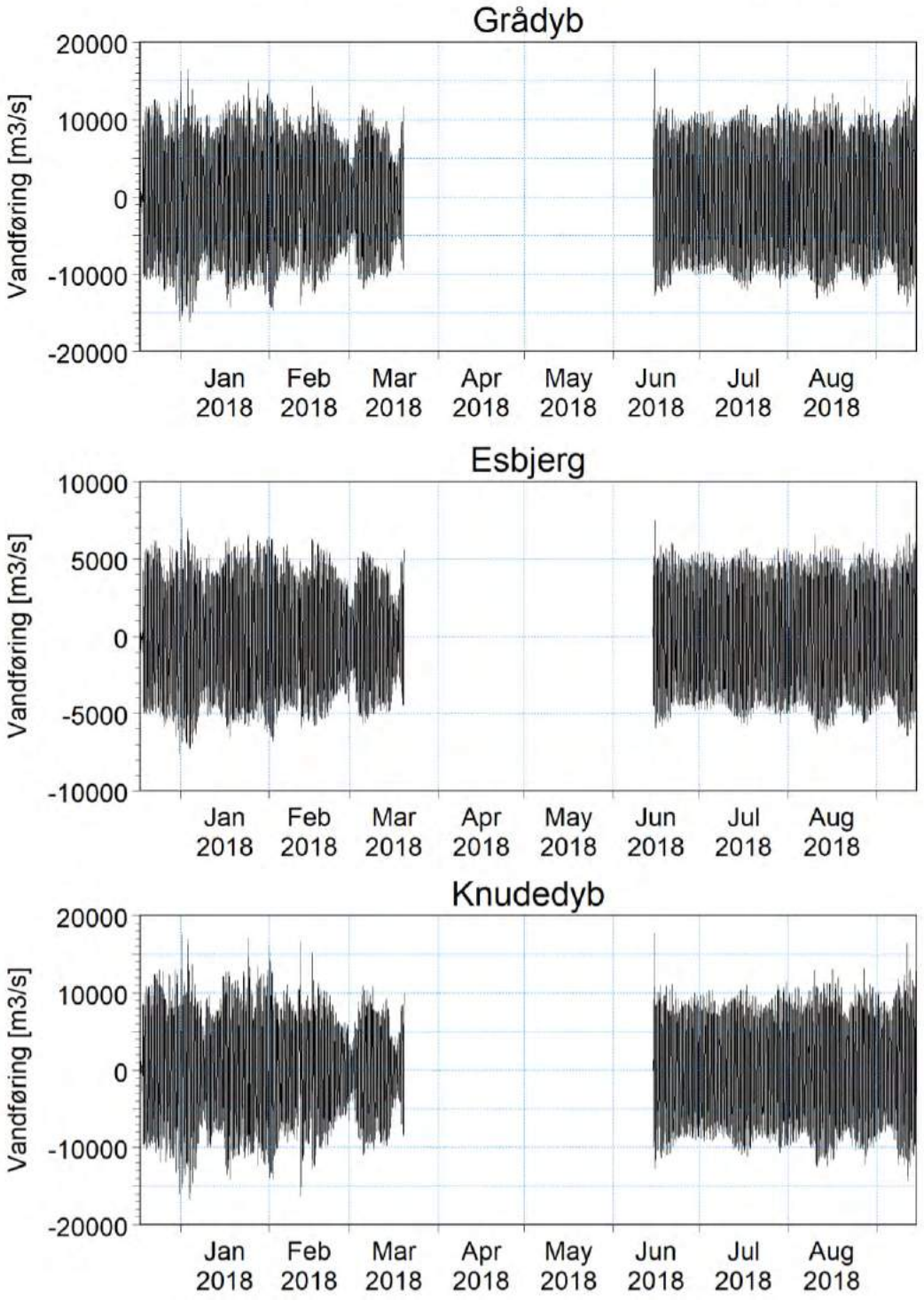


Figur 7-11 Definerede tværsnit ved Grådyb, Esbjerg og Knudedyb.

7.3.1 Vandføring

Vandføringen ind og ud af tidevandsområdet varierer med amplituden af tidevandet og vandstandsniveauet. I perioder med en generel sænkning af vandstandsniveauet vil vandføringerne reduceres, som følge af et reduceret område med vanddække, mens den ved forhøjet vandstandsniveau vil være forstærket. De modellerede vandføringer i vinter og sommerperioden er vist for hver af de tre definerede tværsnit i Figur 7-12. Det ses, at der er større variationer i løbet af vinterperioden, set i forhold til sommerperioden, som følge af at der er væsentlig større udsving i det generelle vandstandsniveau i vinterhalvåret. Særligt er der en

periode midt i marts en periode med lave vandføringer, som er forårsaget af en kraftig østenvind og et dertil knyttet lavt middelvandstandsniveau i tidevandsområdet.



Figur 7-12 Vandføring gennem tværsnit ved Grådyb, Esbjerg og Knudedyb for den modellerede vinter- og sommerperiode.
Positive vandføringer angiver en indstrømning til tidevandsområdet.

Med udgangspunkt i de modellerede vandføringer er der i Tabel 7-1 angivet en række statistiske mål for vandføringerne i vinterperiode og tilsvarende i Tabel 7-2 for sommerperioden. Det ses, at nettovandføringer er større i vinterperioden, som følge af en større afstrømning, mens

bruttovandføringen er lidt mindre. At bruttovandføringen er mindre i vinterperioden, er lidt atypisk, men skyldes, at der i den pågældende periode har været meget østenvind og dermed et sænket middelvandstandsniveau i tidevandsområdet. I vinterperioden er middel ebbevandføring større end middel flodvandføring, mens det omvendte gør sig gældende i sommerperioden. Varigheden af ebbe er marginalt større end varigheden af flod. I begge perioder optræder den højeste vandføring i forbindelse med flod.

Tabel 7-1 Statistiske mål for vandføringer i vinterperioden.

Vinterperiode	Grådyb	Esbjerg	Knudedyb
Nettovandføring	-145 m^3/s	-113 m^3/s	53 m^3/s
Bruttovandføring	6.938 m^3/s	3.330 m^3/s	6.418 m^3/s
Middel flodvandføring	6.880 m^3/s	3.313 m^3/s	6.413 m^3/s
Største flodvandføring	16.524 m^3/s	7.658 m^3/s	17.627 m^3/s
Middel ebbevandføring	6.994 m^3/s	3.346 m^3/s	6.423 m^3/s
Største ebbevandføring	16.150 m^3/s	7.586 m^3/s	16.634 m^3/s
Floddomineret varighed	49,4 %	48,6 %	50,5 %
Ebbedomineret varighed	50,6 %	51,4 %	49,5 %

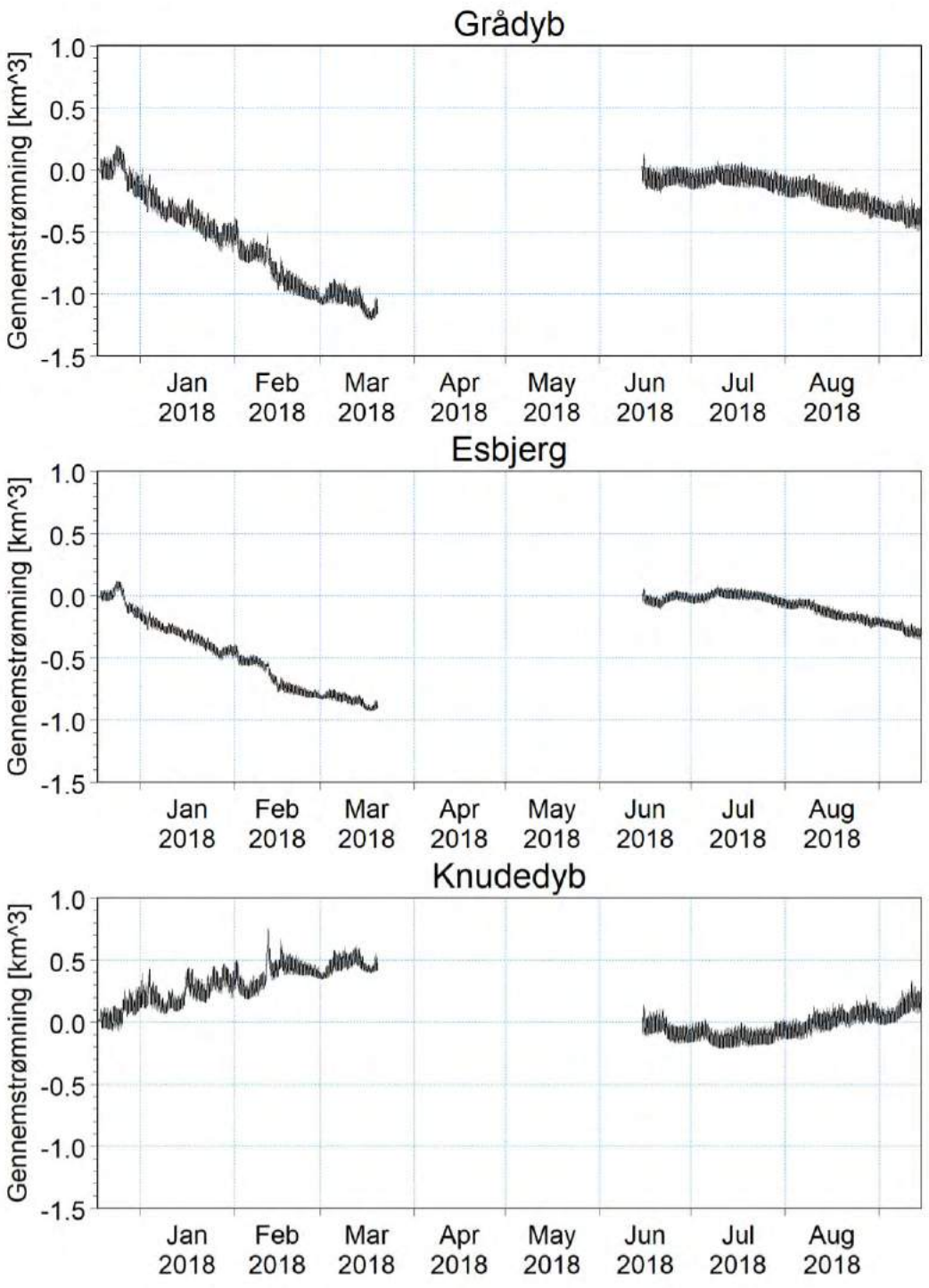
Tabel 7-2 Statistiske mål for vandføringer i sommerperioden.

Sommerperiode	Grådyb	Esbjerg	Knudedyb
Nettovandføring	-53 m^3/s	-40 m^3/s	18 m^3/s
Bruttovandføring	7.063 m^3/s	3.399 m^3/s	6.533 m^3/s
Middel flodvandføring	7.159 m^3/s	3.527 m^3/s	6.652 m^3/s
Største flodvandføring	14.867 m^3/s	6.630 m^3/s	16.350 m^3/s
Middel ebbevandføring	6.973 m^3/s	3.283 m^3/s	6.418 m^3/s
Største ebbevandføring	14.102 m^3/s	6.424 m^3/s	14.294 m^3/s
Floddomineret varighed	49,0 %	47,6 %	49,2 %
Ebbedomineret varighed	51,0 %	52,4 %	50,8 %

7.3.2 Gennemstrømning

Afstrømningen fra åerne indebærer, at der samlet set vil være en nettoafstrømning af vand fra Grådyb og Knudedyb tidevandsområde under et. Men da der er to åbninger, er det muligt for tidevandet og vinden at skabe en drift således, at der opstår en nettocirkulation øst om Fanø. Denne nettocirkulation er beskrevet ved gennemstrømningen, som angiver den integrerede nettovandføring over tid af et givet tværsnit. Nettovandføringen er beskrevet i forrige afsnit. Figur 7-13 viser tidsserier af gennemstrømningen i hver af de i Figur 7-11 tre definerede tværsnit for

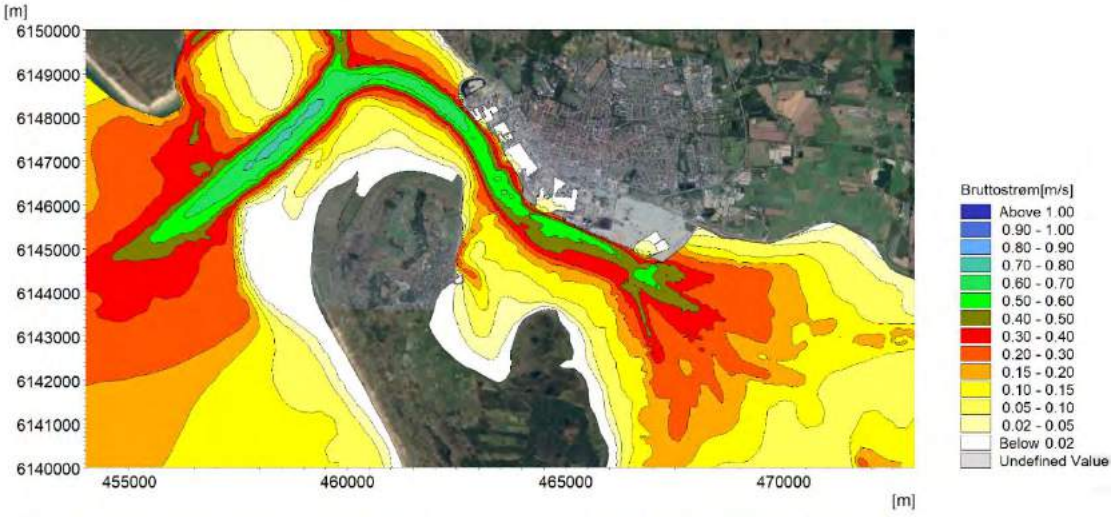
den modellerede vinter og sommerperiode. Positive gennemstrømningsværdier er udtryk for indstrømning til tidevandsområde, mens negative er udtryk for afstrømning. Det ses, at der i vinterperioden er en kraftigere nettocirkulation (drift), rettet mod uret, end i sommerperioden. Driften er større end afstrømningen fra land og må derfor relatere til en faseforskel i tidevandet ved Grådyb og Knudedyb.



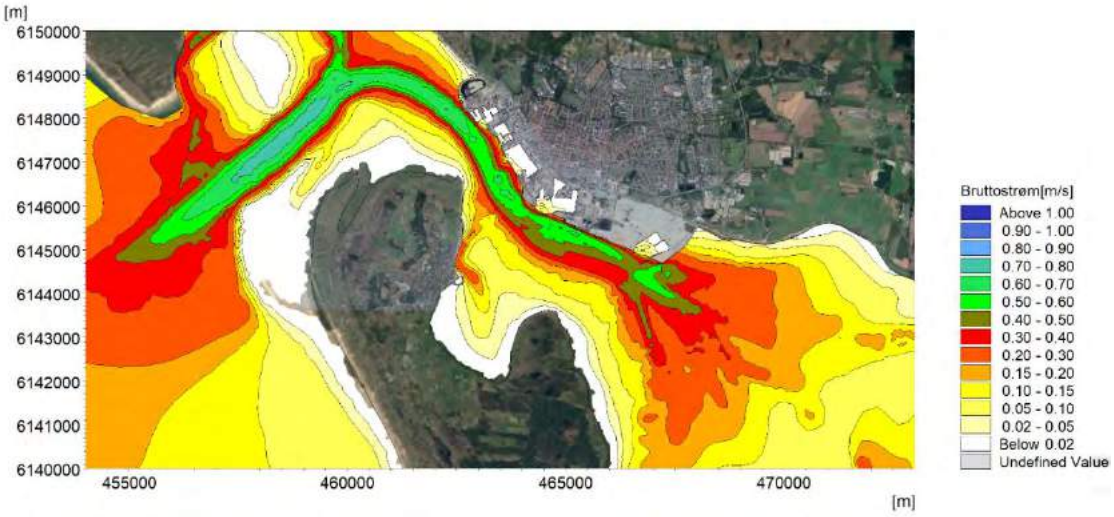
Figur 7-13 Akkumuleret vandføring gennem tværsnit ved Grådyb, Esbjerg og Knudedyb for vinter- og sommerperiode.
Positiv gennemstrømning svarer til indstrømning til tidevandsområdet.

7.3.3 Bruttostrøm, nettostrøm og vanddække

Bruttostrømmen, dvs. middelstrømmen uden hensyntagen til retning fortæller noget om hvilke områder som er udsat for meget dynamik, og som derfor vil mærke en høj bundforskydningsspænding. En gennemgang af historiske pejlinger viser, at der ikke er store morfologiske forandringer. Historiske ændringer er i høj grad relateret til forlængelse og uddybning af sejlrenden. I områder med kraftig bruttostrøm kræver det, at bunden består af mindre mobilt groft materiale (sand) eller stift ler, som er modstandsdygtigt overfor erosion. Generelt set vil et kort over bruttostrømmen give en indikation af bundmaterialets sammensætning, idet der vil være en tendens til at materialet bliver gradvist finere i takt med at bruttostrømmen falder. De beregnede bruttostrømme i vinterperioden er vist i Figur 7-14. Det ses, at den er størst i Grådyb, sejlrenden og i løbene. Bruttostrømmen svækkes ned mod tidevandsskellet, men bliver ikke nul, idet tidevandsskellet ikke har en statisk placering. Desuden er der en mindre effekt af nettocirkulationen i systemet.



Figur 7-14 Bruttostrøm for vinterperiode.

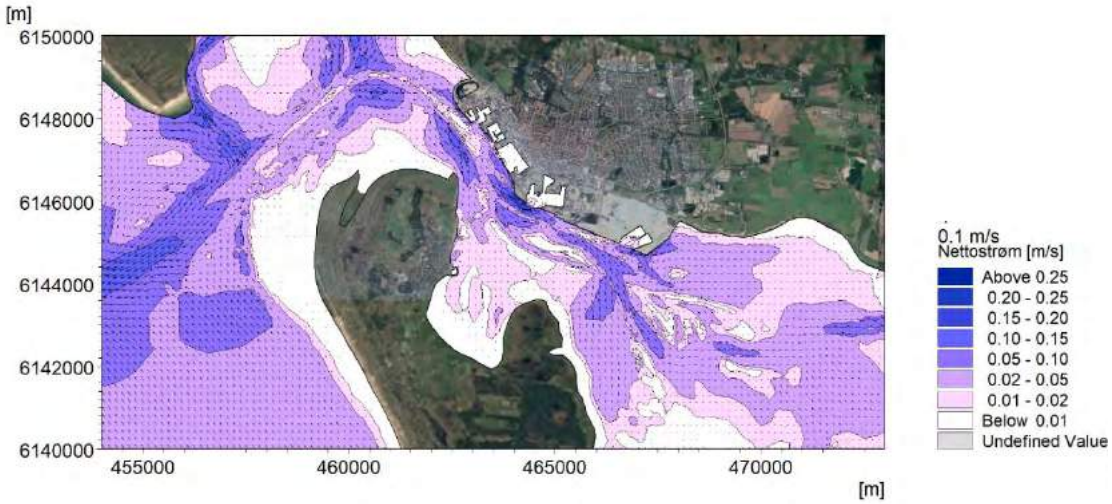


Figur 7-15 Bruttostrøm for sommerperiode.

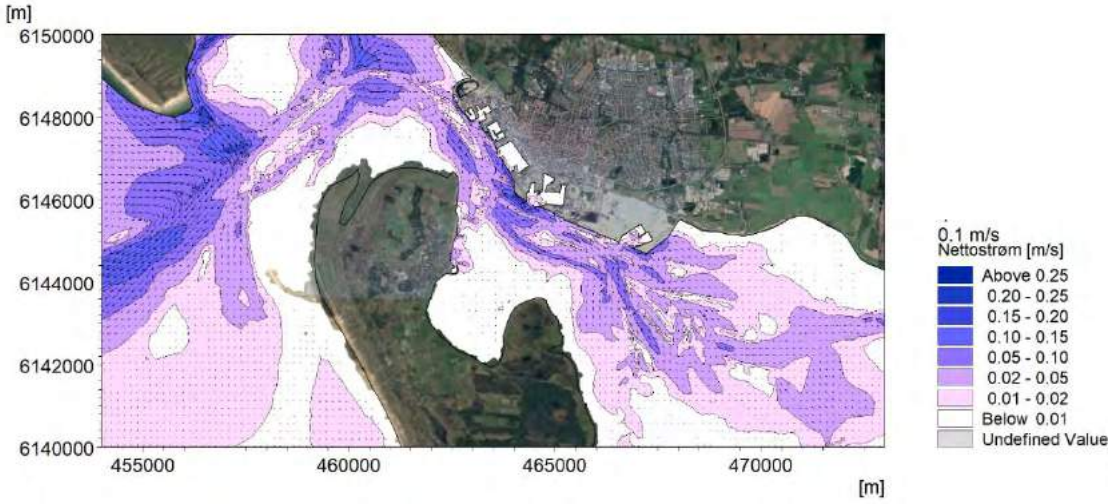
Figur 7-15 viser bruttostrømmen for sommerperioden. Det ses, at bruttostrømmen er marginalt kraftigere i sommerperioden, hvilket må anses som værende lidt atypisk. Årsagen til dette er som tidligere nævnt, at vinterperioden indeholder relativt lange perioder med østenvind og

sænket middelvandstandsniveau inde i tidevandsområdet. Den sænkede middelvandstand resulterer i et mindre tidevandsprisme som følge af, at området med dynamisk vanddække skrumper.

Bruttostrømmen findes ved at opfatte strømhastigheden som en skalar, mens nettostrømmen kan findes ved at beregne middel af strømhastighederne vektorielt. Nettostrømmen er et udtryk for den drift der er i systemet og vil derfor afspejle at systemet har en svag nettocirkulation af vand gennem Grådyb og Knudedyb rettet mod uret. Figur 7-16 viser den modellerede nettostrøm i vinterperioden og Figur 7-17 for sommerperioden. Det ses, at nettostrømmen er lidt kraftigere i vinterperioden end i sommerperioden, men at det overordnede billede er identisk.

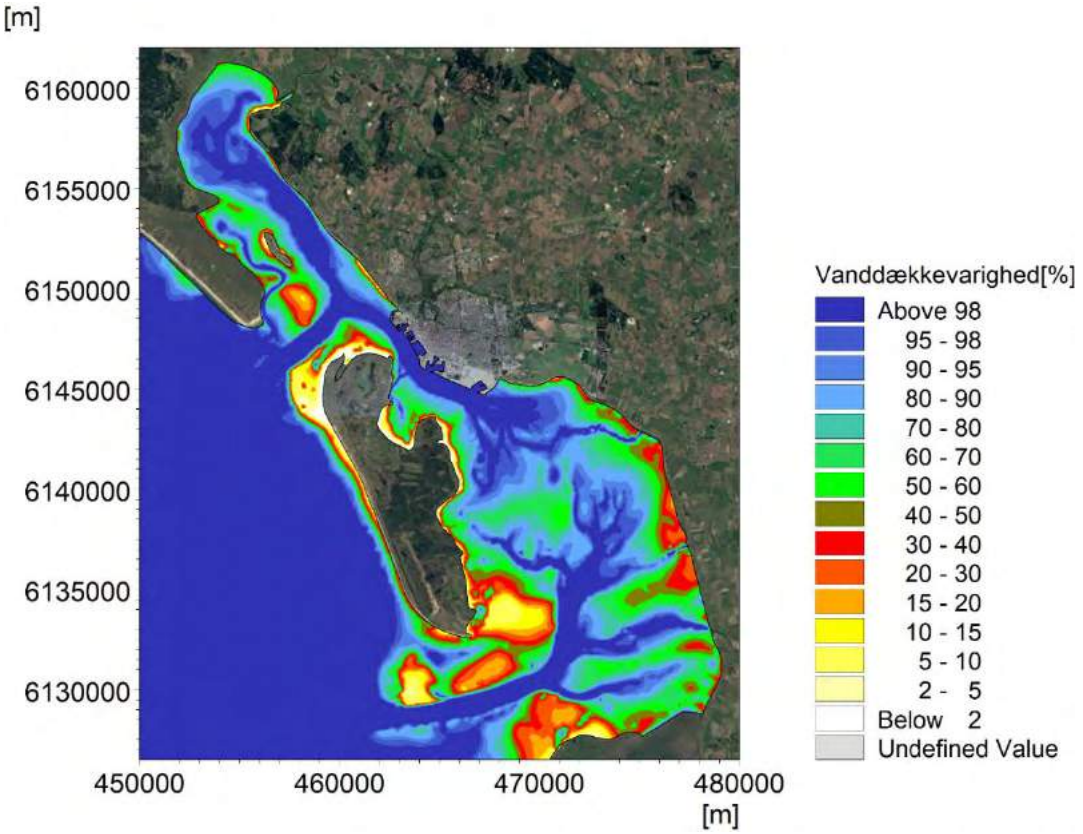


Figur 7-16 Nettostrøm for vinterperiode.

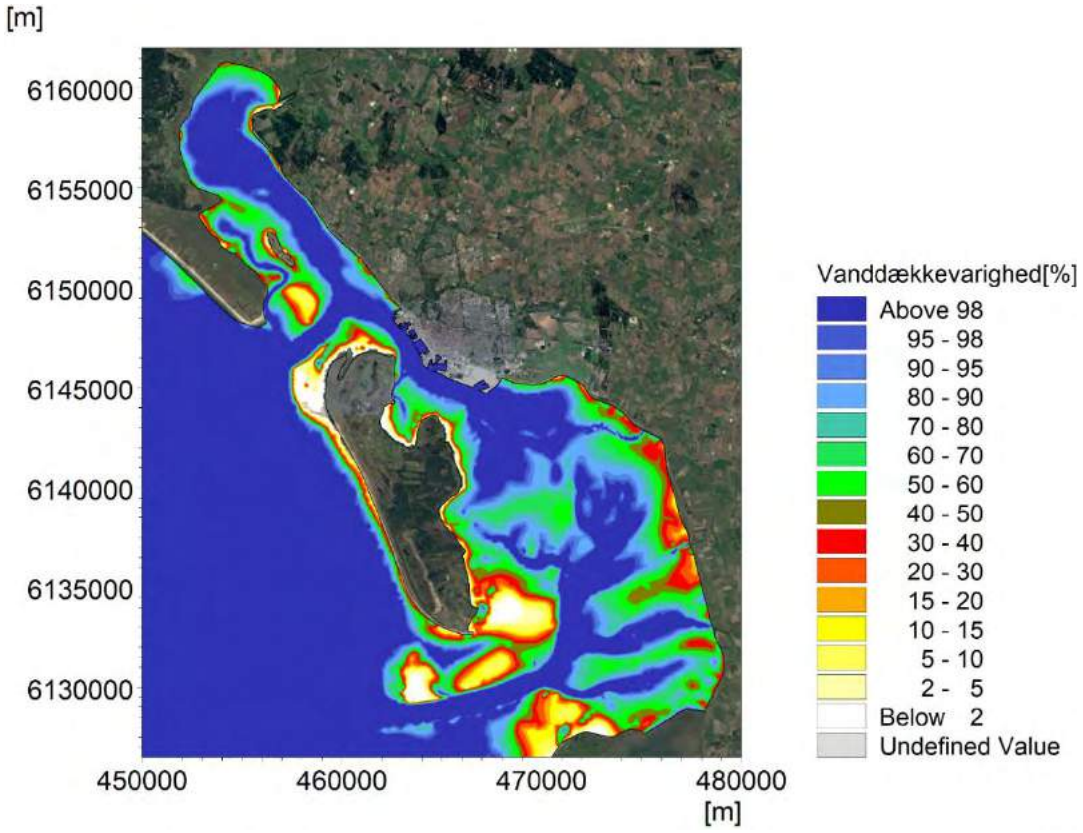


Figur 7-17 Nettostrøm for sommerperiode.

Varigheden af vanddække er ligeledes et mål for, hvor dynamisk påvirkning der er af et givet område. Den procentvise varighed med vanddække er beregnet for de to modelperioder og plottet i Figur 7-18 og Figur 7-19. I varighederne er det afspejlet at vandstandsniveauerne varierer væsentlig mere i vinterperioden end i sommerperioden. Dette er afspejlet ved at området med permanent vanddække er mindre i vinterperioden, mens området med ingen vanddække er større i sommerperioden.



Figur 7-18 Relativ varighed af vanddække gennem vinterperioden.



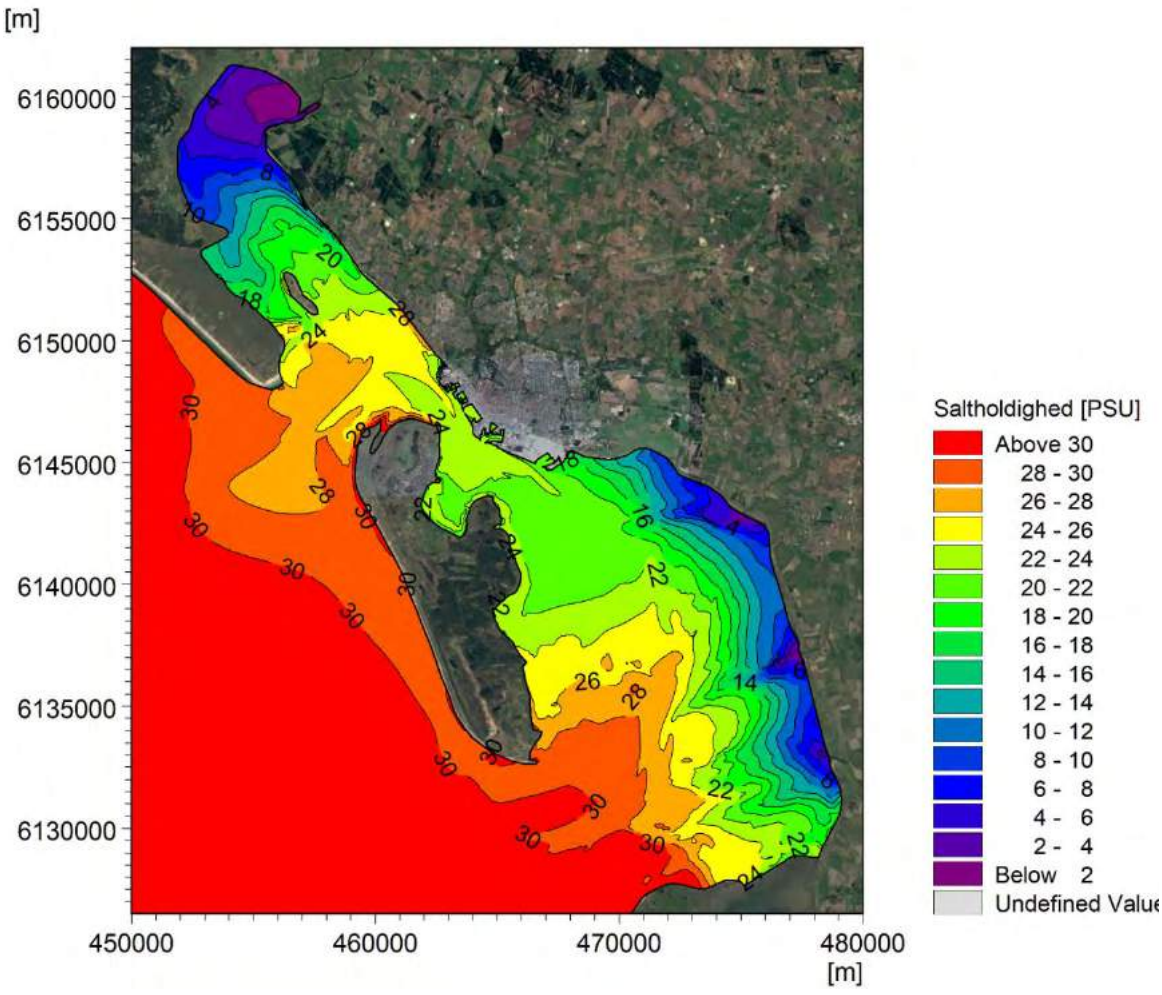
Figur 7-19 Relativ varighed af vanddække gennem sommerperioden.

7.4 Saltholdighed

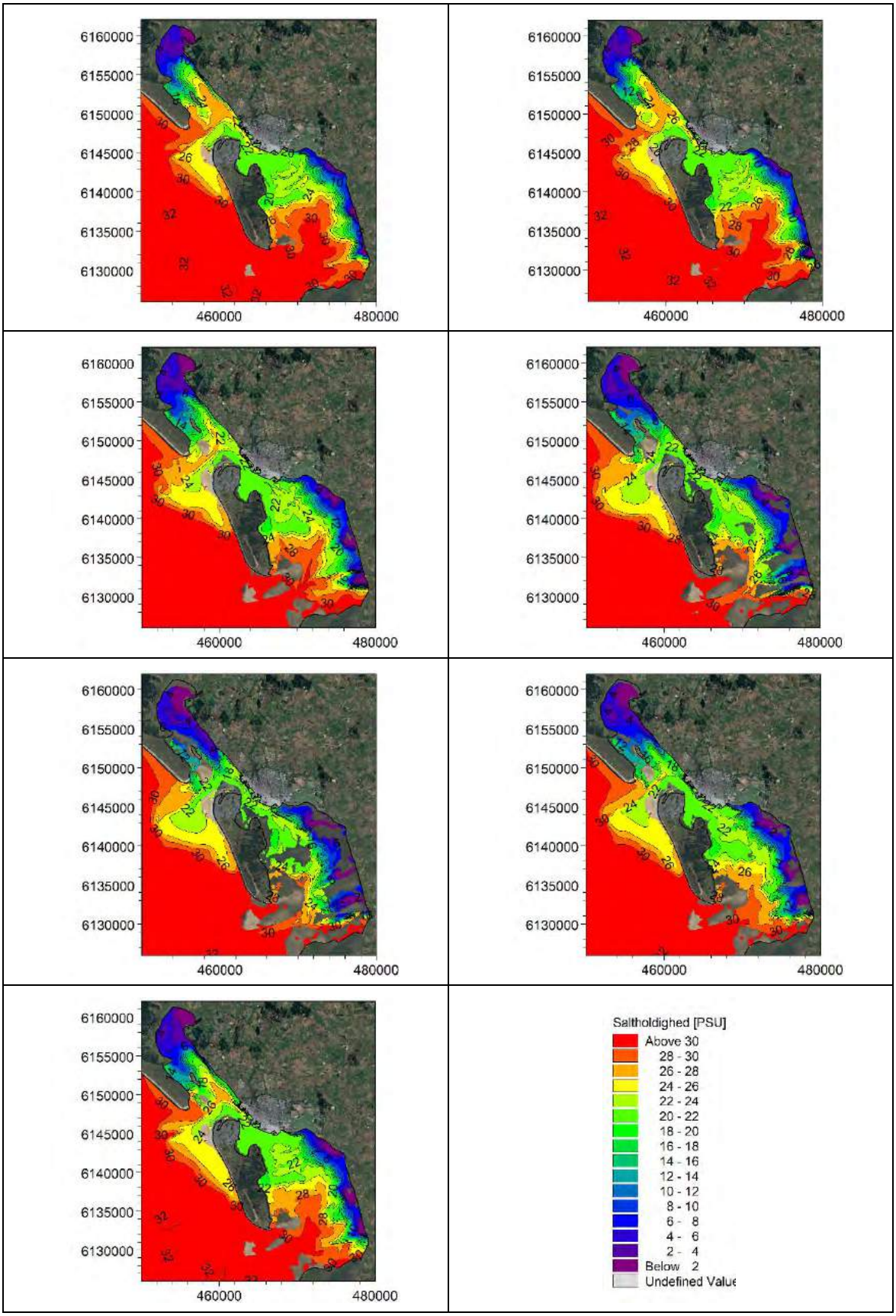
Saltholdigheden i Grådyb og Knudedyb tidevandsområde varierer betragteligt i tid og sted som følge af den dynamiske tidevandsudveksling af salint havvand gennem Grådyb og Knudedyb i kombination med ferskvandstilførsel fra de 10 vandløb indikeret i Figur 4-1. Ferskvandet udledes via sluseporte, når vandtrykket på indersiden er stort nok til at presse portene op. I perioder med stor gradient (vandstandsforskel) vil der derfor tilføres meget ferskvand, mens der i perioder med højvande vil være et indadrettet tryk på sluseportene således, at der ikke tilføres ferskvand.

7.4.1 Saltholdighed i vinterperiode

Afstrømningen fra land er bestemt af nettonedbøren og er derfor størst i vinterperioden, da fordampningen er langt større i sommerhalvåret end i vinterhalvåret. Desuden er jorden typisk langt mindre mættet i sommerhalvåret og er derfor i stand til at optage større mængder nedbør uden at det resulterer i en afstrømning til havet. Til illustration af saltholdigheden i tidevandsområdet er det derfor valgt at beregne middel af saltholdigheden. Figur 7-20 viser den beregnede saltholdighed i vinterperioden. Det ses, at den er lav i Ho bugt, hvor Varde Å har sit udløb, samt ind mod den Jyske kyst i Knudedyb tidevandsområde, hvor Sneum Å, Konge Å og Ribe Å har sit udløb. I området omkring tidevandsskellet er saltholdigheden omkring de 20 ‰, men den på havsiden er omkring 30 ‰.



Figur 7-20 Middel saltholdighed over vinterperioden.

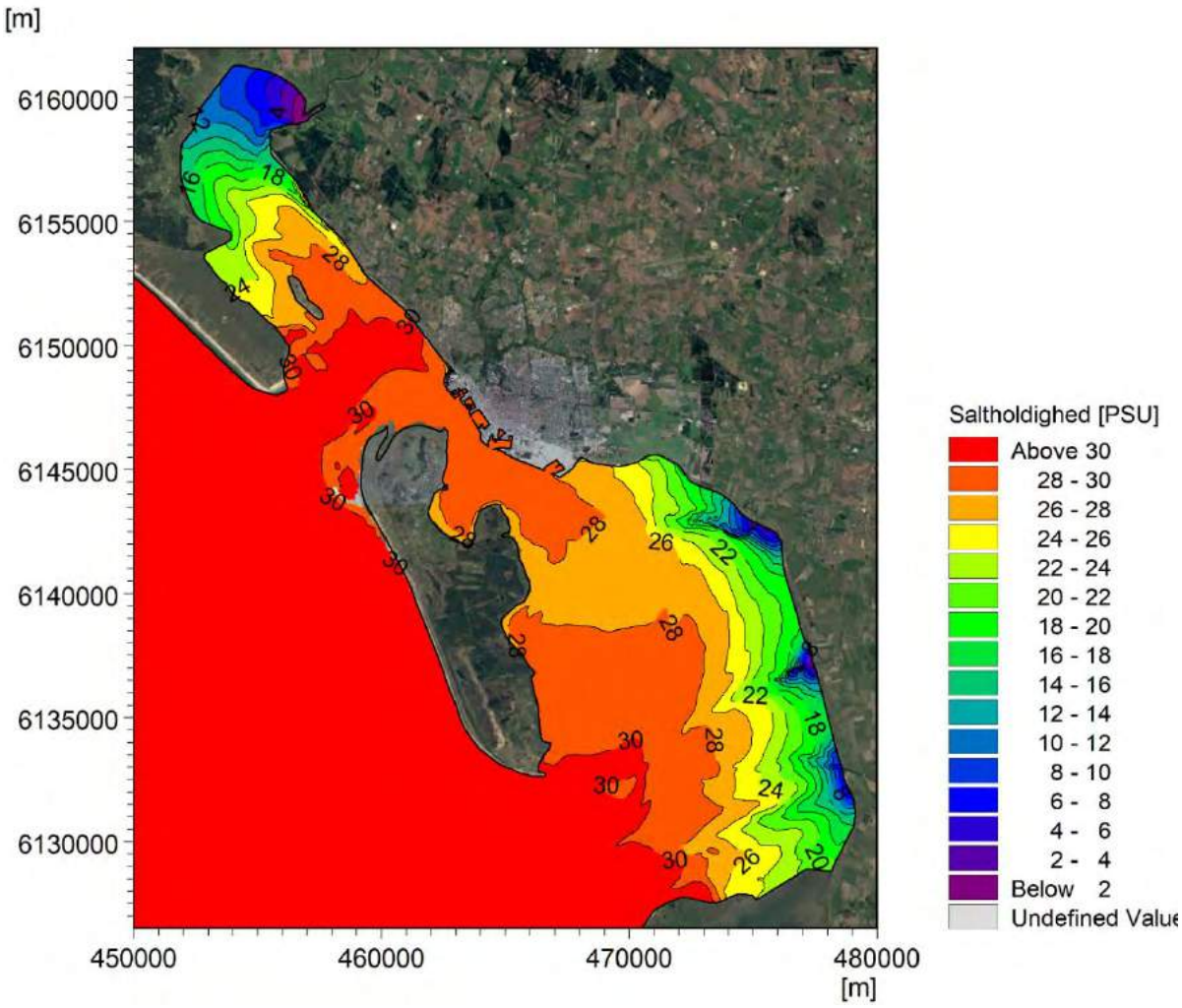


Figur 7-21 Variationen af saltholdighed henover en tidevandsperiode i vintersæsonen (26. januar 2018 kl. 09:00 UTC-tid og efterfølgende periode i spring på to timers mellemrum).

Plottet af middelsaltholdigheden i vinterperioden afspejler ikke tydeligt den dynamik og store horisontale variation som optræder henover en tidevandsperiode. I Figur 7-21 er der derfor vist en sekvens af billeder, som viser variationen af saltholdighed i tidevandsområdet i løbet af en fuld tidevandsperiode og med spring på to timers mellemrum.

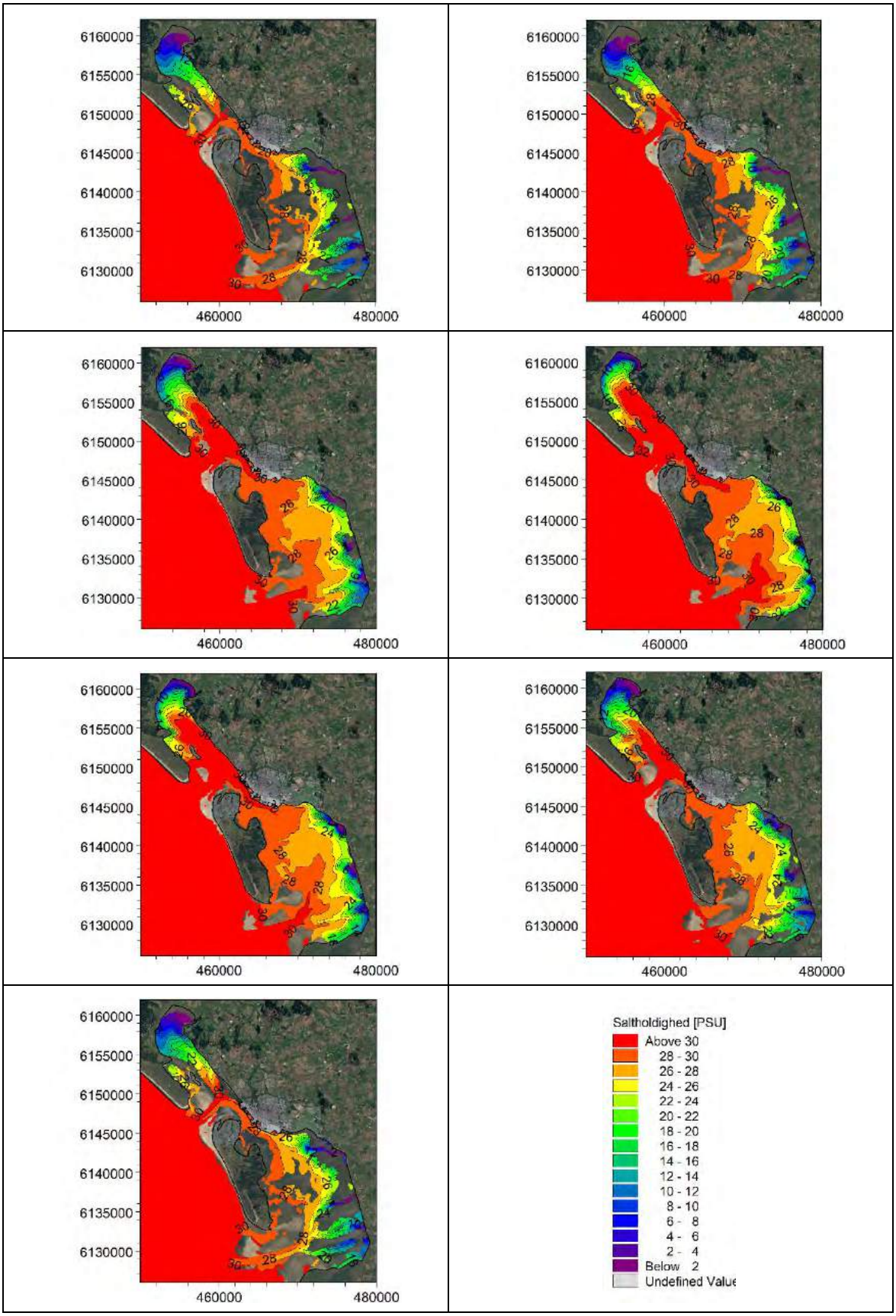
7.4.2 Saltholdighed i sommerperiode

I sommerperioden er afstrømningen fra land noget svagere, hvilket resulterer i en højere saltholdighed inde i tidevandsområdet. Figur 7-22 viser den beregnede saltholdighed i sommerperioden. Det ses, at saltholdigheden ved tidevandsskellet er omkring 27 ‰ og tilsvarende at salt trænger væsentlig længere op mod Ho Bugt.



Figur 7-22 Middel saltholdighed over sommerperioden.

Plottet af middelsaltholdigheden i sommerperioden afspejler ikke tydeligt den dynamik og store horisontale variation som optræder henover en tidevandsperiode. I Figur 7-23 er der derfor vist en sekvens af billeder, som viser variationen af saltholdighed i tidevandsområdet i løbet af en fuld tidevandsperiode og med spring på to timers mellemrum.



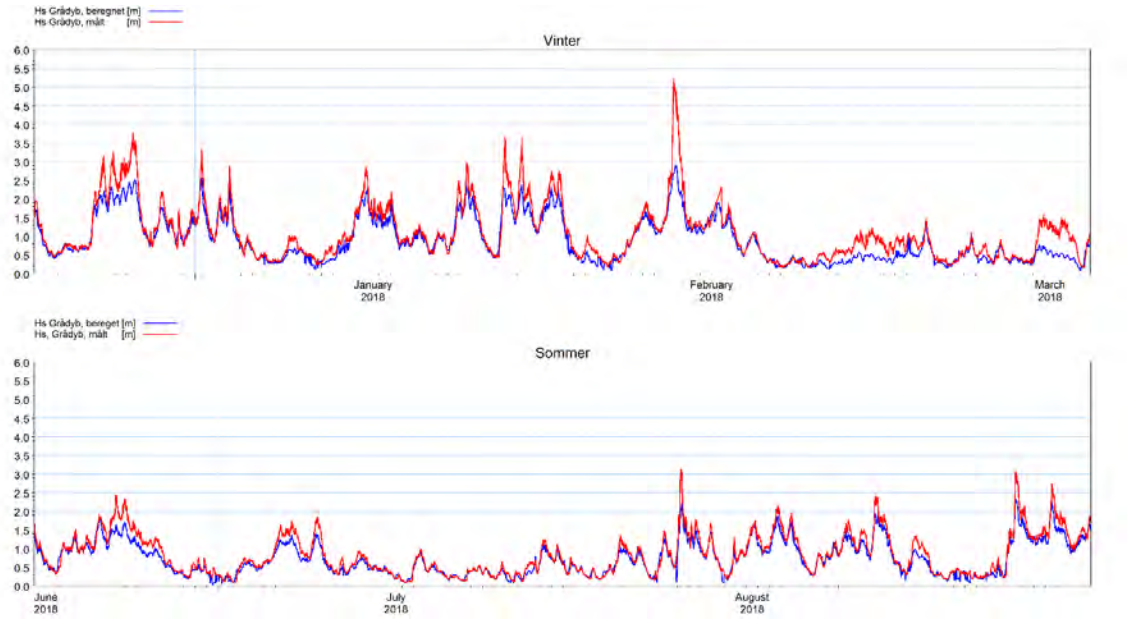
Figur 7-23 Variationen af saltholdighed henover en tidevandsperiode i sommersæsonen (1. juli 2018 kl. 09:30 UTC-tid og efterfølgende periode i spring på to timers mellemrum).

7.5 Bølgeforhold

Bølgehøjderne vest for Fanø når undertiden højder på adskillige meter, men de store bølger er ikke i stand til at trænge ind i tidevandsområdet øst for Skallingen og Fanø. Bølgerne inde i tidevandsområdet er derfor primært lokalt vindgenerede. Bølgernes påvirkning i Grådyb og Knudedyb tidevandsområde er relativt beskeden i forhold til de tidevandsgenererede strømme, da området ligger i læ af Skallingen og Fanø. Desuden er en stor del af området lavvandet og kun periodisk vanddækket. De frie stræks længder er relativt beskedne, hvilket sætter en kraftig begrænsning på opvæksten og højden af de vindgenererede bølger. De små vindgenerede bølger har dog en betydende påvirkning på de lavvandede dele af tidevandsfladerne, hvor de kan medvirke til opslæmning af bundsedimentet eller medvirke til at opretholde sedimentet i suspension. Det er derfor nødvendigt at medtage effekten af bølger, når der ses på erosion, aflejring og transport af finkornet sediment i tidevandsområdet.

Som nævnt ovenfor ligger Grådyb og Knudedyb tidevandsområder så afskærmet og beskyttet, at bølgehøjderne i Nordsøen kun er af betydning ved de to mundinger. Inde i området er det udelukkende vindens styrke, retning og vanddybderne som er bestemmende for bølgehøjden. Ved havnen kan typen af kajkonstruktion også have en betydning, idet denne vil kunne virke reflekterende eller absorberende. De modellerede bølgehøjder er derfor fundet med udgangspunkt i en kvasi-stationær antagelse, idet tidsskalaen for at opnå en fuldt udviklet sø-tilstand er relativ kort på grund af områdets beskedne udstrækning. På havsiden er der anvendt målte bølgehøjder fra Grådyb Barre som randbetingelse. Denne er dog som nævnt uden egentlig betydning for de opnåede bølgehøjder inde i tidevandsområdet. Bølgemodelleringen er udført med en standardopsætning, hvor det antages at alle afgrænsninger til land virker fuldt absorberende. Strækninger med lodrette spunsvægge vil reelt virke reflekterende, men dette er der set bort fra i denne generelle analyse.

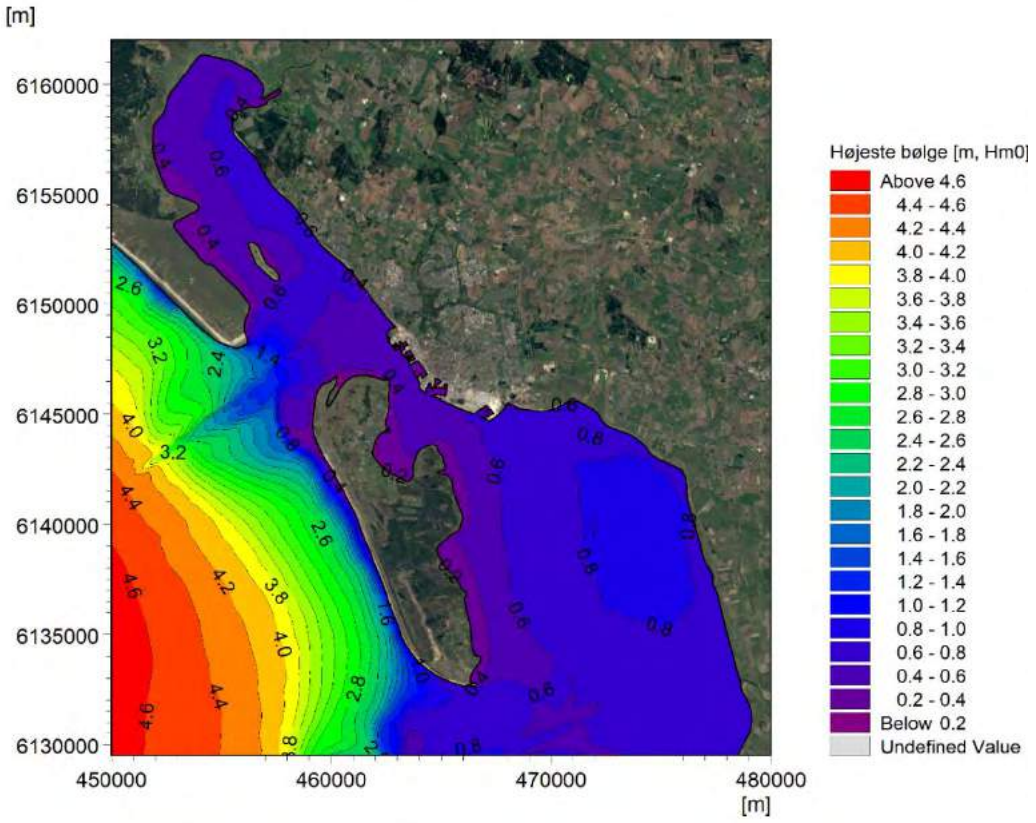
Figur 7-24 viser en sammenligning af målte og modellerede bølgehøjder ved Grådyb Barre. Det ses, at der generelt er god sammenhæng når bølgehøjder er mindre end 2,5 m. Når bølgerne er større end 2,5 meter tabes der relativt mere energi fra randene og ind til Grådyb Barre måleren. I disse situationer udgør Grådyb Barre målingen ikke en god randbetingelse og er udtryk for at bølgehøjderne langs modellens åbne rande er væsentlig højere på de pågældende tidspunkter. Det er dog som nævnt tidligere uden betydning for bølgeforholdene inde i tidevandsområdet.



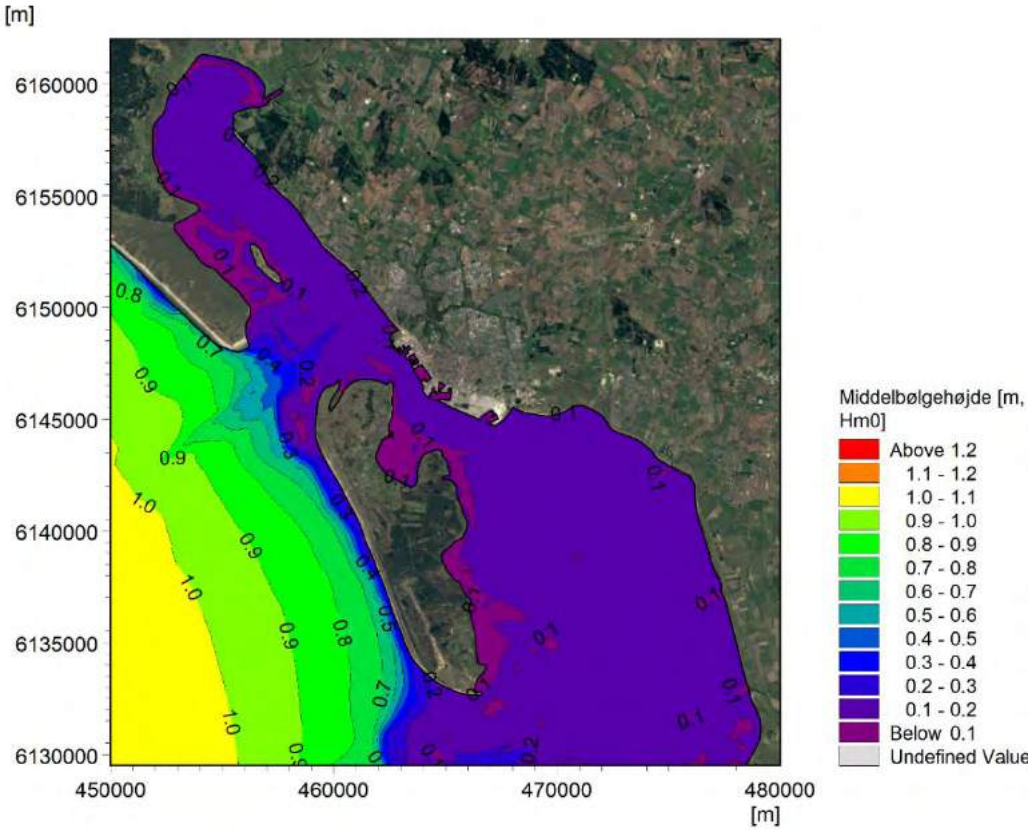
Figur 7-24 Sammenligning af målte (rød kurve) og modellerede (blå kurve) bølgehøjde (H_s) ved Grådyb måleren gennem de to simuleringsperioder.

Bølgerne er som det fremgår af plottet ovenfor generelt større på åbent hav i vinterhalvåret end i sommerhalvåret. Dette gør sig også gældende inde i tidevandsområdet. Figur 7-25 viser den største forekommende bølgehøjde angivet ved H_{m0} i løbet af vinterperioden. Det ses, at de største bølger er lidt højere end 0,6 m i den nordlige del af tidevandsområdet, mens de i den sydlige del overstiger 0,8 m. Bølgerne er relativt små langs den østlige side af Skallingen og Fanø. Vest for Skallingen og Fanø er bølgehøjderne markant højere end i tidevandsområdet.

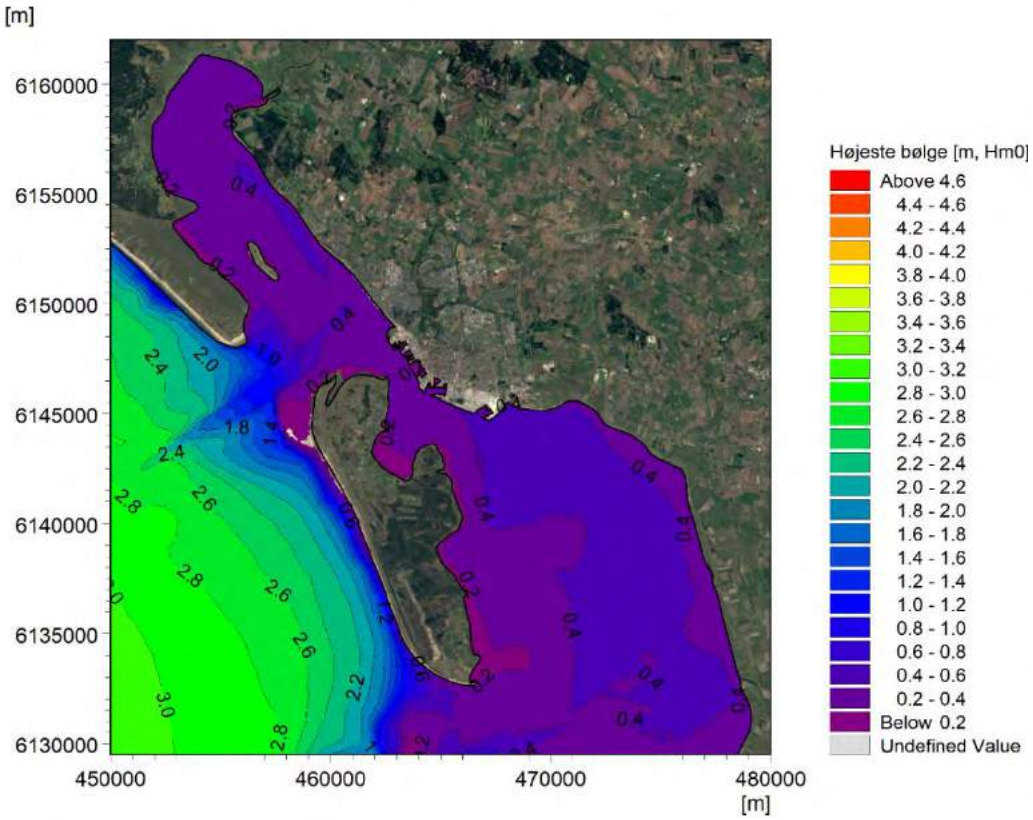
Den maksimale bølgehøjde i vinterperioden er en del større end middel bølgehøjden (H_{m0}), hvilket ses af Figur 7-26. I store dele af tiden vil der være ingen eller kun meget små bølger: I disse perioder vil turbiditetsniveauet derfor være lavere end i perioder med større bølger. Middelbølgehøjden er typisk mellem 0,1-0,2 m i vinterperioden.



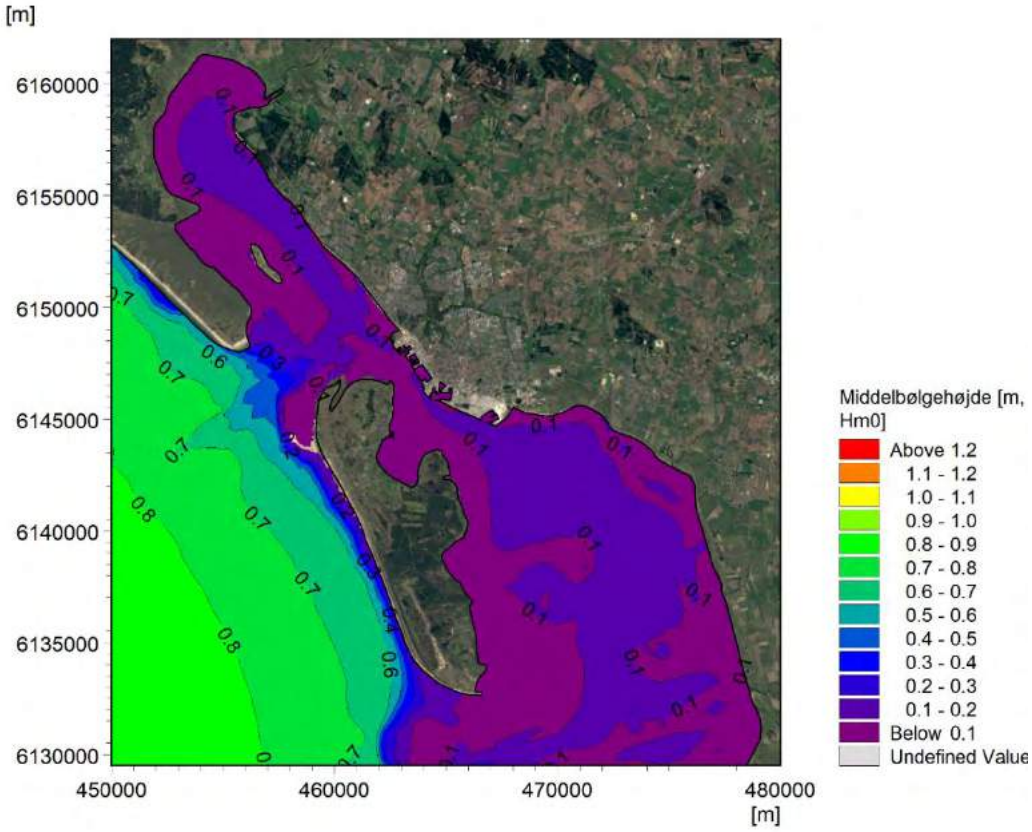
Figur 7-25 Største forekommende bølgehøjde (H_{m0}) i vinterperioden.



Figur 7-26 Middelbølgehøjde (H_{m0}) i vinterperioden.



Figur 7-27 Største forekommende bølgehøjde (H_s) i sommerperioden.



Figur 7-28 Middelbølgehøjde (H_{m0}) i sommerperioden.

I sommerhalvåret er vinden svagere og bølgerne i det åbne hav mindre. Figur 7-27 viser den største forekommende bølgehøjde angivet ved H_{m0} i løbet af sommerperioden. Det ses, at de største bølger er lidt højere end 0,4 m i både den nordlige og sydlige del af tidevandsområdet. De største bølger er dermed noget mindre end i vinterperioden.

I sommerhalvåret er forskellen på den højeste bølge og middelbølgehøjden noget mindre end for vinterhalvåret. I store dele af tiden er der ingen eller kun meget små bølger: Turbiditetsniveauet vil derfor generelt være lavere i sommerhalvåret end i vinterhalvåret. Der vil dog optræde større fluktuationer i turbiditetsniveauet i takt med de vindgenererede bølgers påvirkning. Middelbølgehøjden inde i tidevandsområdet er typisk af størrelsesorden 0,1 m i sommerperioden.

7.6 Finkornet sediment

En større del af tidevandsområdet er dækket af vader med relativ højt indhold af finkornet sediment, som kan bringes i opslæmning af vindgenererede bølger påvirkning. Ydermere klappes der med jævne mellemrum oprenset materiale, som spredes med tidevandsstrømmen. Det er derfor relevant at se på den finkornede sediments dynamiske opførsel i tidevandsområdet. For at kunne beskrive dynamikken er det nødvendigt med kendskab til overfladesedimentets sammensætning i hele tidevandsområdet og kombinere denne viden med kendskabet til de batymetriske forhold, tidevandsstrømmene og forekomsten af de vindgenererede bølger.

7.6.1 Overfladesedimentets sammensætning

Hovedparten af Grådyb, Knudedyb og Juvre Dyb tidevandsområde er permanent vanddækket eller dækket af højtliggende og lavtliggende sandvader. Kun en mindre del af området er

sammensat af vader med blandet sediment (silt og sand) og i endnu mindre grad muddervader. Bundsedimentets type og sammensætning varierer en hel del i Grådyb og Knudedyb tidevandsområde, som det fremgår af Figur 7-29 fra ref. /3/. Kortet beskriver kun overfladesedimentet på vaderne, ikke i løbene som altid er vanddækket. Sediment-sammensætningen er estimeret på baggrund af Landsat satellitbilleder. Den procentvise udbredelse af de forskellige sedimenttyper indenfor det angivne område fra Rømø dæmningen og hele vejen op til Ho Bugt er angivet i Tabel 7-3. Det ses, at en meget stor del af området er dækket af sandvader eller et permanent vanddække. I nogle af de områder der er karakteriseret som blandet sediment, er det nok snarere en forekomst af muslinge- eller østersbanker, som påvirker identifikationen. Sandvader er karakteriseret ved at indholdet af finkornet (< 63 µm) sediment udgør mindre end 30 %. På blandede vader udgør indholdet 30-65 % og på muddervader 65-100 %.

Tabel 7-3 Overfladesedimentets sammensætning i Grådyb, Knudedyb og Juvre Dyb tidevandsområde, ref. /3/.

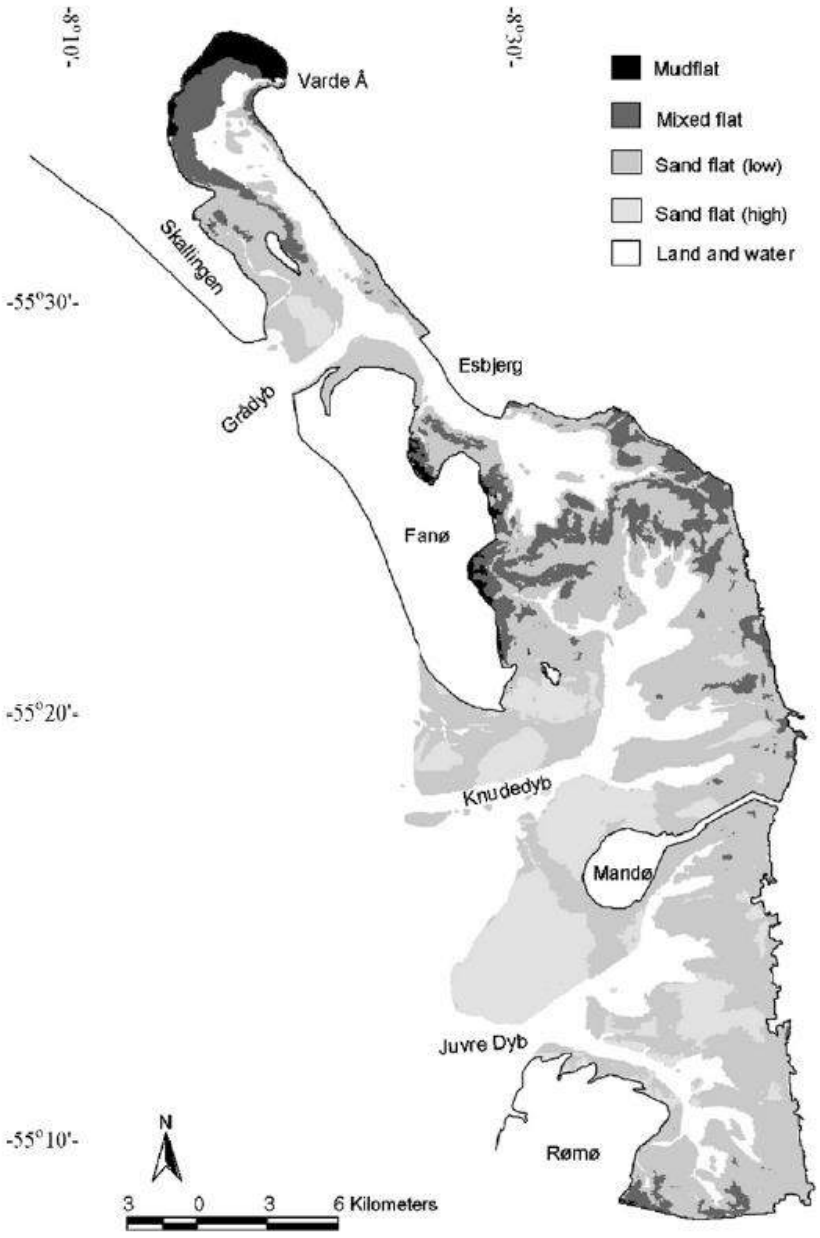
Type	Relativt areal [%]
Muddervade (Mudflat)	2
Blandet sediment (mixed flat)	12
Lavtliggende sandvade (Sand flat low)	46
Højtliggende sandvade (Sand flat high)	11
Område med permanent vanddække	29

Dannelse af muddervader forudsætter rolige strømforhold, hvor det finkornede sediment kan få lov til at udfældes uden at blive opslæmmet alt for ofte. Vader med blandet sediment (sand/silt) kræver ligeledes rolige strømforhold, men kan i højere grad tåle at blive bragt i opslæmning. Man finder derfor muddervaderne helt i bunden af Ho Bugt og i læ-zoner ind mod Fanøs østkyst, hvor bølgepåvirkningen er beskeden. Områderne med blandet sediment finder man nær tidevandsskellet og langs Fanøs østkyst. Desuden finder man dem langs Jyllands kyst i den indre del af Grådyb tidevandsområde, hvor påvirkningen fra bølger og strøm er relativt større end i områderne med muddervader. I Ho Bugt er der ligeledes et større område med blandet sediment i den afskærmede del. I områderne med permanent vanddække er bundsedimentet overvejende sandet, som følge af tidevands-strømmens udvaskende påvirkning af det finkornede sediment. Bunddækket kan dog også bestå af hårdt stift ler, som ikke eroderer. De morfologiske (sand)beregninger tager ikke højde for den faktiske beskaffenhed af bundsedimentet i områderne hvor bundsedimentet er karakteriseret som værende finere end finsand. Omvendt er disse områder, som det fremgår af ovenstående at finde i områder med afdæmpede strømforhold, hvor de morfologiske ændringer nærmest per definition vil være beskedne både i model og natur. I en vurdering af det morfologiske respons som etape 5 udbygningen af havnen vil medføre, giver det derfor god mening at basere en sådan modelbeskrivelse på sedimenttransport af finsand (0,125-0,25 mm) eller medium sand (0,25-0,5 mm).

Fra Grådybundersøgelserne, ref. /4/, ved vi at sammensætningen af det suspenderede materiale i Grådyb er bi-modalt, dvs. præget af tilstedeværelsen af to forskellige materiale typer: Sand og finkornet materiale. Det suspenderede sand har en mediankornstørrelse, der normalt varierer mellem cirka 0,1 og 0,3 mm, alt efter de dynamiske forhold og lokaliteten. Fordi bundforholdene varierer fra områder med fast sammenkittet bund nogle steder, og varierende kornstørrelse fra finsand til mellemkornet sand andre steder, er der ikke nogen entydig sammenhæng. Men dog en tendens til en sammenhæng mellem det suspenderede sands middelkorntørrelse og de dynamiske forhold og en vis overensstemmelse mellem fordelingen af

sandet i vandsøjlen og de målte dynamiske parametre. Desuden ved vi fra ref. /5/ at mediankornstørrelsen af overfladesedimentet i sejlrenden foran Esbjerg Havn typisk varierer mellem 0,2-0,6 mm.

Det opslæmmede finkornede materiale består (som det forefindes naturligt i vandsøjlen) hovedsagelig af silt og har en forbløffende ensartet kornstørrelse på mellem cirka 0,02 og 0,03 mm. I hårdt vejr er der en tendens til at noget større kornstørrelser på mellem ca. 0,03 og 0,05 mm optræder i det suspenderede materiale, men kort tid efter at rolige vejrforhold atter er indtruffet, er mønstret det samme som tidligere med meget ensartede kornstørrelser mellem 0,02 og 0,03 mm, ref. /4/. Sedimentkoncentrationerne er ligeledes højere i forbindelse med hårdt vejr; der er derfor en sammenhæng mellem det opslæmmede materiales "repræsentative faldhastighed" og sedimentkoncentrationen. Alle de i forbindelse med dette studie udførte analyser af bundsedimentet indikerer, at der er en ligelig fordeling af silt med kornstørrelser mellem 0,01-0.06, jf. kornkurvernes retlinede forløb (se afsnit 4.8). Da faldhastigheden af silt med en kornstørrelse på 0,06 mm ifølge Stokes lov, ref. /6/, falder 36 gange hurtigere mod bunden end silt med kornstørrelse 0,01 mm, og det grovere silt samtidig er sværere at bringe i suspension er dette i god overensstemmelse med observationerne fra ref. /4/, altså at faldhastighed vokser i takt med at der opslæmmes sediment og sedimentkoncentrationen vokser. Denne sammenhæng er analog med en flokkulationsbeskrivelse, bortset fra at årsagssammenhængen er en anden. Ovenstående sammenhæng er anvendt i beskrivelsen af det finkornede sediments faldhastighed.



Figur 7-29 Overfladesedimentets beskaffenhed.
Fra ref. /3/.

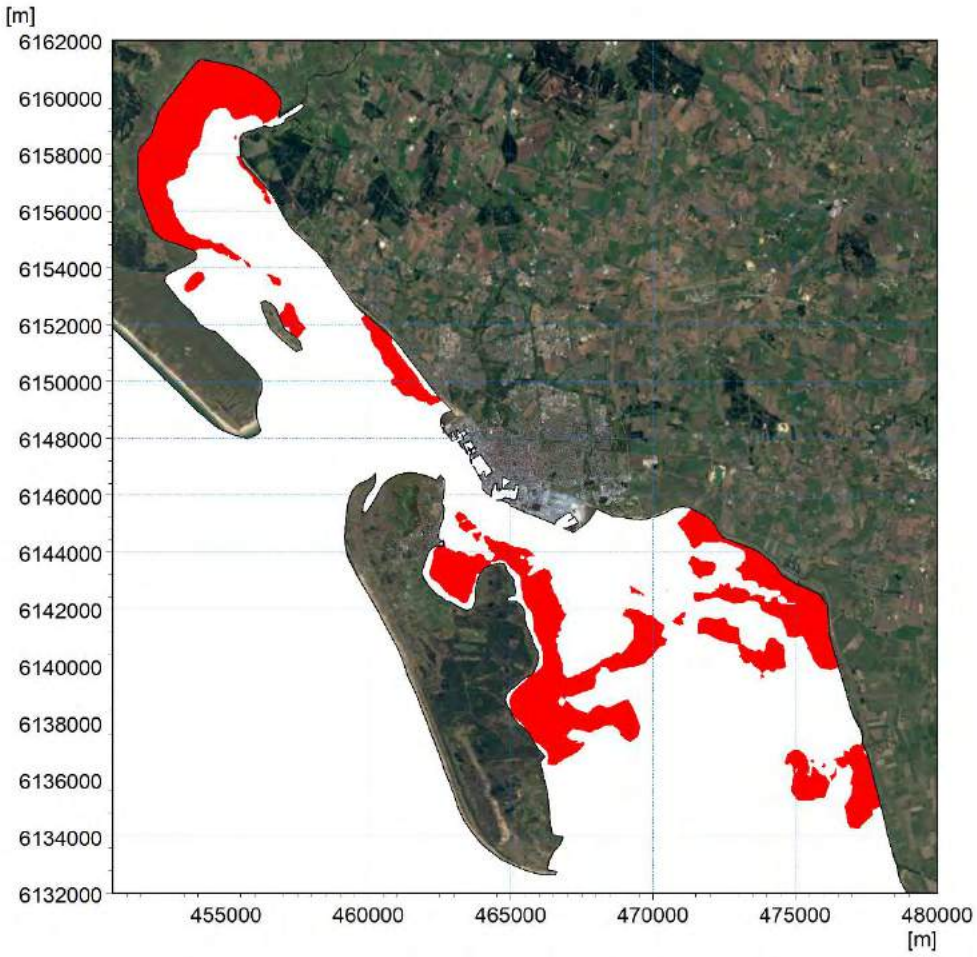
7.6.2 Modelgrundlag

Grundlaget for modellen til beskrivelse af den finkornede sediments dynamiske opførsel er beskrevet nedenfor.

7.6.2.1 Modelparametre og sedimentkort

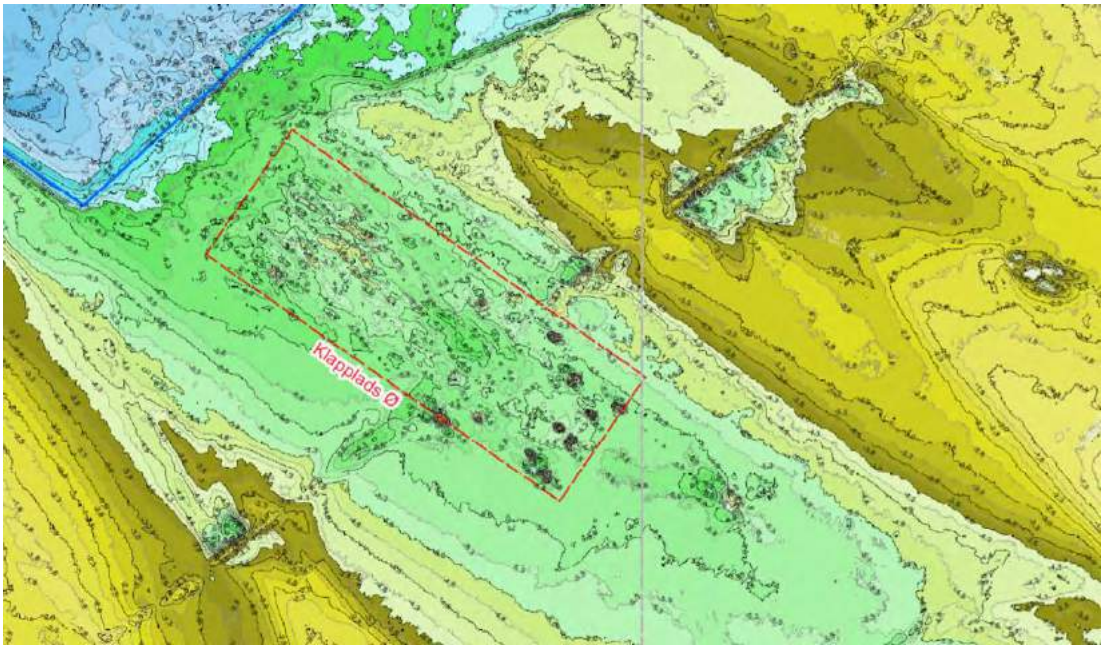
Til beskrivelse af dynamikken er der etableret et kort som definerer i hvilke områder der optræder tykkere bundlag af finkornet sediment (silt og ler). Kortet er defineret på baggrund af ref. /3/, samt erfaringer fra tidligere studier og feltundersøgelser. Den benyttede fordeling af finkornet sediment er som vist i Figur 7-30. Oven på dette lag er der i hele modelområdet

defineret et meget tyndt overfladelag af finkornet sediment med en tykkelse på 1 mm således, at der initialt er en beskeden mængde sediment at arbejde med i alle områder.



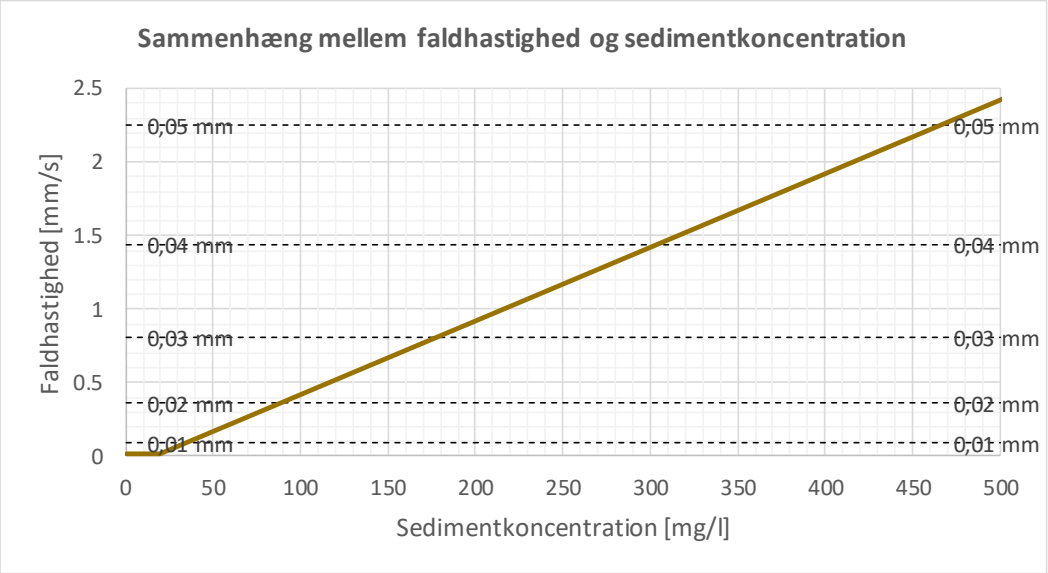
Figur 7-30 Modeldefinerede områder med tykkere bundlag af finkornet sediment.

Overfladelaget er lettere at bringe i opslæmning end det tykkere underliggende bundlag. Dette er afspejlet ved at der i modellen anvendes et erosionskriterie på 0,15 N/m^2 (for bundforskydningsspændingen), som skal overstiges før overfladelaget eroderes og 0,45 N/m^2 på tilsvarende vis på bundlaget. Desuden er der i modelleringen taget højde for en slags konsolideringseffekt, idet materiale fra overfladelaget løbende overføres til bundlaget med transitionsraten 0,1 mg/m^2/s. Da sedimentet hovedsagelig er silt, tillades aflejring under alle forhold, dvs. at bundforskydningsspændingen, som anvendes som kriterie for aflejring, er sat meget højt. Hvorvidt der aflejres materiale, afhænger derfor om erosionsbidraget er større end eller mindre end erosionen. Med andre ord; der er en nettoerosion, når erosionsraten overstiger aflejringsraten og nettoaflejring, når aflejringsraten overstiger erosionsraten. I områder hvor der klappes materiale er erosionskoefficienten for overfladelaget sat højere end i det øvrige område, for at gøre materialet mere eroderbart. Årsagen til at denne procedure er valgt relaterer til at modellen ikke regnes morfologisk, hvorfor man ikke får den lokale forstærkning af strømmen og bundforskydningsspændingen, som dumpning af klapmateriale afstedkommer grundet den reducerede vanddybde. I Figur 7-31 er vist en udsnit fra en højopløst pejleplan i området ved klapplads Ø. Pejleplanen viser tydelige spor efter klapninger i den sydøstlige del og er dermed men til at underbygge det ovenfor beskrevne valgte koncept for erosion af sediment i klapområderne.



Figur 7-31 Højopløst pejleplan ved klapplads Ø, hvorpå man kan se spor efter klapninger i den sydøstlige ende.

Det finkornede sediment består overvejende af silt, hvis faldhastighed varierer betragteligt med kornstørrelsen. Det er derfor ikke optimalt at basere modelleringen på en enkelt siltkornstørrelse, idet denne ikke vil kunne respondere lige så dynamisk som de målte koncentrationer. Ydermere er det særdeles vanskeligt at lave en beskrivelse baseret på flere fraktioner, da den relative sedimentsammensætning er ukendt i mange af områderne. Bundsedimentets sammensætning af silt varierer typisk ligeligt mellem kornstørrelserne i intervallet 0,01-0,06 mm, jf. de viste kornkurver i afsnit 4.8, som alle har en lineær variation i dette interval. Det opslæmmede materiales karakteristiske faldhastighed vil derfor stige i takt med at grovere fraktioner af silt bringes i opslæmning. Det enkelte korns faldhastighed kan beskrives ved hjælp af Stokes lov, som kort fortalt siger at faldhastigheden stiger med kvadratet på korndiameteren. Når de målte opslæmmede koncentrationer dykker relativt hurtigt er det derfor udtryk for en høj faldhastighed, mens en langsom respons er udtryk for en lav faldhastighed. Denne tendens forklares ofte med flokkulering, altså at sedimentet "klumper sammen" og derved opnår en forøget faldhastighed. Silt i sig selv er dog ikke i stand til at flokkulere, det kræver tilstedeværelses af lerpartikler. Indholdet af ler er relativt lavt i alle de analyserede sedimentprøver, så flokkulering kan kun udgøre en faktor i et beskedent omfang. Alligevel er faldhastighedsbeskrivelsen tilknyttet en flokkuleringsbeskrivelse velegnet. Årsagen er dog en anden end at sedimentet blot "klumper sammen". Bundsedimentet er graderet, dvs. er sammensat af forskellige kornstørrelser. I takt med at bundforskydningsspændingen øges med tidevandsstrømmen, vil man derfor kunne bringe grovere siltpartikler i suspension. Der vil derfor være en korrelation mellem den opslæmmede sedimentkoncentration og den hertil hørende karakteristiske faldhastighed.

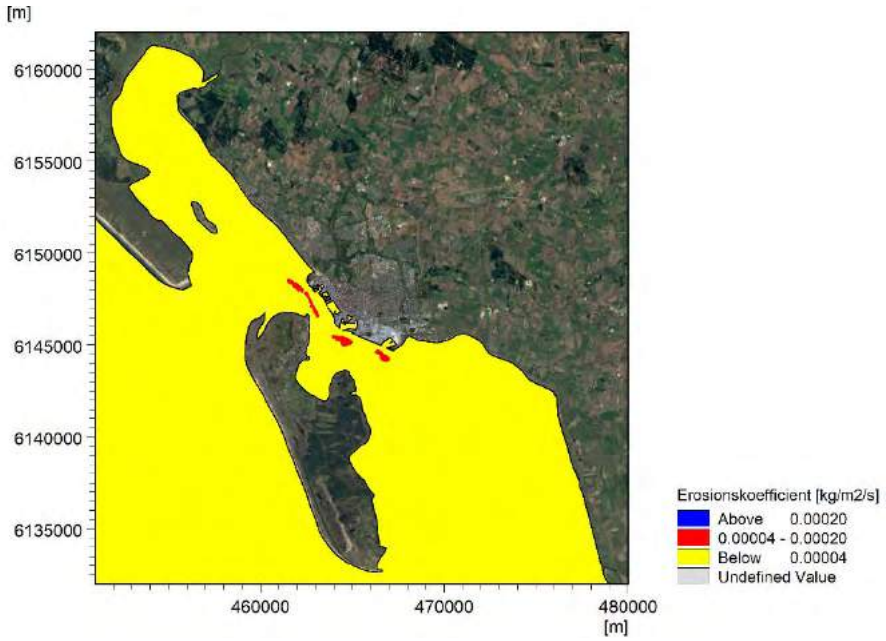


Figur 7-32 Sammenhæng mellem faldhastighed og sedimentkoncentration.
Stiplede vandrette linjer angiver faldhastighed for forskellige kornstørrelser af silt.

I den her benyttede modelbeskrivelse er der derfor anvendt en relation, hvor sedimentets faldhastighed er en funktion af den opslæmmede sedimentkoncentration. Den benyttede relation (vist i Figur 7-32) er fundet ved kalibrering mod de målte sedimentkoncentrationer. Til understøttelse af ovenstående og den benyttede relation er faldhastighederne beregnet ved hjælp af Stokes lov og i diagrammet indikeret for silt med kornstørrelser i intervallet 0,01-0,05 mm.

Fra ref. /4/ ved vi at det finkornede materiale består (som det forefindes naturligt i vandsøjlen) hovedsagelig af silt og har en forbløffende ensartet kornstørrelse på mellem cirka 0,02 og 0,03 mm. I hårdt vejr er der en tendens til noget større kornstørrelser i dette materiale på mellem ca. 0,03 og 0,05 mm, men kort tid efter at rolige vejrforhold atter er indtruffet, er mønstret det samme som tidligere med meget ensartede kornstørrelser mellem 0,02 og 0,03 mm. Kornstørrelser hvis faldhastighed netop er dækket i diagrammet. Når vi så yderligere kombinerer denne viden med observerede sedimentkoncentrationer, ser vi at diagrammet og relationen giver god mening. Ikke mindst da den modellerede dynamik i modellen med god tilnærmelse og afspejler den observerede dynamik.

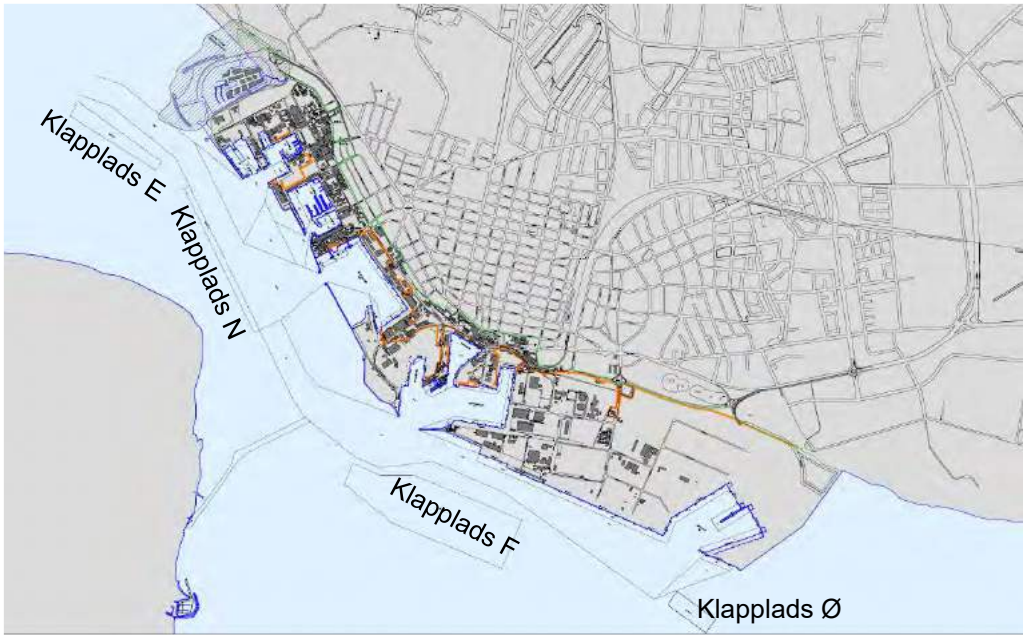
Det sidste som er af afgørende betydning for de i modellen opnåede sedimentkoncentrationer er erosionskoefficienterne, som påvirker raten hvormed bundsedimentet eroderes. Disse er ligeledes fundet ved modelkalibrering og sammenholdelse mod de målte sediment-koncentrationer. Disse er for overfladelaget 0,04 g/m^2/s og for bundlaget 0,03 g/ m^2/s. I områder hvor der klappes materiale er erosionskoefficienten i overfladelaget sat til 0,2 g/m^2/s, da materialet er mere løst aflejret og lettere at opslæmme. Bundlaget eroderes når overfladelaget er tømt for sediment. Erosionskoefficienten for overfladelaget er af begrænset betydning, idet dette lag med undtagelse af områder hvor der klappes materiale tømmes relativt hurtigt i de perioder, hvor der er erosion.



Figur 7-33 Kort visende erosionskoefficienten i overfladelaget. Gul farve: 0,04 g/m^2/s og rød farve: 0,2 g/m^2/s.

7.6.2.2 Klapning af oprensningsmateriale og spildrater i modelperioder

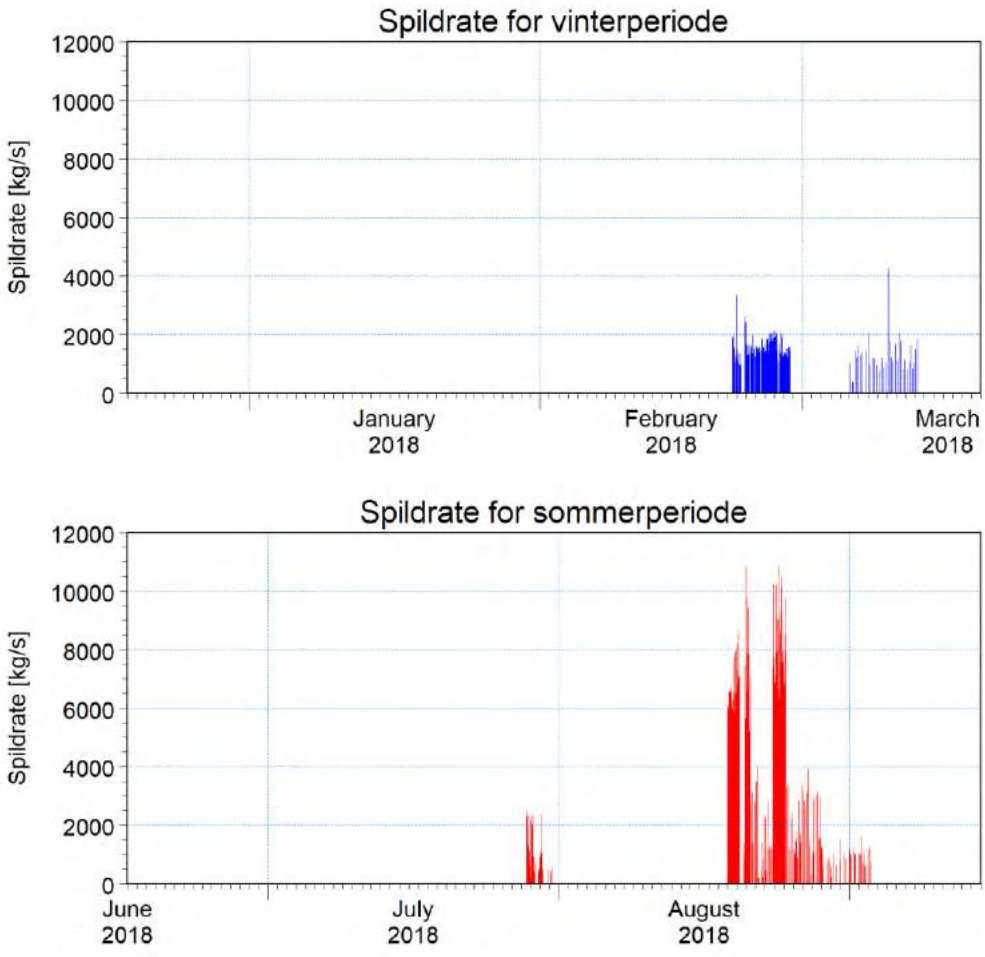
For at opretholde den ønskede dybde i bassinerne er det nødvendigt at fjerne det aflejrede sediment fra havnebassinerne. Klapning af dette materiale sker inde i Grådybs tidevandsområde på Klappladserne Ø, F, N og E i det omfang materialet ikke er forurenet. Det klappede materiale transporteres med strømmen og aflejres ved strømstille midlertidigt på de lavvandede vader, hvorefter det transporteres til områder med generel aflejring af fint materiale.



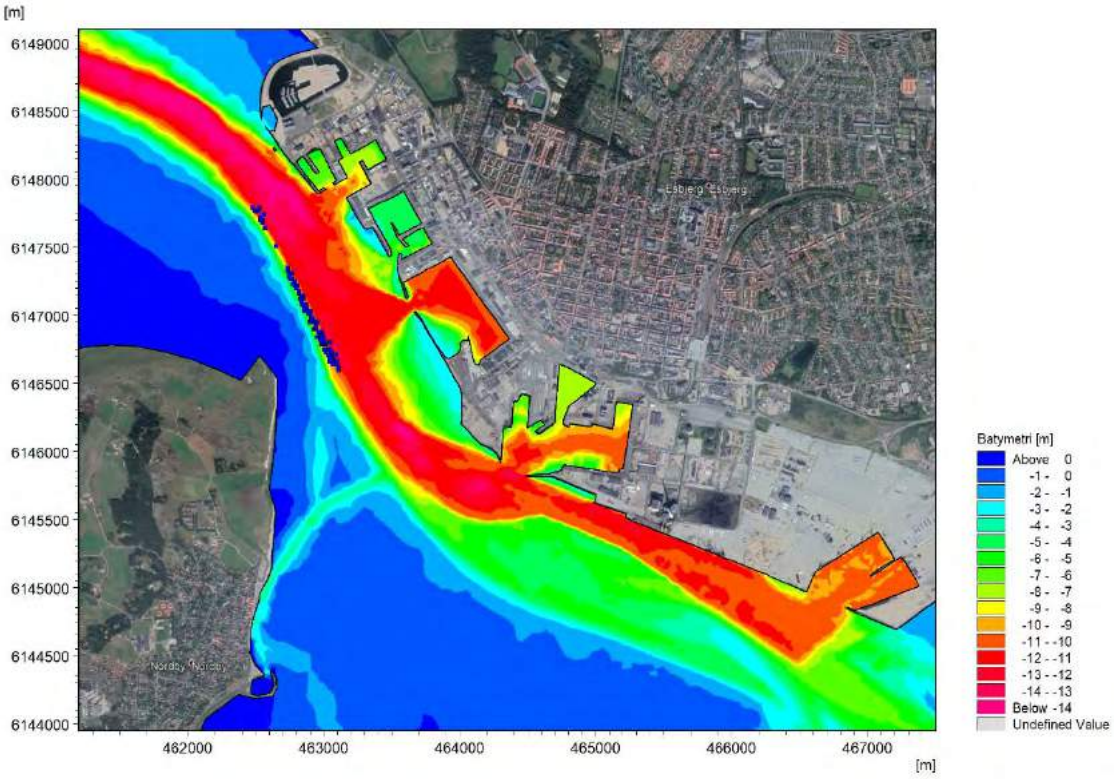
Figur 7-34 Kystdirektoratets og Esbjerg Havns klappladser som anvendes til klapning af finkornet sediment fra havnebassinerne.

Klappladsernes geografiske placering og udstrækning er indikeret på søkortet i Figur 7-34. Esbjerg Havn anvender primært Klapplads Ø, F og E, mens Kystdirektoratet primært anvender klapplads F, N og E.

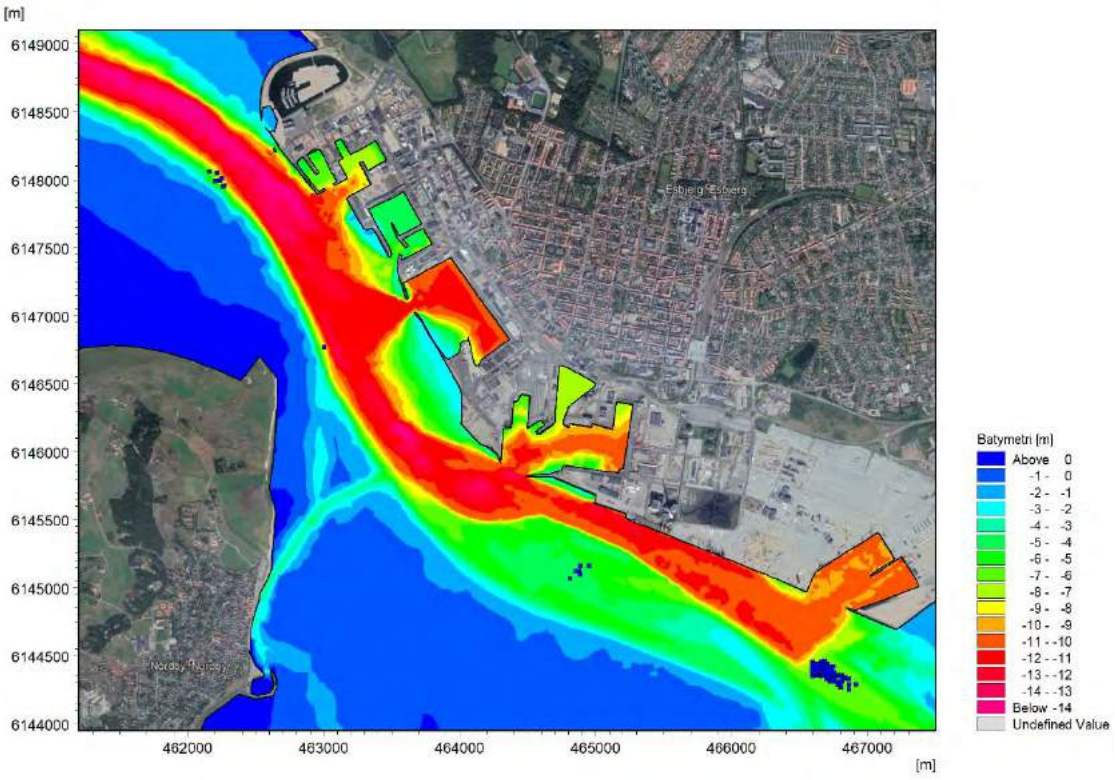
Esbjerg Havn og Kystdirektoratet (KDI) har leveret informationer om klapningsmængder i hele 2018 for de enkelte klappladser. Disse informationer er omsat til tidsserier, som angiver en position, tidspunkt og spildrate, hvor materialet fra hver enkelt klapning frigøres i modellen. Rent modelleringsteknisk defineres spildet i forbindelse med den enkelte klapning som en stepfunktion, hvor spildraten momentant ændres fra 0 til en konstant spildrate (xx kg/s) i den tid som er angivet for varighed af klapningen. Herefter ændres spildraten momentant tilbage til 0 kg/s. Spildraten er fundet som den samlede klapmasse divideret med varigheden af klapningen. Perioderne med klapninger og deres tilhørende spildrater er vist i Figur 6-31 for vinter og sommerperioden. Det ses, at der kun klappes i den sidste del af vinterperioden, mens det i sommerperioden udgøres af en relativ kort periode i slutningen af juli og en længerevarende periode i august. Klappositionerne i den modellerede vinterperiode er vist i Figur 7-35 og for sommerperioden i Figur 7-36. I vinterperioden er der kun klappet materiale på Klapplads N, mens der i sommerperioden klappes materiale på alle fire pladser, men primært på Klapplads Ø. Klapningerne har typisk en varighed af 2 minutter. På klapplads Ø klappes der i gennemsnit 460 tons tørstof (TDS) per klapning. Den største mængde som der klappes med en enkelt last, er 1.300 tons, mens den mindste blot indeholder 38 tons. I laster med en meget stor mængde af tørstof er der formentlig et større indhold af sand. Der er i de udførte beregninger ikke forsøgt korrigeret for indhold af sand. Det klappede materiale er derfor udelukkende blevet behandlet som værende sammensat af finkornet sediment.



Figur 7-35 Klapningsbidrag i den modellerede vinter- og sommerperiode.



Figur 7-36 Positioner for klapningsbidrag i modelleret vinterperiode.



Figur 7-37 Positioner for klapningsbidrag i modelleret sommerperiode.

7.6.2.3 Oprensningsmængder i hovedtal

Hovedtal for oprensningsmængderne i hele 2018 og de to modelleringsperioder er angivet i Tabel 7-4 for Esbjerg Havns oprensninger af Østhavn, mens

Tabel 7-5 angiver hovedtal for Kystdirektoratets oprensningsmængder og klapninger. Tabel 7-6 angiver de samlede hovedtal for klapningerne i 2018. Det ses, at der i vinterperioden klappes 19% af den samlede mængde for 2018, mens der i sommerperioden klappes 45%.

Tabel 7-4 Hovedtal opgivet som TDS (tons tørstof sediment) for Esbjerg Havns oprensning og klapning af finkornet sediment på Klapplads Ø, E og F i 2018 og de to modelperioder.

Klapplads	Vinter	Sommer	2018
Ø	0	96.514	96.514
F	0	1.098	1.098
E+N	0	18.365	44.842
Samlet	0	115.977	142.454

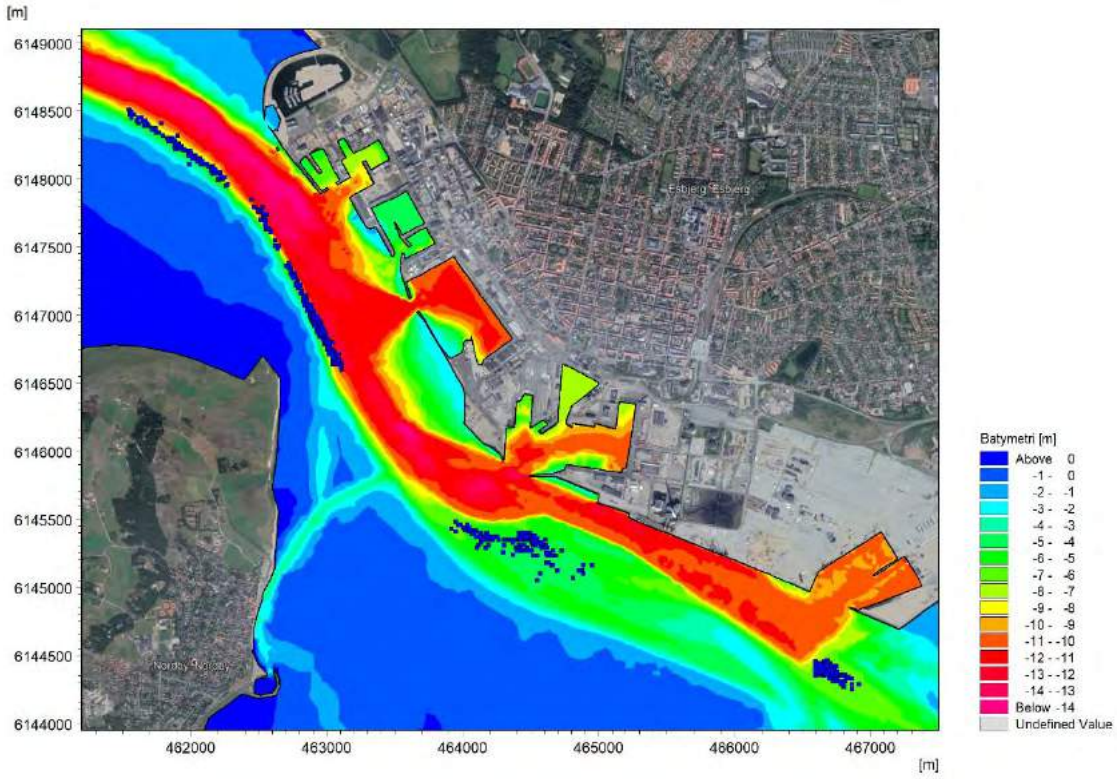
Tabel 7-5 Hovedtal opgivet som TDS (tons tørstof sediment) for Kystdirektoratets oprensning fra bassiner og klapning af finkornet på Klapplads Ø, F og E+N i 2018 og de to modelperioder.

Klapplads	Vinter	Sommer	2018
Ø	0	5.238	5.630
F	0	0	17.925
E+N	50.956	0	101.357
Samlet	50.956	5.238	124.912

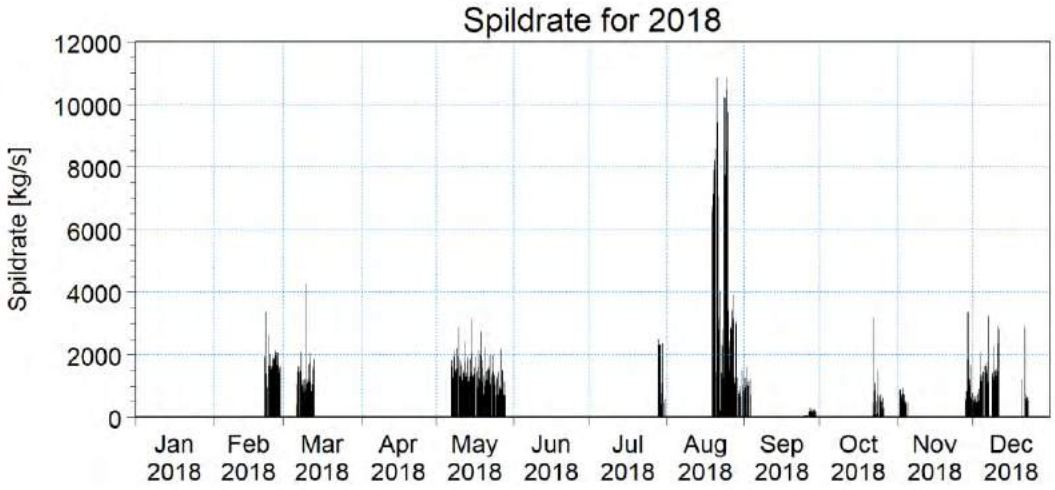
Tabel 7-6 Hovedtal opgivet som TDS (tons tørstof sediment) for den samlede oprensning i 2018 og de to modelperioder.

Klapplads	Vinter	Sommer	2018
Ø	0	101.752	102.144
F	0	1.098	19.023
E+N	50.956	18.365	146.199
Samlet	50.956	121.215	267.366

De anvendte klappositioner i løbet af hele 2018 er vist i Figur 7-38. Enkelte af de opgivne positioner er ikke i overensstemmelse med klapområderne og er derfor flyttet til det klapområde, hvor de skønnes at høre til. De tilhørende spildrater for klapningerne i 2018 er vist i Figur 7-39. På de tidspunkter hvor spildrater er meget høje, kan det være et udtryk for at der er en større andel af sand fraktioner i det klappede materiale. Der er ikke korrigeret for andele af sand i de klappede spildmængder. Sedimentskyen frigjort i forbindelse med disse klapninger kan derfor være overvurderet.



Figur 7-38 Positioner for klapningsbidrag i hele 2018.



Figur 7-39 Klapningsbidrag i hele 2018.

7.6.2.4 Målinger til kalibrering af model

Der er blevet målt turbiditet i en række stationer til brug for kalibrering af modellen. Stationernes placering er vist i Figur 7-40. Den målte turbiditet er omregnet til sedimentkoncentrationer. Disse er vist og præsenteret i det efterfølgende afsnit (kalibreringsafsnittet). Stationerne er placeret således at to af dem dækker sejlrenden (Diffuser og Østhavn), to af dem dækker vader (Fanø Øst og Klyngvese Sand), mens den sidste dækker Knudedyb.

Figur 7-40 Målestationer for turbiditet og indhold af suspenderet sediment.

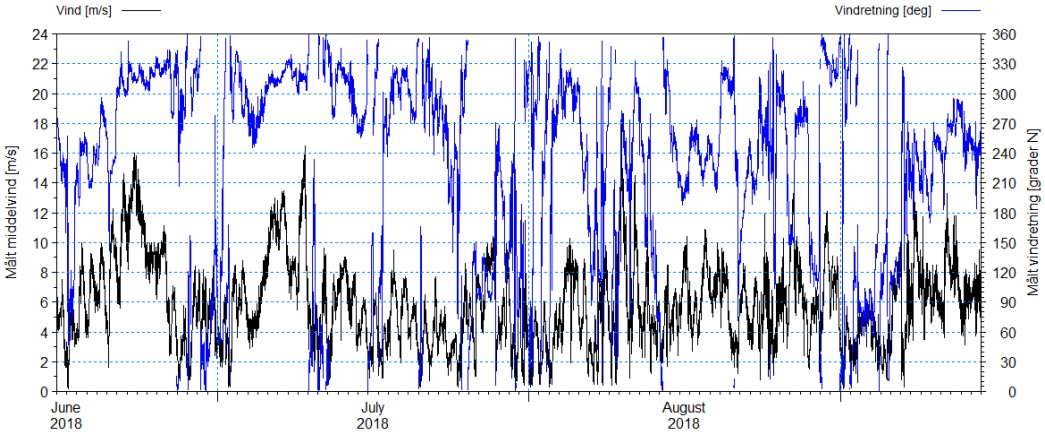
7.6.3 Modelkalibrering sommerperiode

Sommerperioden er valgt så den er sammenfaldende med perioden med turbiditetsmålinger. Modelkalibreringen er derfor baseret på denne periode, mens vinterperioden blot er simuleret på baggrund af den fundne parameterspecifikation. I modelkalibreringen er hovedvægten lagt på stationerne ved Diffuser, Østhavn og i Knudedyb, idet disse er placeret på steder, hvor der passerer store mængder af opslæmmet sediment forbi. Stationerne ved Fanø Øst og Klyngvese Sand er placeret på lavt vand og i områder hvor turbiditeten hovedsagelig er lokalt bestemt og transporten af sediment begrænset. Høje turbiditetsniveauer kan være relateret til vind og bølgepåvirkning eller spredning af sedimentfaner i forbindelse med klapning. For at give en forståelse af de fysiske forhold ud over tidevandsvariationen i sommerperioden med målinger er den målte middelvind og tilhørende middelvindretning plottet i Figur 7-41. Generelt vil der være en sammenhæng mellem høje turbiditetsniveauer og kraftig vind.

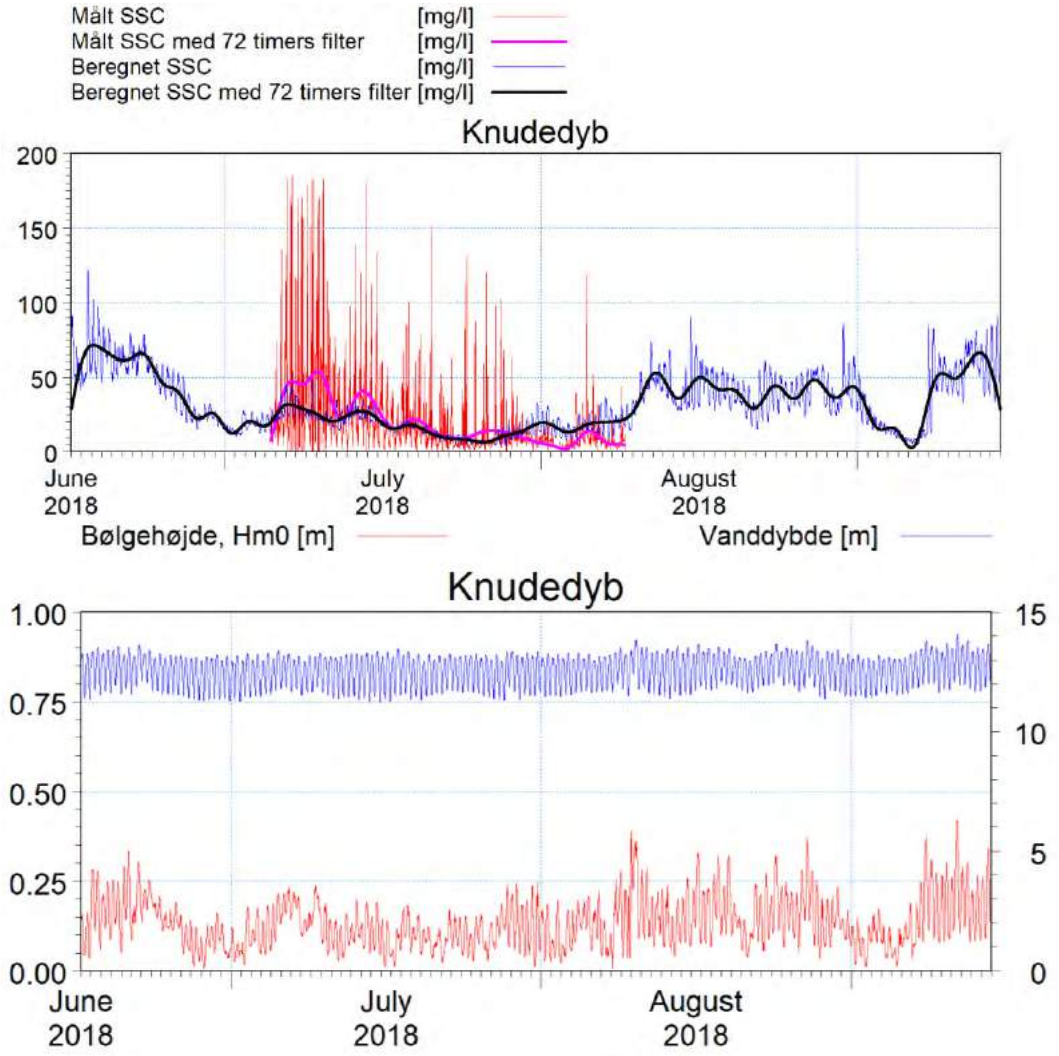
Figur 7-42 viser en sammenligning af målte og modellerede sedimentkoncentrationer i Knudedyb samt vanddybde og bølgehøjde ved måleren. Det ses, at sedimentkoncentrationerne varierer med tidevandet i både målinger og model. Turbiditetsmåleren er placeret cirka 0,5-1 meter over bunden, men som det fremgår af plottet på stor vanddybde. Det må derfor forventes at der er væsentlig større variation og højere koncentrationer i målingerne end i de modellerede værdier, idet disse repræsenterer middel over dybden og dermed responderer væsentligt langsommere. Dette ses også at være tilfældet. I Knudedyb stationen er der ikke nogen sammenhæng mellem bølgehøjderne og turbiditetsniveauet, hvilket skyldes at de vindgenerede bølger ikke har nogen mærkbar påvirkning ved bunden på så stor vanddybde. Det ses til gengæld, at der er en tydelig sammenhæng mellem vindens styrke og turbiditetsniveauet. Årsagen til dette er, at tidevandets bringer turbidt vand forbi sensoren fra områder hvor vinden og bølgernes påvirkning har været i stand til at opslæmme større mængder af sediment. Som nævnt indeholder målingerne en stor dynamik grundet placeringen nær ved bunden. Der er derfor beregnet en 72 timers glidende middel for måling og model, hvilket gør en sammenligning lettere. Det ses, at der er en pæn overensstemmelse i perioden med målinger.

Figur 7-43 viser en sammenligning af målte og modellerede sedimentkoncentrationer ved Diffuser samt vanddybde og bølgehøjde ved måleren. Det ses, at sedimentkoncentrationerne varierer med tidevandet i både målinger og model. Turbiditetsmåleren er placeret cirka midt i vandsøjlen cirka 6 meter over bunden. Det må derfor forventes, at der er den nogenlunde samme dynamik i det målte og modellerede signal, men at målingernes middelniveau bør være lidt lavere end det modellerede middelniveau over dybden. Det ses, at der i denne station er en

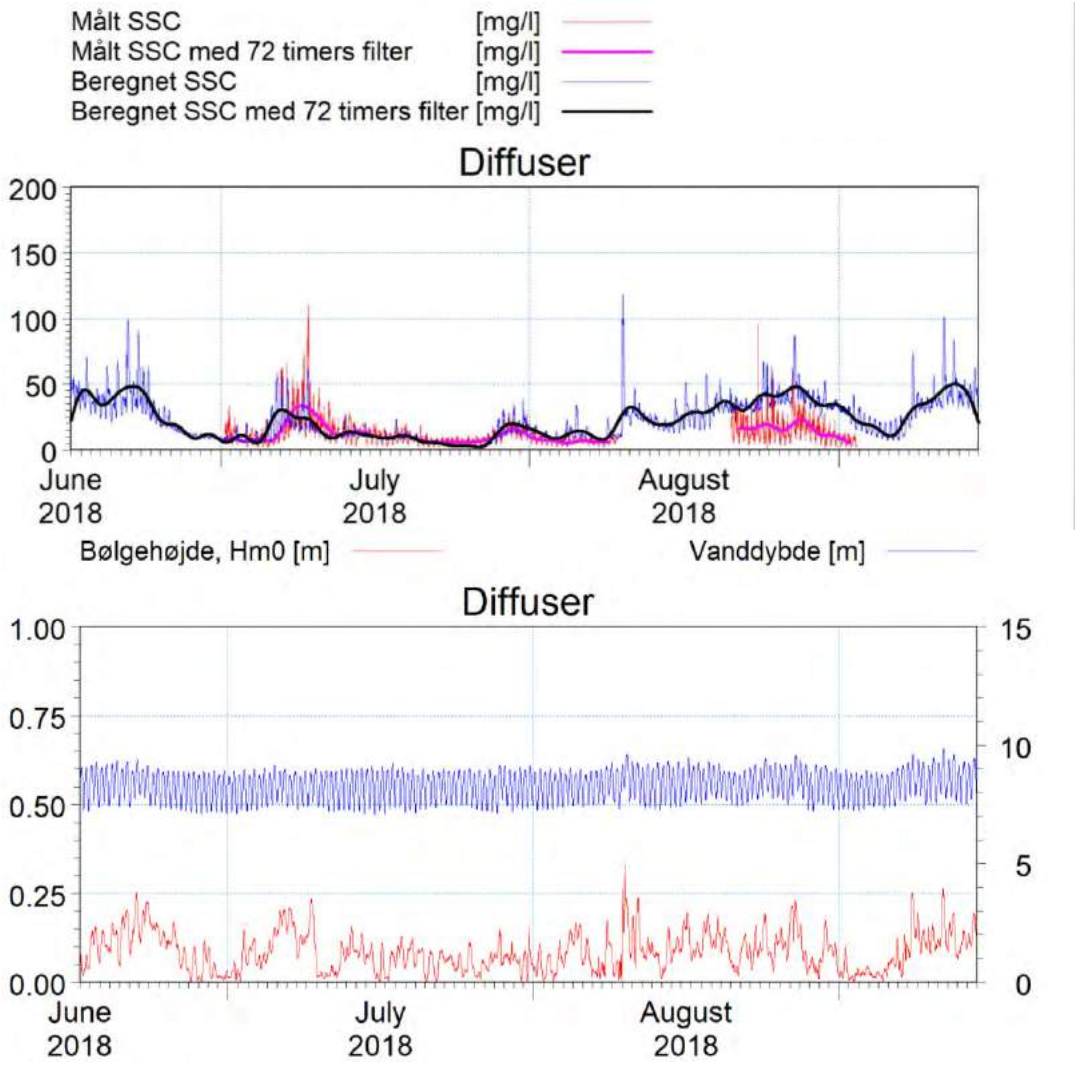
sammenhæng mellem bølgehøjderne og de målte/modellerede sedimentkoncentrationer. Desuden ses klapningerne i juli og august 2018 at løfte sedimentkoncentrationsniveauet lidt.



Figur 7-41 Målt vind ved Esbjerg i sommerperiode.
Sort kurve: Middelvind, blå kurve: Middelvindretning.

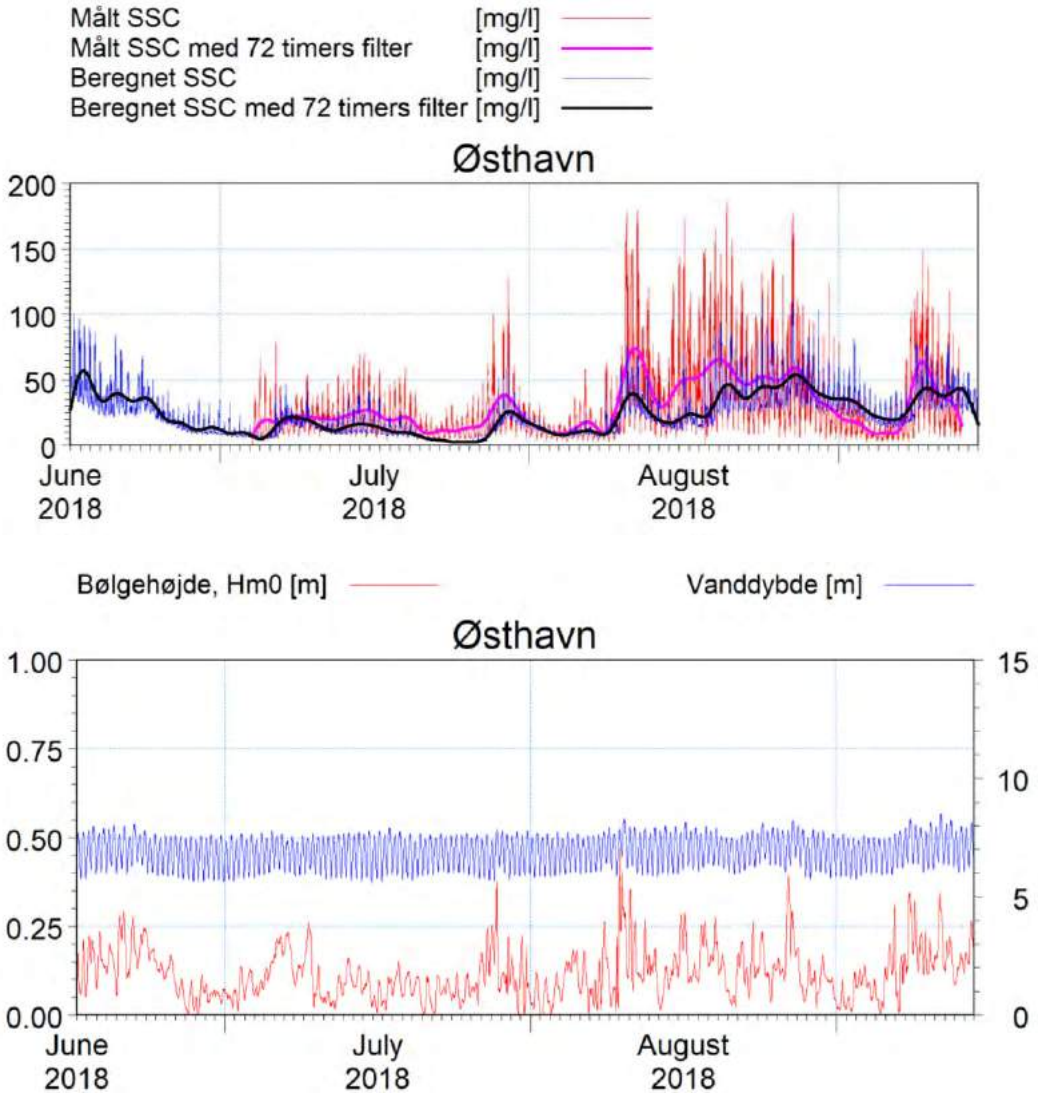


Figur 7-42 Forhold ved Knudedyb.
Øverst: Sammenligning af målte og modellerede sediment-koncentrationer i sommer-perioden. Desuden er der vist kurver med 72 timers lavpasfilter. Nederst: Bølgehøjde (venstre akse) og vanddybde (højre akse) ved målestation.



Figur 7-43 Forhold ved Diffusor.
Øverst: Sammenligning af målte og modellerede sediment-koncentrationer i sommer-perioden. Desuden er der vist kurver med 72 timers lavpasfilter. Nederst: Bølgehøjde (venstre akse) og vanddybde (højre akse) ved målestation.

Figur 7-44 viser en sammenligning af målte og modellerede sedimentkoncentrationer ved Østhavn samt vanddybde og bølgehøjde ved måleren. Det ses, at sedimentkoncentrationerne varierer med tidevandet i både målinger og model. Turbiditetsmåleren er placeret cirka 0,5-1 meter over bunden på et sted hvor vanddybden varierer mellem 6-8 meter. Det må derfor forventes, at der er væsentlig større variation i målingerne end i de modellerede værdier, idet disse repræsenterer middel over dybden og dermed responderer væsentligt langsommere. Stationen er placeret relativt tæt på klapplads Ø og turbiditetsniveauet vil derfor være væsentlig påvirket i de perioder, hvor der klappes. Det ses, at der også i denne station er en sammenhæng mellem bølgehøjderne og de målte/modellerede sedimentkoncentrationer. Den største påvirkning kommer dog fra klapningerne i juli og august 2018 som løfter sediment-koncentrationsniveauet markant. Som nævnt indeholder målingerne en stor dynamik grundet placeringen nær ved bunden. Der er derfor beregnet en 72 timers glidende middel for måling og model, hvilket gør en sammenligning lettere. Det ses, at der er en pæn overensstemmelse i perioden med målinger. Der er muligvis for meget finkornet sediment i modellen efter klapningerne i august, idet der ikke er korrigeret for et sandindhold i det klappede materiale.

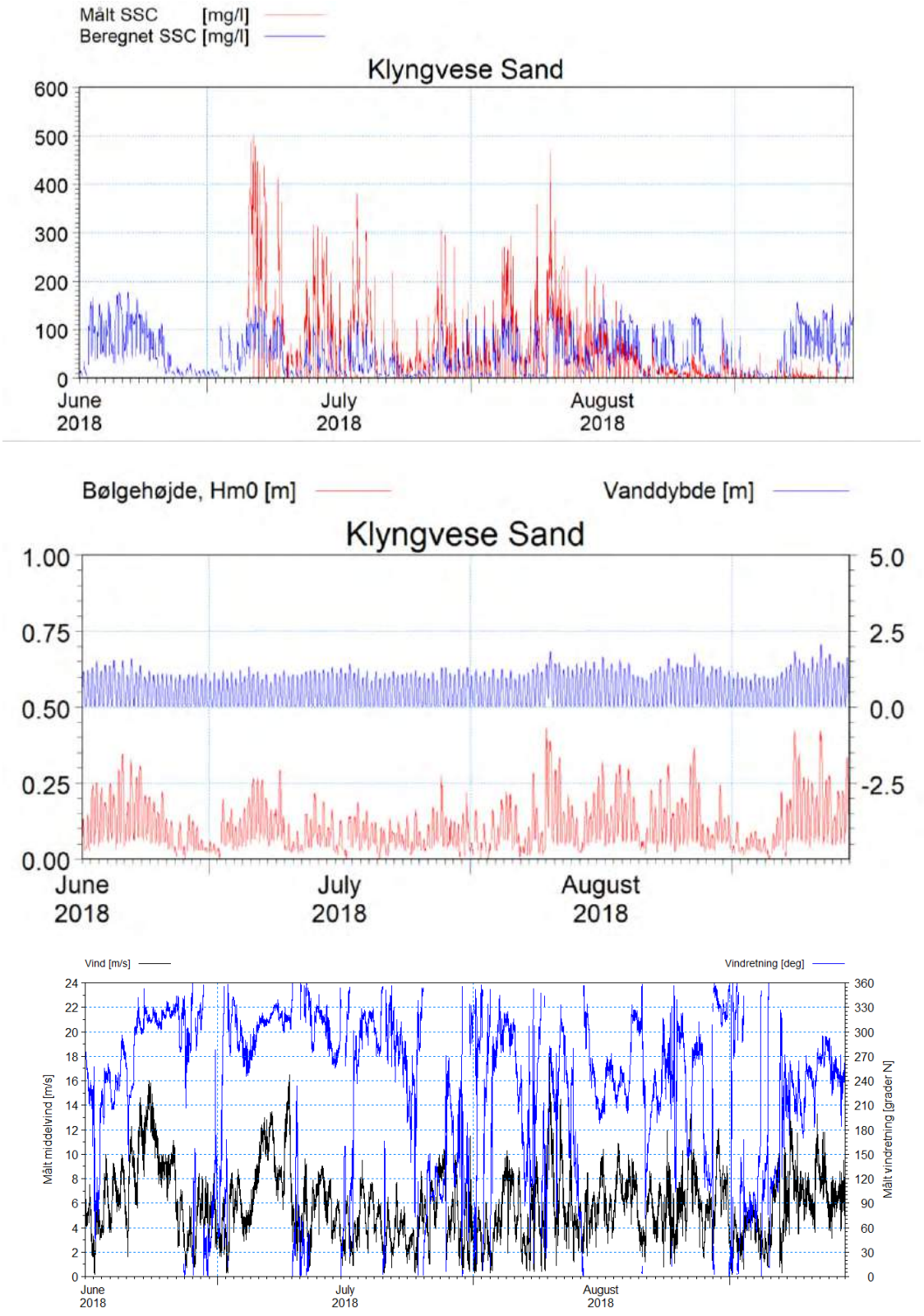


Figur 7-44 Forhold ved Østhavn.
Øverst: Sammenligning af målte og modellerede sediment-koncentrationer i sommer-perioden. Desuden er der vist kurver med 72 timers lavpasfilter. Nederst: Bølgehøjde (venstre akse) og vanddybde (højre akse) ved målestation.

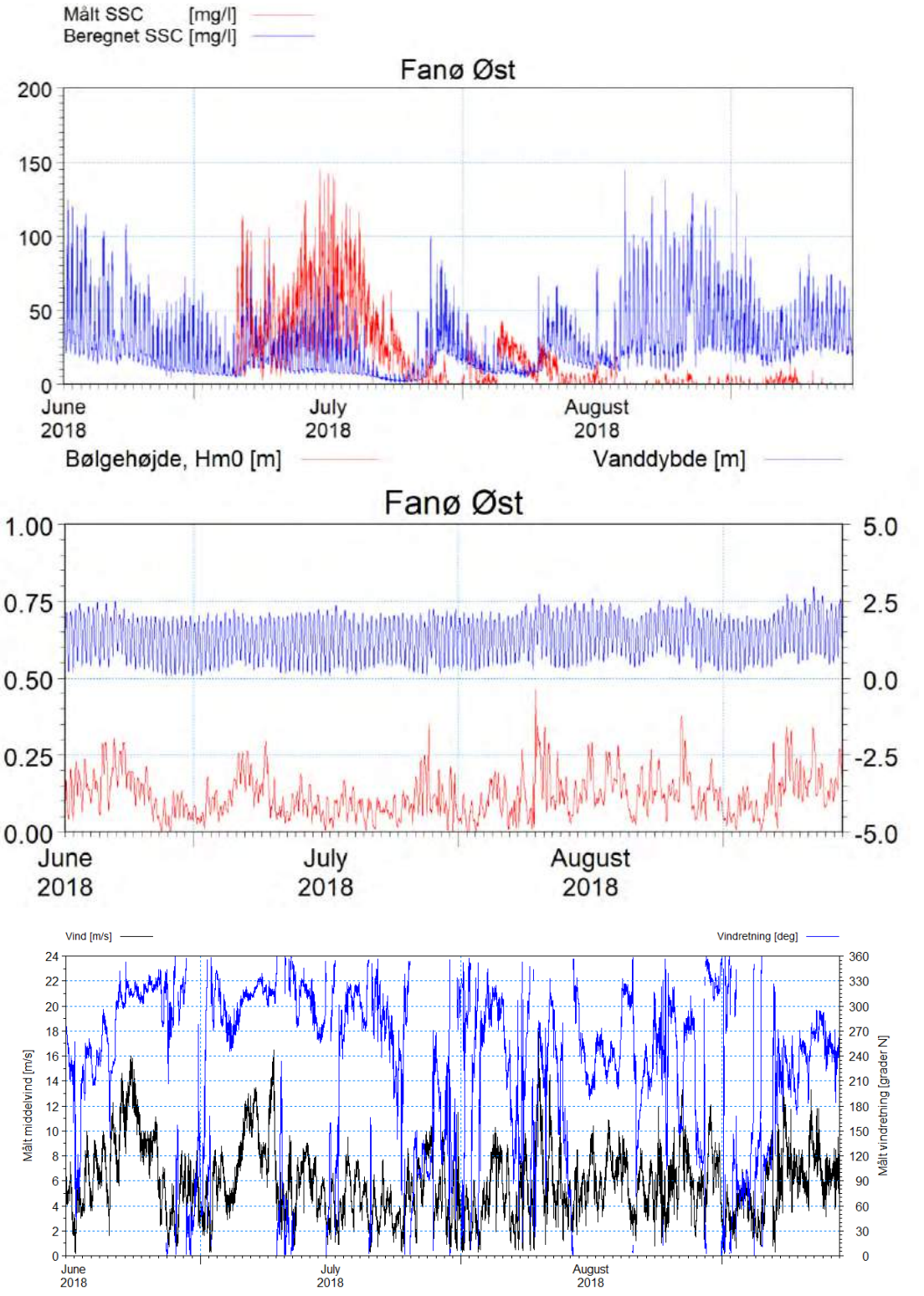
Figur 7-45 viser en sammenligning af målte og modellerede sedimentkoncentrationer ved Klyngvese Sand samt vanddybde og bølgehøjde ved måleren. Det ses, at sediment-koncentrationerne varierer med tidevandet i både målinger og model. Turbiditetsmåleren er placeret cirka 0,5 meter over bunden på et sted hvor vanddybden varierer mellem 0-2 meter. Området er derfor tørlagt i en del af tidevandscyklus. I modellen slås bølgepåvirkning fra når vanddybden er under 0,15 meter. Der opnås derfor lidt lavere peak værdier end de målte. Det ses, at de høje turbiditetsniveauer hænger sammen med vindstyrken og til dels også bølgehøjden. Selv om sedimentkoncentrationerne er høje er mængderne små i forhold til ved de tre foregående stationer, idet de høje koncentrationer optræder ved lille vanddybde og i høj grad er lokalt genererede.

Figur 7-46 viser en sammenligning af målte og modellerede sedimentkoncentrationer ved Fanø Øst samt vanddybde og bølgehøjde ved måleren. Det ses, at sedimentkoncentrationerne varierer kraftigt med tidevandet i både målinger og model. Turbiditetsmåleren er placeret cirka 0,5 meter over bunden på et sted hvor vanddybden ifølge modellen varierer mellem 0,2-2,2 meter. Der kan ikke identificeres nogen klar sammenhæng med vind eller bølger. Klapningerne påvirker sedimentkoncentrationsniveauet i modellen. I august er målingerne dårlige og giver ikke noget rigtigt billede af forholdene ved lokaliteten. I juli måned er der et rimeligt sammenfald

mellem målinger med model. Efterfølgende er det som om at instrumentet ikke måler rigtigt. Det kan muligvis skyldes de høje turbiditetsniveauer, som har ført til en tilstopning af instrumentet.



Figur 7-45 Forhold ved Klyngvese Sand.
Øverst: Sammenligning af målte og modellerede sediment-koncentrationer i sommer-perioden. Midt: Bølgehøjde (venstre akse) og vanddybde (højre akse) ved målestation. Nederst: Målt middelvind og vindretning.



Figur 7-46 Forhold ved Fanø Øst.
Øverst: Sammenligning af målte og modellerede sediment-koncentrationer i sommer-perioden. Midt: Bølgehøjde (venstre akse) og vanddybde (højre akse) ved målestation. Nederst: Målt middelvind og vindretning.

Generelt set fanger modellen de sammen trends og niveauer, som er fundet i målingerne. Hovedvægten er lagt på stationerne ved Diffuser, Østhavn og Knudedyb, da det er her sedimentfluxen er størst og bestemmende for den overordnede dynamik. Der er lagt mindre

vægt på stationer Klyngvese Sand og Fanø Øst, da disse er placeret hvor måleren ofte tørlægges i løbet af tidevandsperioden og da sedimentkoncentrationerne hovedsagelig er genereret af lokal vind- og bølgepåvirkning. Ydermere er de absolutte mængder af sediment i vandsøjlen små selvom sedimentkoncentrationerne er høje. De høje koncentrationer optræder typisk i forbindelse med lav vanddybde. Det gør sig ikke gældende på samme måde ved Knudedyb, Østhavn og Diffuser.

7.6.4 Den tidsmæssige variation af sedimentkoncentrationer i vinterperiode

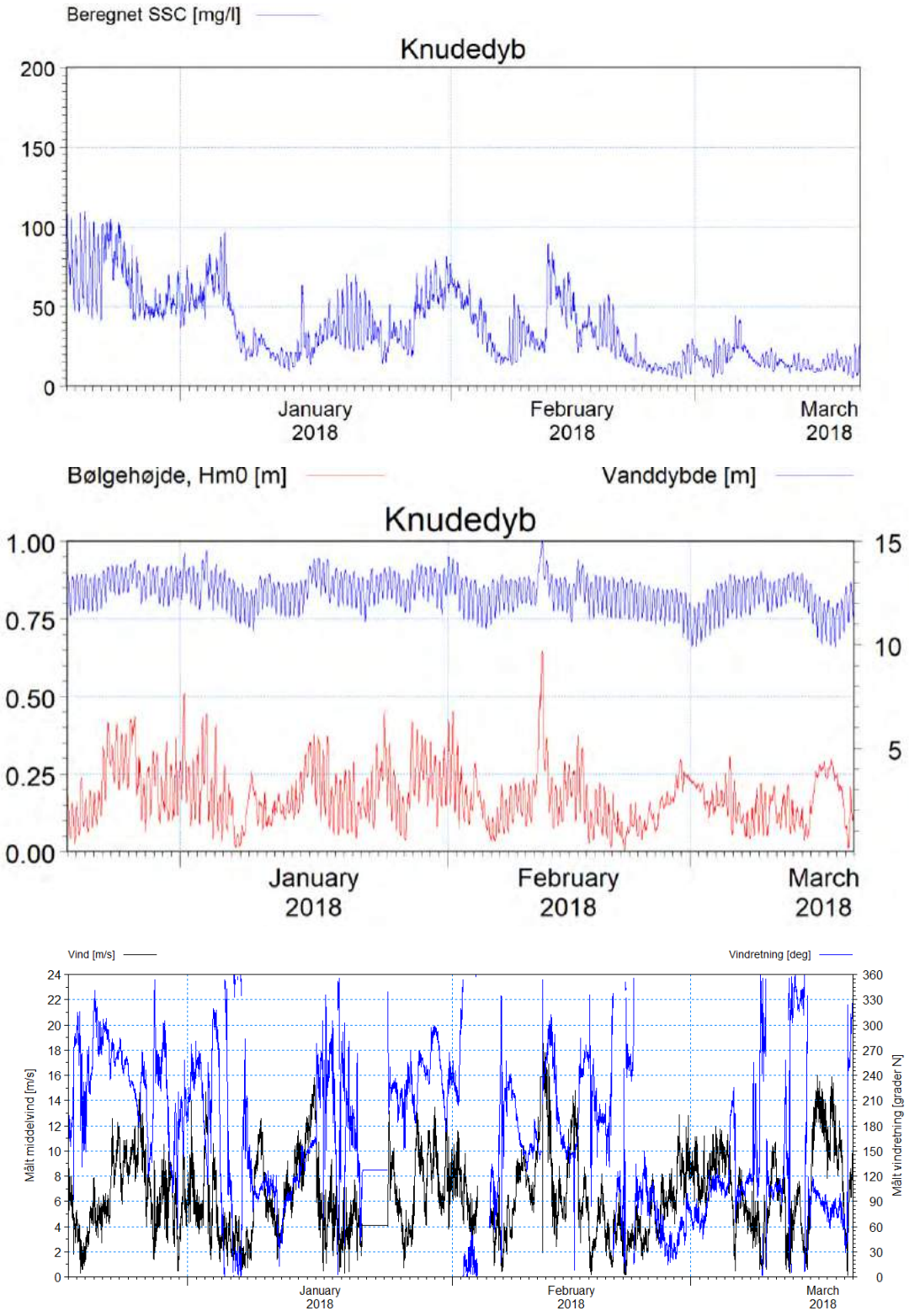
Der er ikke data til at verificere modellens sedimentkoncentrationer i vinterperioden, men turbiditeten vil generelt være højere i vinterhalvåret, idet påvirkning fra vind og bølger er kraftigere. Desuden er der større variationer i middelvandsstandsniveauet, som kan påvirke hvilke områder der er vanddækkede i løbet af en tidevandscyklus. Høje turbiditetsniveauer kan være relateret til vind og bølgepåvirkning eller spredning af sedimentfaner i forbindelse med klapning. I tillæg til dette er der formentlig også en effekt af vandtemperaturen, idet vandets viskositet falder i takt med vandtemperaturen, og som ifølge Stokes lov medfører en lavere faldhastighed af det opslæmmede sediment. Endelig er det tænkeligt at en lavere biologisk aktivitet kan påvirke, kriterierne for erosion af bundsedimentet.

De af modellen beregnede sedimentkoncentrationer er vist i Figur 7-47 sammen med vanddybde, bølgehøjde og målt vind og vindretning ved måleren i Knudedyb. Det ses, at de generelle niveauer er lidt højere i vinterperioden end for sommerperioden, selvom der klappes mere materiale i sommerperioden. Det ses, at initialbetingelsen skaber en lidt høj koncentration i begyndelsen af perioden, men at niveauerne efterfølgende hænger fint sammen med vind og bølgehøjder.

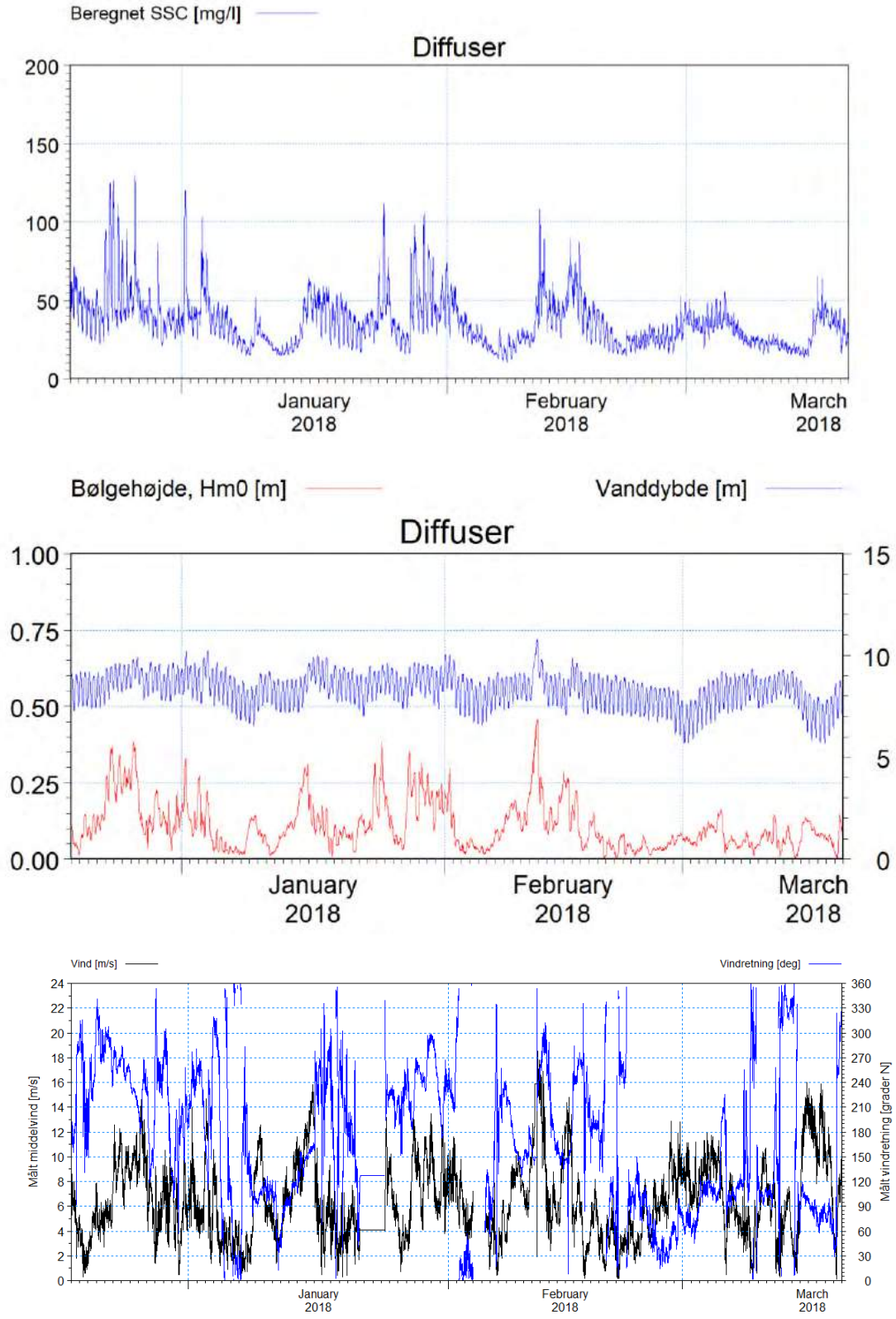
Tilsvarende plots er vist i Figur 7-48 for Diffuser. Det ses, at sedimentkoncentrationerne hænger sammen med vindstyrken og bølgehøjden. Effekter fra klapning er ikke signifikante, men der klappes også væsentlig mindre materiale end i sommerperioden. Til gengæld er det generelle niveau højere end i sommerperioden.

Figur 7-49 viser de beregnede sedimentkoncentrationer sammen med vanddybde, bølgehøjde, målt vind og vindretning ved måleren i Østhavn. Der klappes ikke på klapplads Ø i vinterperioden, så sedimentkoncentrationerne er ikke påvirket af klapningsbidrag. Det ses også her, at der er en sammenhæng mellem høje sedimentkoncentrationer og vindstyrken og bølgehøjden.

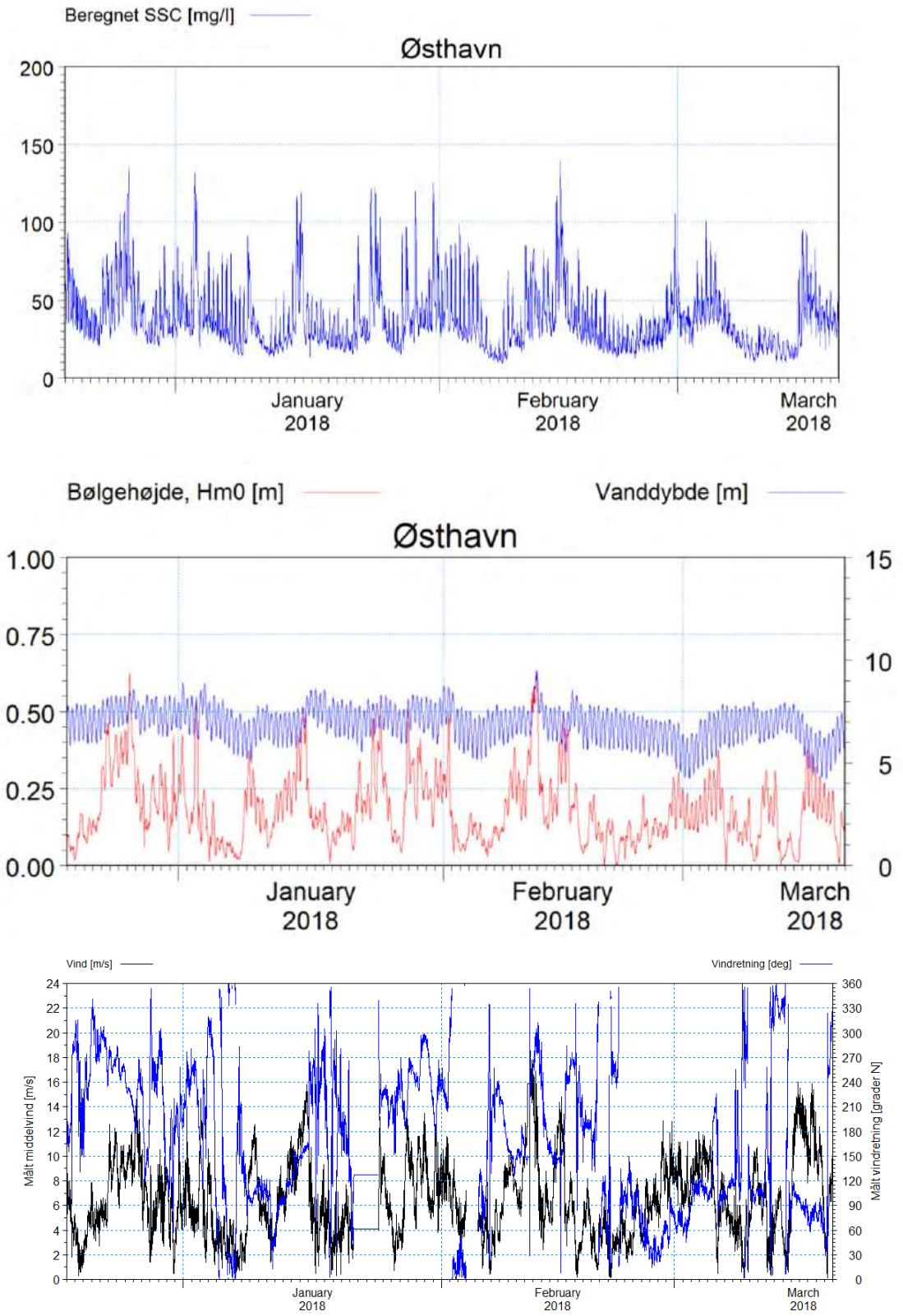
Figur 7-50 og Figur 7-51 viser de beregnede sedimentkoncentrationer, vanddybder, bølgehøjder og den målte vind og vindretning ved Klyngvese Sand og Fanø Øst stationerne. Ved Klyngvese Sand er der en fin sammenhæng mellem sedimentkoncentrationerne og bølgehøjderne, mens sammenhængen ved Fanø Øst er mere diffus.



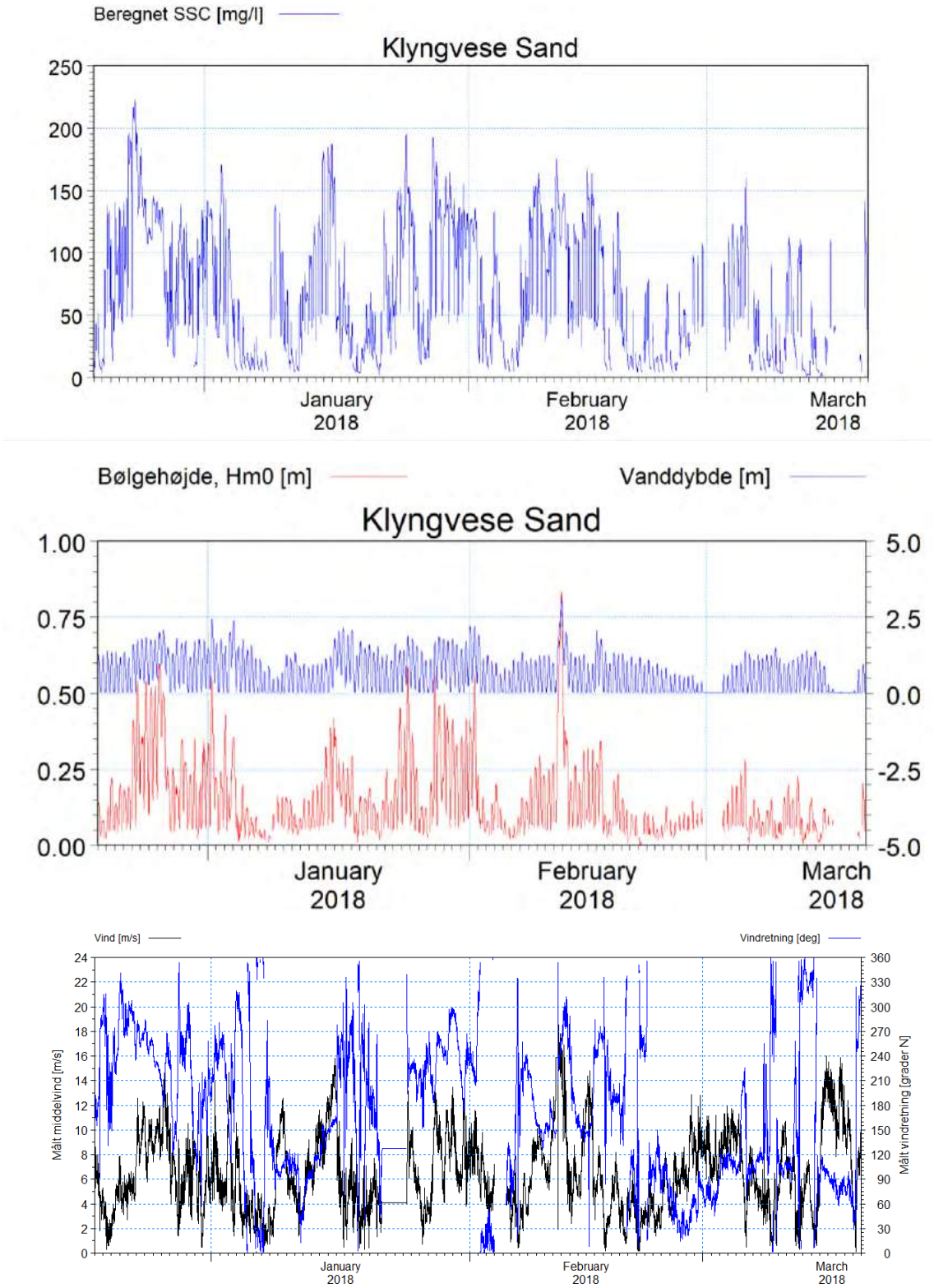
Figur 7-47 Forhold ved Knudedyb.
Øverst: Modellerede sedimentkoncentrationer i vinterperioden. Midt: Bølgehøjde og vanddybde ved målestation. Nederst: Målt vind og vindretning.



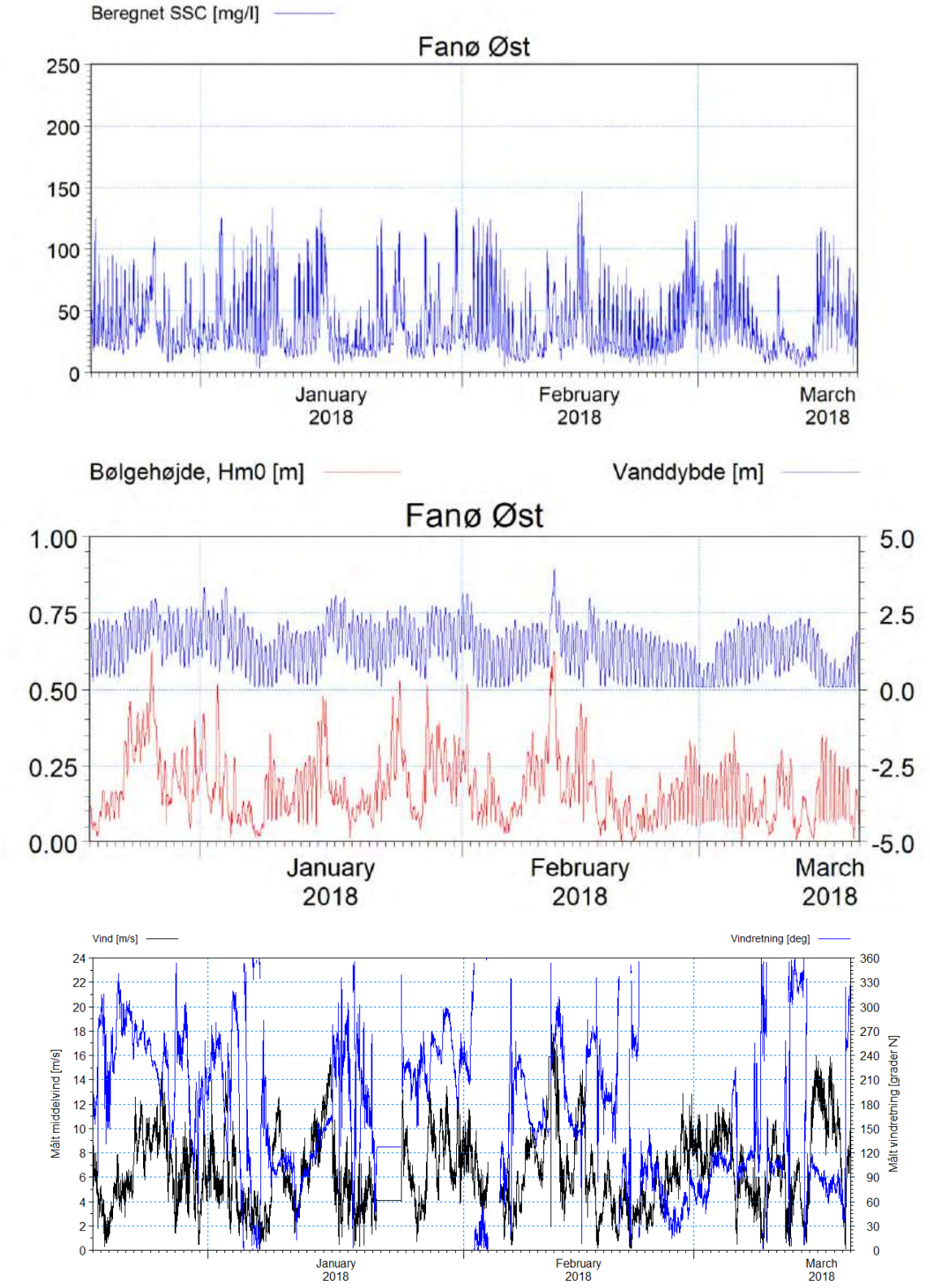
Figur 7-48 Forhold ved Diffuser.
Øverst: Modellerede sedimentkoncentrationer i vinterperioden. Midt: Bølgehøjde og vanddybde ved målestation. Nederst: Målt vind og vindretning.



Figur 7-49 Forhold ved Østhavn.
Øverst: Modellerede sedimentkoncentrationer i vinterperioden. Midt: Bølgehøjde og vanddybde ved målestation. Nederst: Målt vind og vindretning.



Figur 7-50 Forhold ved Klyngvese Sand.
Øverst: Modellerede sedimentkoncentrationer i vinterperioden. Midt: Bølgehøjde og vanddybde ved målestation. Nederst: Målt vind og vindretning.



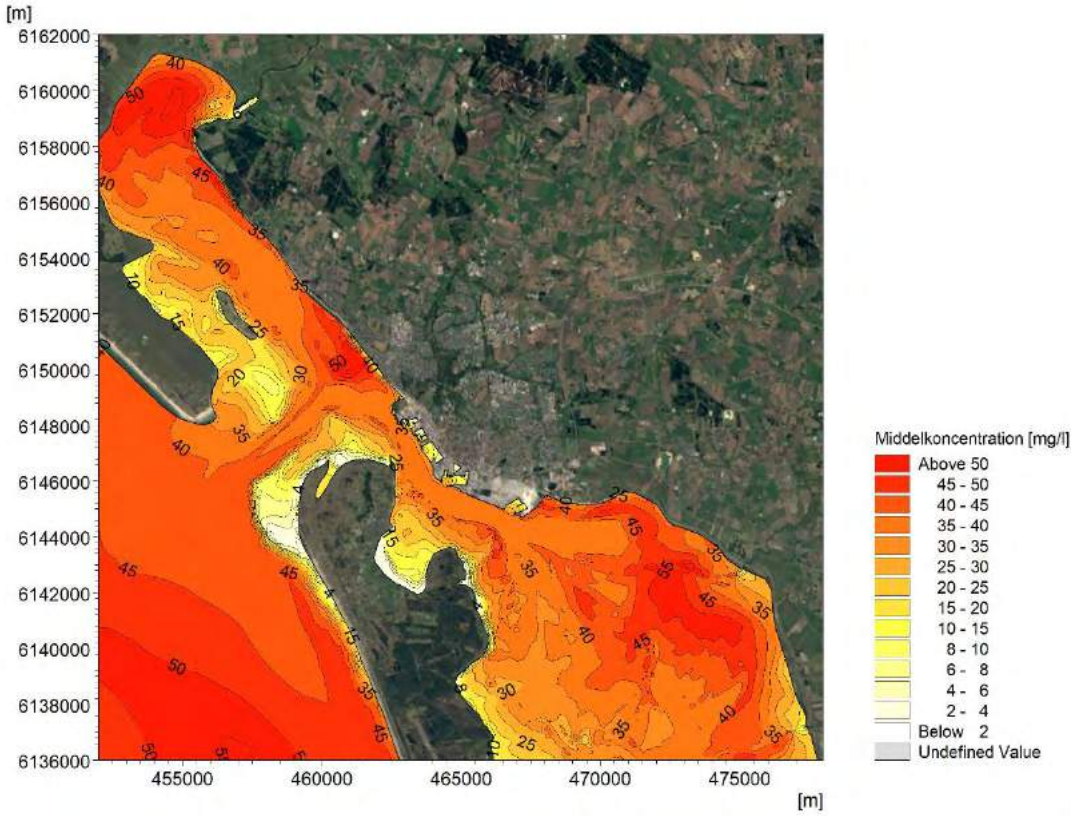
Figur 7-51 Forhold ved Fanø Øst.
Øverst: Modellerede sedimentkoncentrationer i vinterperioden. Midt: Bølgehøjde og vanddybde ved målestation. Nederst: Målt vind og vindretning.

7.6.5 Sedimentkoncentrationer og overskridelseshyppighed

Til at give et mere overordnet overblik af hvordan de typiske turbiditetsniveauer er inde i tidevandsområdet er der for hver af de modellerede sæsonperioder beregnet middelkoncentration, maksimum koncentration samt overskridelseshyppigheder af henholdsvis 50 mg/l og 100 mg/l.

7.6.5.1 Sedimentkoncentrationer i vinterperiode

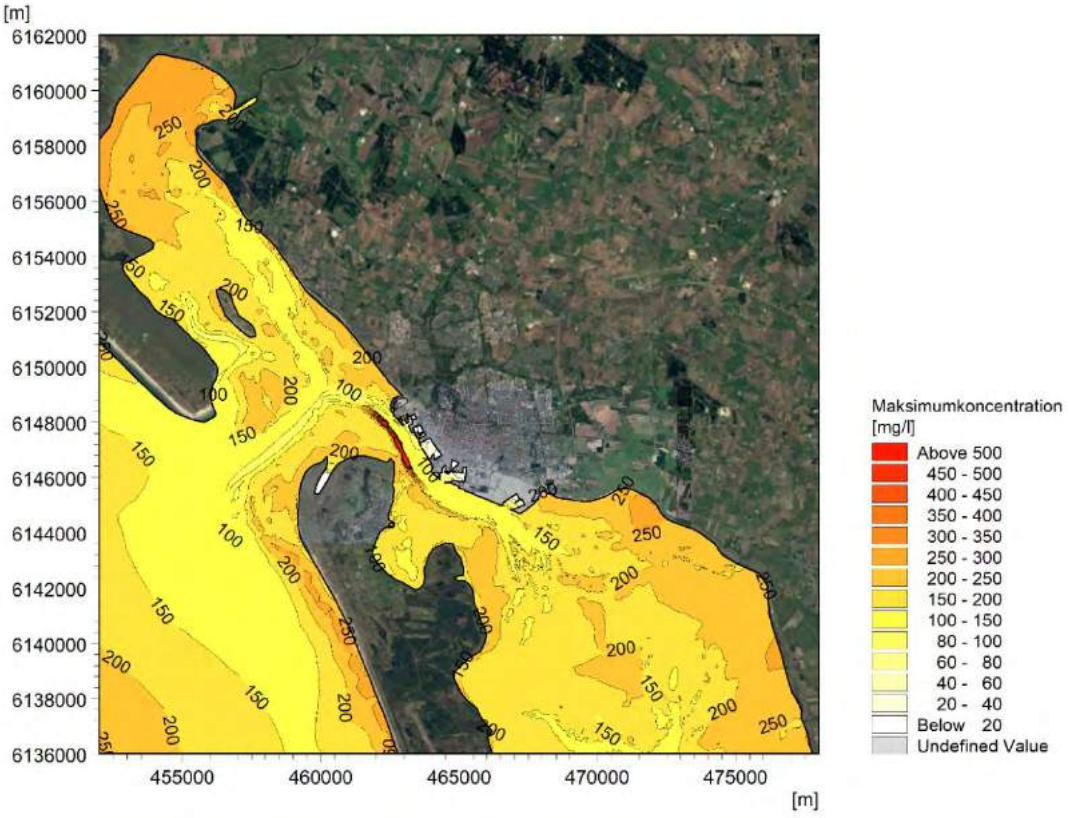
Figur 7-52 viser dybdemidlet middelkoncentrationen i den modellerede vinterperiode, hvor påvirkninger fra vind og bølger generelt er større end i sommerperioden. Det ses af Figur 7-52, at turbiditetsniveauet generelt er højt i hele området, men særlig højt i Ho Bugt og området ved tidevandsskellet.



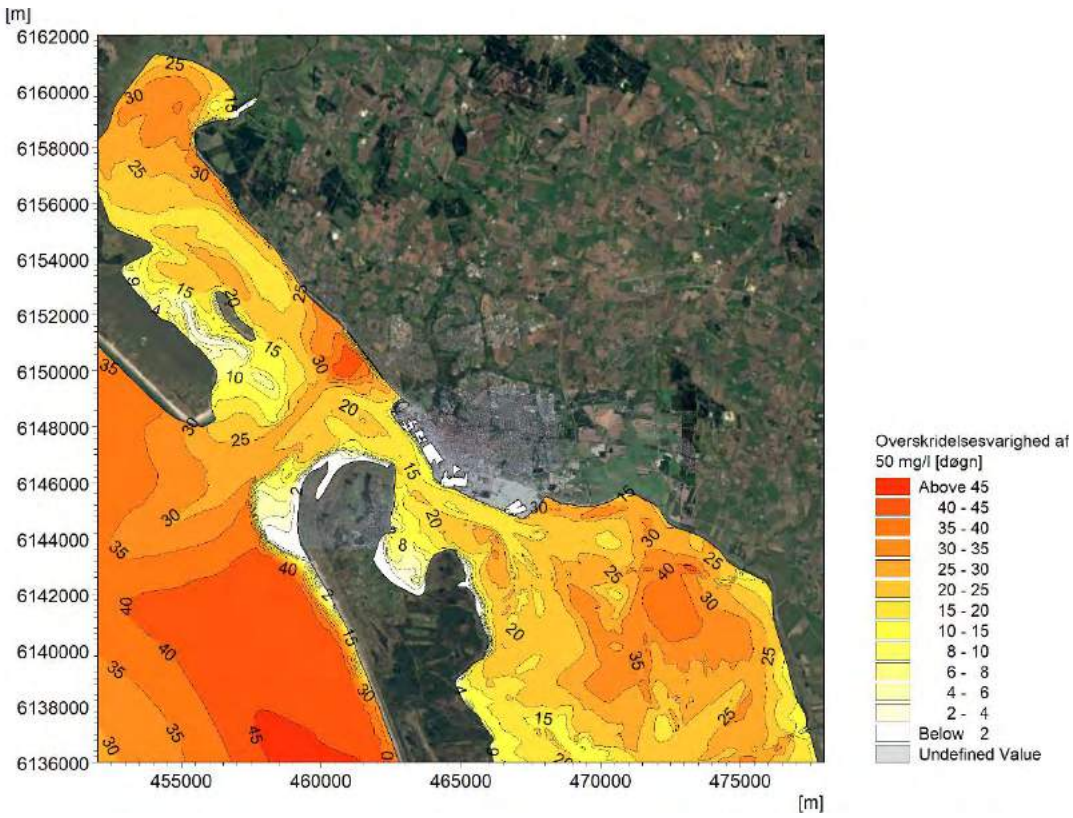
Figur 7-52 Modelleret middelkoncentration for baselineforhold og faktiske klapninger i vinterperioden.

Figur 7-53 viser maksimumkoncentrationen i løbet af den modellerede vinterperiode. Det ses, at niveauerne er særligt høje på klapplads N og E, hvor der klappes sediment. Der klappes ikke materiale på klapplads Ø i vinterperioden og maksimumniveauerne er derfor relativt lave i dette område i forhold til når der klappes.

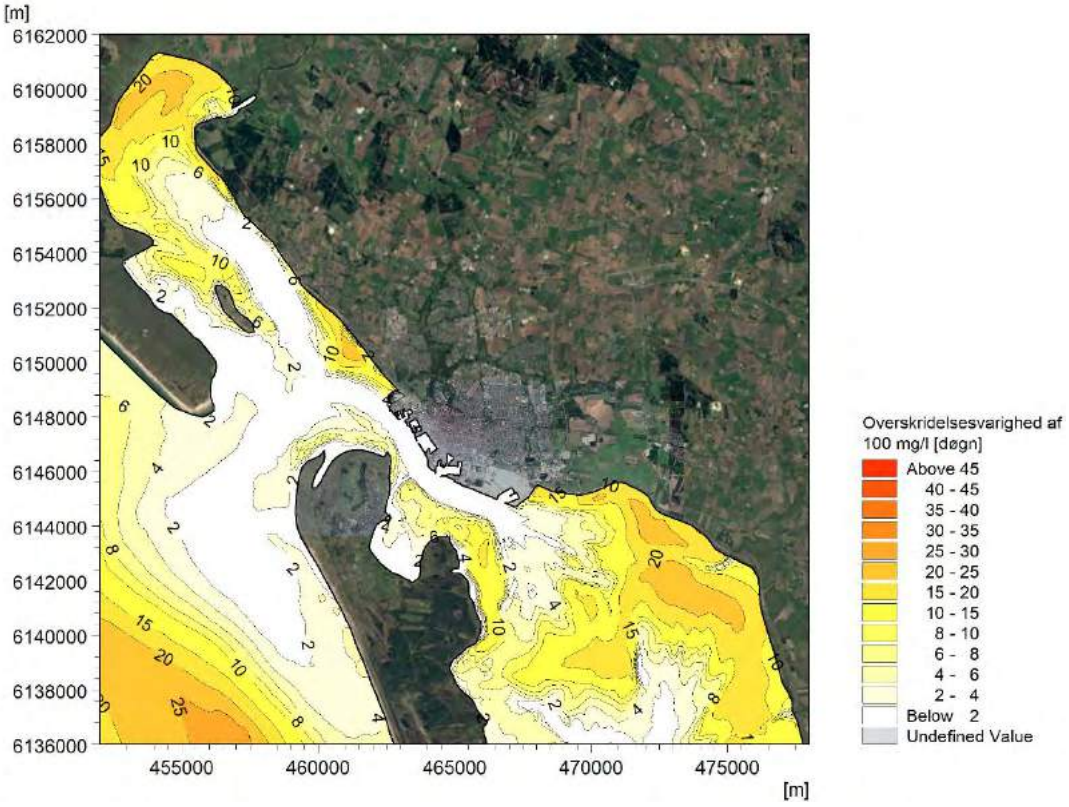
I Figur 7-54 og Figur 7-55 er overskridelseshyppigheder af henholdsvis 50 mg/l og 100 mg/l. beregnet og vist. Det ses, at det primært er i området omkring tidevandsskellet og i Ho Bugt at der er længerevarende perioder med sedimentkoncentrationer højere end 100 mg/l. I den permanent vanddækkede del forekommer det relativt sjældent (målt som akkumuleret varighed).



Figur 7-53 Modelleret maksimum koncentration for baselineforhold i vinterperioden.



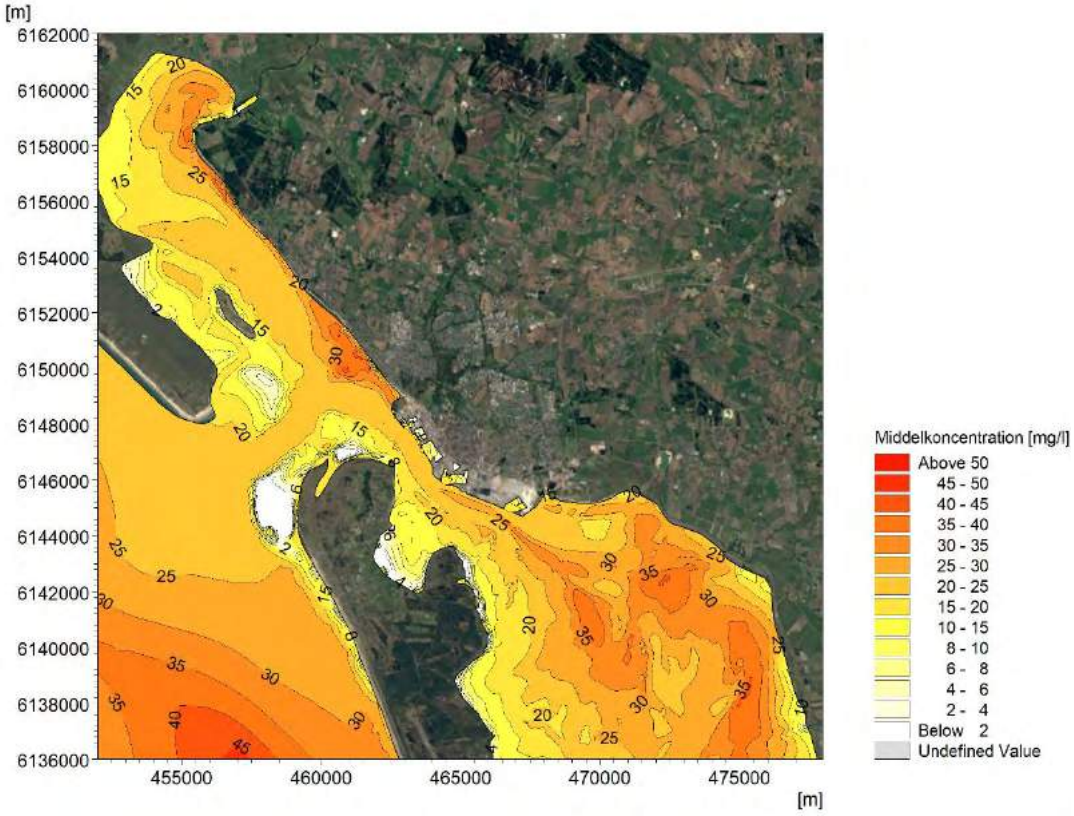
Figur 7-54 Overskridelsesvarigheder for baselineforhold med koncentrationer af finkornet sediment større end 50 mg/l i vinterperioden på 91 døgn.



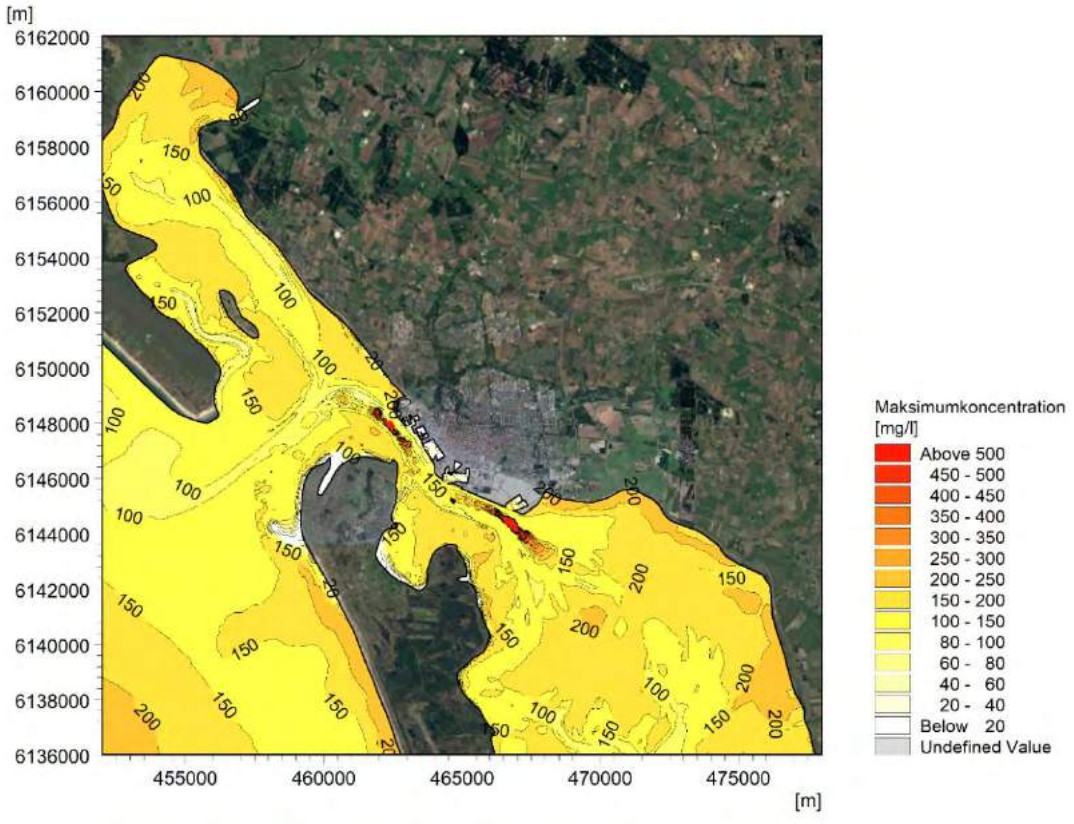
Figur 7-55 Overskridelsesvarigheder for baselineforhold med koncentrationer af finkornet sediment større end 100 mg/l i vinterperioden på 91 døgn.

7.6.5.2 Sedimentkoncentrationer i sommerperiode

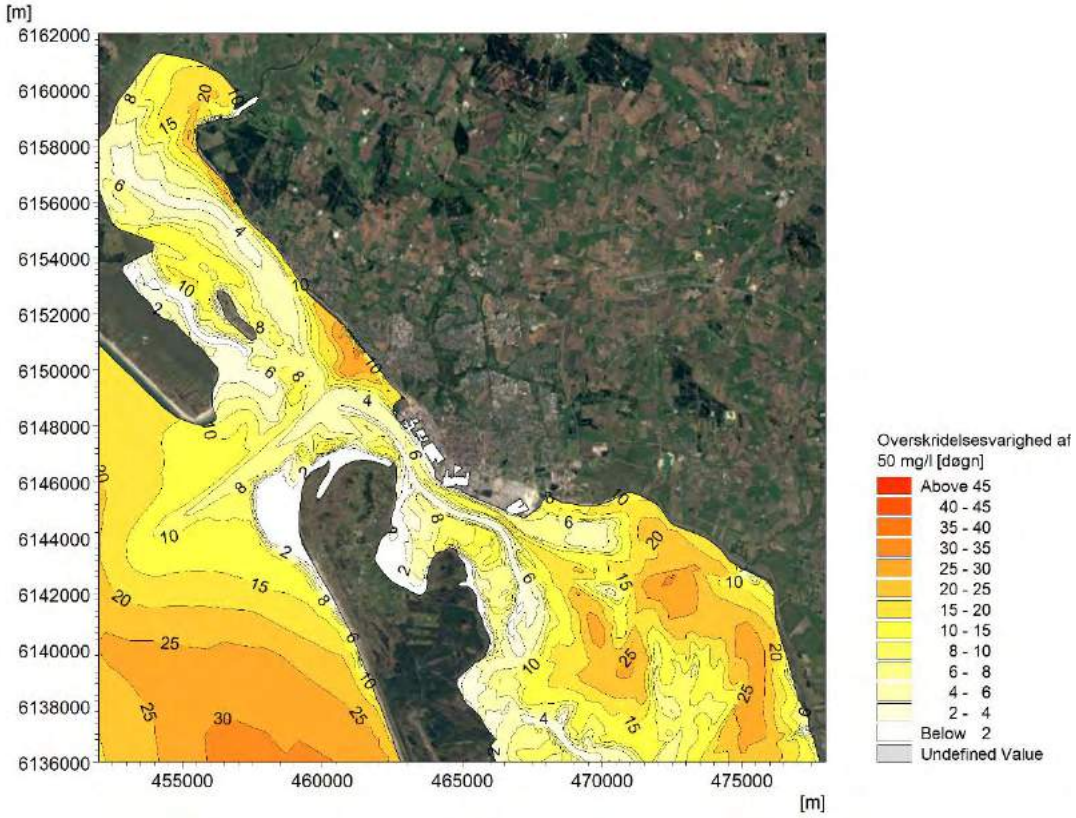
For den modellerede sommerperiode er middelkoncentration, maksimumkoncentration og overskridelseshyppigheder for henholdsvis 50 mg/l og 100 mg/l beregnet. Det ses af Figur 7-56, at turbiditetsniveauet generelt er noget lavere i sommerperioden, men forsat størst i Ho Bugt, nord for Esbjerg Marina og i området ved tidevandsskellet. Maksimumkoncentrationerne er lavere end i vinterperioden, med undtagelse af klapplads Ø, hvor der klappes betydelige mængder. Overskridelse af sedimentkoncentrationer på 50 mg/l og 100 mg/l forekommer noget mindre hyppigt end i vinterperioden. Da der klappes større mængder på klapplads Ø i sommerperioden, er der et lokalt forhøjet turbiditetsniveau på strækningen mellem Østhavn og Sønderhavn, som man ikke ser i vinterperioden.



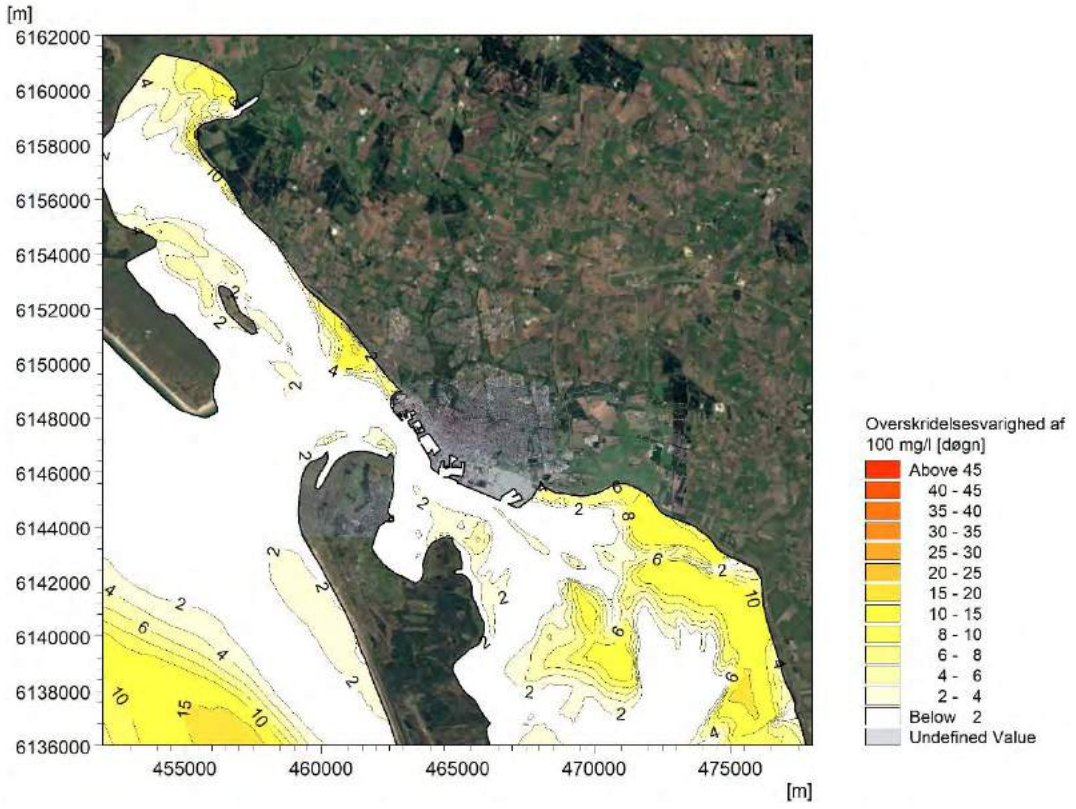
Figur 7-56 Modelleret middelkoncentration for baselineforhold og faktiske klapninger i sommerperioden.



Figur 7-57 Modelleret maksimumkoncentration for baselineforhold i sommerperioden.



Figur 7-58 Overskridelsesvarigheder for baselineforhold med koncentrationer af finkornet sediment større end 50 mg/l i sommerperioden på 91 døgn.



Figur 7-59 Overskridelsesvarigheder for baselineforhold med koncentrationer af finkornet sediment større end 100 mg/l i sommerperioden på 91 døgn.

7.6.6 Erosion og aflejring af finkornet sediment

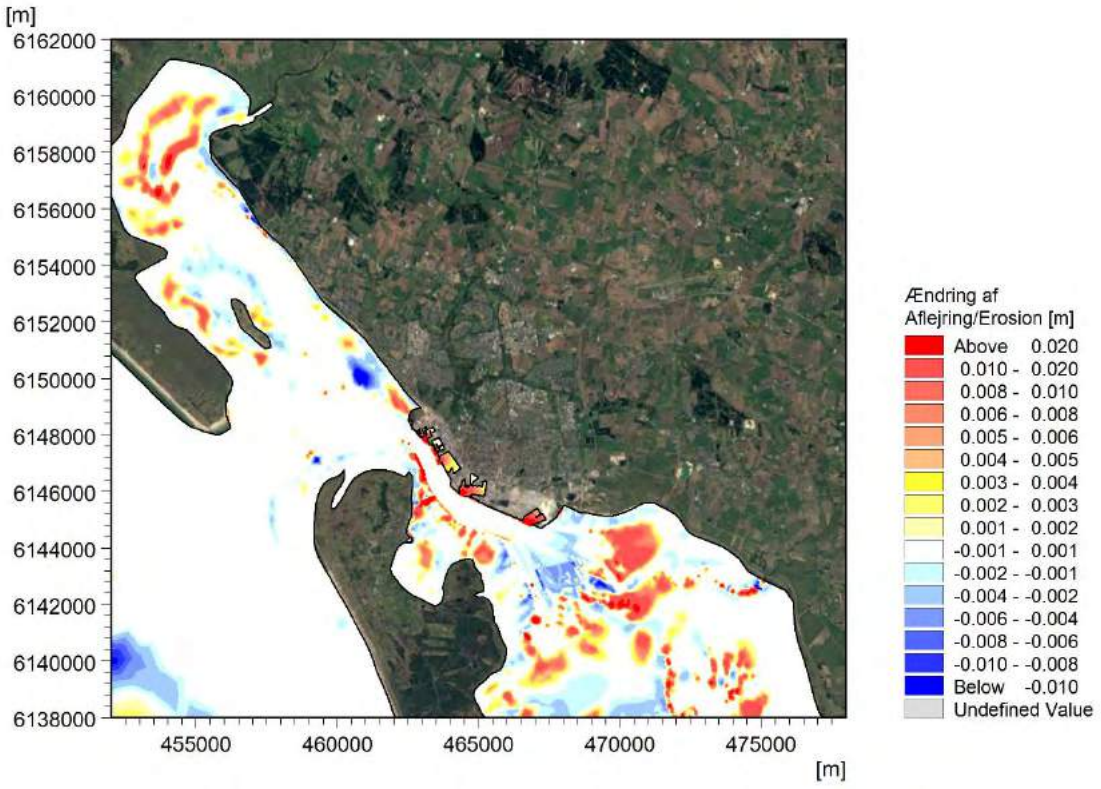
Med udgangspunkt i bundsammensætningskortet kan modellen omfordele sedimentet som følge af erosion og en efterfølgende aflejring. Der tilføres dog også sediment med de definerede klapningsbidrag (som i modellen udgør et ekstra bidrag til aflejringerne). Endelig er der randbetingelsen på de ydre offshore rande, som i perioder med indstrømning tilfører sediment og i perioder med udstrømning aftapper sediment, samt initialbetingelsen som ligeledes tilfører et kunstigt bidrag. Ved tolkningen af aflejringskortene er det derfor mere vigtigt at se på erosions- og aflejringsmønstrene fremfor at fokusere på den absolutte lagtykkelse.

Modellens sedimentation i havnebassinerne indeholder ikke effekten af den densitetsdrevne bundstrøm, der forventeligt udgør den største bidragsyder til havnesedimentation. Modellen beskriver kun bidraget fra den tidevandsinducerede aflejring, samt et bidrag fra det som føres ind af den horisontale hvirvel i bassinmundingen. Modellens tilførte mængder af sediment ved klapning er derfor større end det modellen tilfører havnebassinerne. Der vil derfor være en syntetisk nettotilførsel af sediment til modellens overordnede sedimentbudget, som gør at aflejringsmængderne på vaderne og omkring tidevandsskellet er overvurderede. Modellens estimerede aflejringstykkelser er derfor lettere overvurderede. Effekten af det ekstra bidrag af sediment elimineres, når der ses på den relative forskel, som dermed også angiver den faktiske effekt af udbygningen.

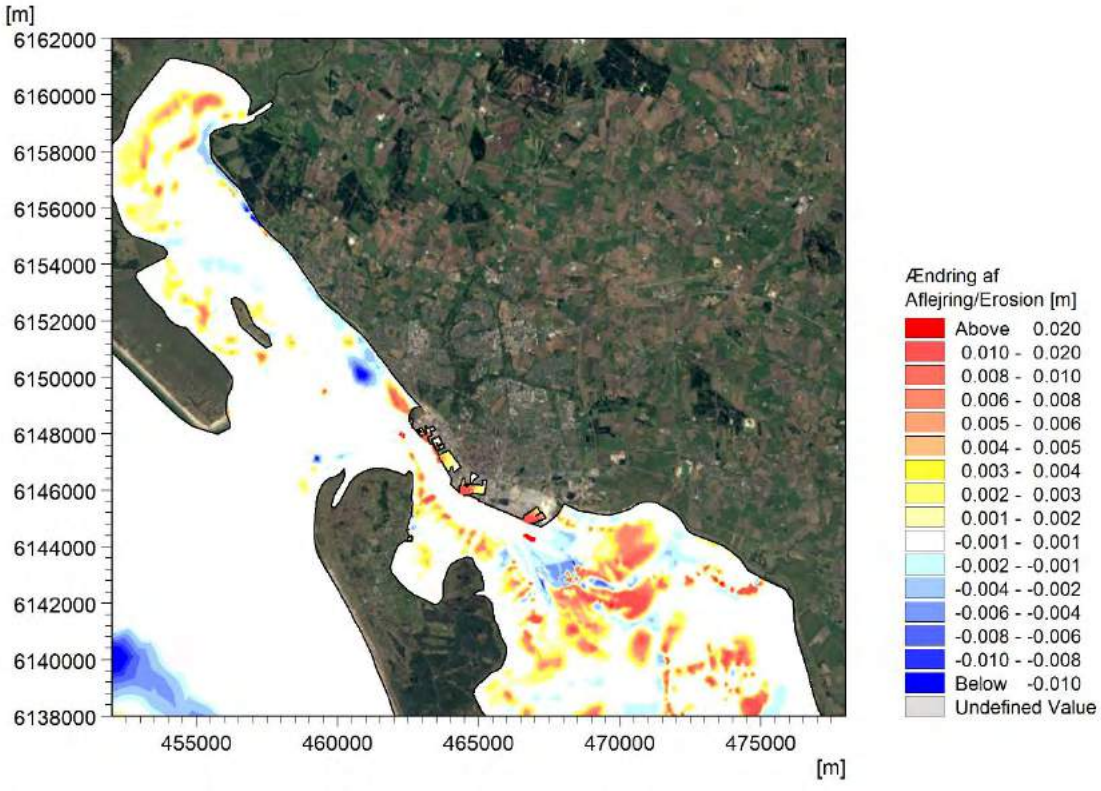
Med undtagelse af områderne i tidevandsområdet, hvor der optræder mudder er underlaget relativt fast, dvs. at det ikke synker mærkbart sammen når man går på det. Tørdensiteten af aflejret silt er derfor skønnet til 1.400 kg/m^3. I beregningerne af aflejringstykkelserne er der anvendt en densitet på 500 kg/m^3. Et mere reelt estimat for aflejringstykkelsen fås derfor ved at skalere de modelberegnede ændringer med en faktor 5/14 = 0,36. I de nedenfor viste aflejringskort er aflejringstykkelse blevet skaleret med nævnte faktor, svarende til en tørdensitet på 1400 kg/m^3.

Figur 7-60 viser den modellerede aflejring/erosion i vinterperioden med bidrag fra klapninger. Det ses, at der er områder med signifikant tendens til aflejring og områder, hvor finkornet materiale vil have svært ved at aflejres i større mængder. Aflejringer finder primært sted på vaderne øst for Fanø, ved tidevandsskellet og i Ho Bugt.

Et tilsvarende plot er vist for sommerperioden i Figur 7-61. I sommerperioden er der en tendens til lidt større aflejring, men der klappes også mere sediment i denne periode.



Figur 7-60 Aflejrings- og erosionsmønster i vinterperioden.

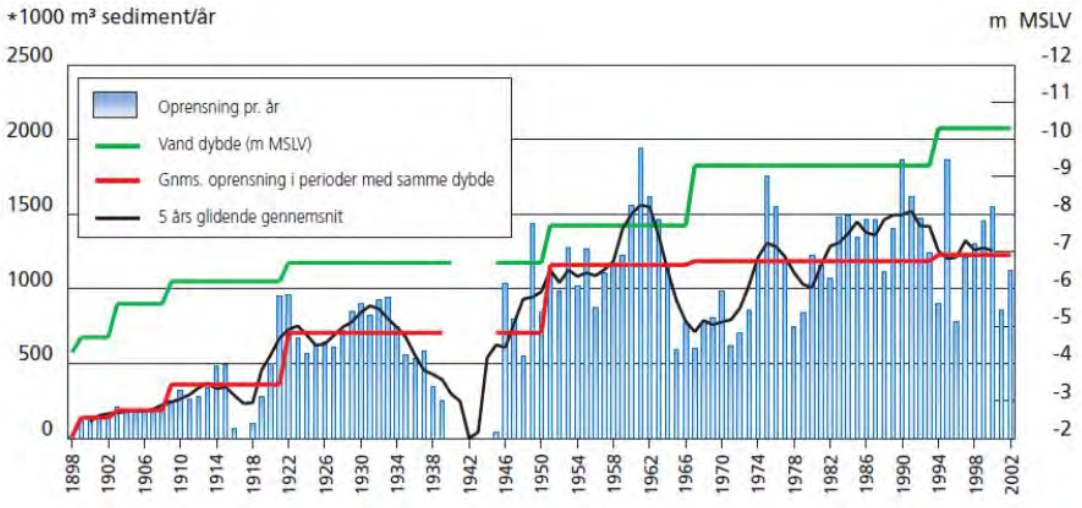


Figur 7-61 Aflejrings- og erosionsmønster i sommerperioden.

7.7 Den historiske udvikling og morfologi

7.7.1 Den historiske udvikling af Grådyb sejlrende

Grådyb og sejlrenden ind til Esbjerg er historisk set blevet uddybet af flere omgange, senest i 1994, hvor den blev uddybet fra -9.3 m MSLV til de nuværende -10.3 m MSLV, jf. Figur 7-62, ref. /2/. Uddybningen er sket mekanisk og afspejler derfor ikke naturens egen evne til at grave en rende gennem Grådyb og ind til Esbjerg. Det nuværende bundniveau i sejlrenden må formodes flere steder at ligge dybere end aflejringerne med marint sand, så der med stor sandsynlighed optræder forekomster af hårdt ler i sejlrendens underliggende lag, som vil være langt mere modstandsdygtigt mod erosion end fint alluvialt sand. Det samme gør sig gældende i området for havneudvidelsen, hvor der i forbindelse med bygningen af Østhavnen er uddybet betragtelige mængder. Den uddybede sejlrende ud for Esbjerg Havn må derfor formodes primært at bestå af hård ler bund overlejret af forholdsvis tynde sandlag. En indikation på dette ses af det morfologiske respons i Baselinesituationen, hvor modellen under forudsætning af en fuldt alluvial bund bestående af fint sand, forudsiger at sejlrenden på naturlig vis vil uddybes yderligere i forhold til nuværende niveau, og at skråningen langs med sejlrenden vil være udsat for kraftig erosion. Disse to tendenser har ikke kunne identificeres i de løbende batymetriske opmålinger, hvilket kan forklares med at den faktiske bund ikke er fuldt alluvial, men i stedet hård og modstandsdygtig mod erosion. Den samme effekt opstår når bundsedimentet er mere groft end antaget i simuleringerne og derved mindre mobiliserbart. Når bunden er modstandsdygtig mod erosion, dvs. ikke fuldt alluvial, vil de morfologiske ændringer blive mindre og ske langsommere end forudsagt af en modelbeskrivelse, som antager, at bunden er fuldt alluvial, altså at der er ubegrænsede mængder af sand til rådighed i det underliggende lag.



Figur 7-62 Den historiske udvikling af oprensningsmængder og vanddybden i Grådyb sejlrende i perioden 1898-2002, fra ref. /2/.

Den mekaniske uddybning af Grådyb har medført at tidevandsbølgen hurtigere kan forplante sig ind i Grådyb tidevandsområde, idet dennes udbredelseshastighed er proportional med kvadratroden af vanddybden. Uddybningerne har derfor medført at tidevandskellet (overgangen mellem Grådyb og Knudedyb tidevandsområde) med tiden er rykket længere mod syd. Omvendt er Esbjerg Havn blevet udvidet ved hjælp af opfyldninger, som har mindsket det vanddækkede areal og dermed også de tidevandsinducerede vandføringer i Grådyb.

7.7.2 Udbygningen af Esbjerg Havn

Esbjerg Havn er historisk set blevet udvidet gentagne gange og ikke mindst som følge af de forbedrede besejlingsforhold, som uddybningerne af Grådyb og sejlrenden har medført. Udbygningernes omfang er illustreret ved hjælp af luftfotografierne vist i Figur 7-63 - Figur 7-65. Billederne viser Esbjerg Havn og tidevandsområdet syd for i årene 1984, 2001 og 2016. Det ses, hvordan havnen er vokset i retning mod sydøst i takt med udbygning af Sønderhavn og Østhavn. Men billederne viser også hvor bemærkelsesværdigt lille påvirkning udbygningerne har haft på vaderne i tidevandsområdet. En væsentlig årsag til dette er, at sejlrenden er blevet uddybet og forlænget samtidig med udbygningerne således, at tidevandstrømmen er blevet fastholdt i løbet og kun i mindre grad spredt ud på vaderne.

Figur 7-63 Esbjerg Havn 1984.

Figur 7-64 Esbjerg Havn 2001.

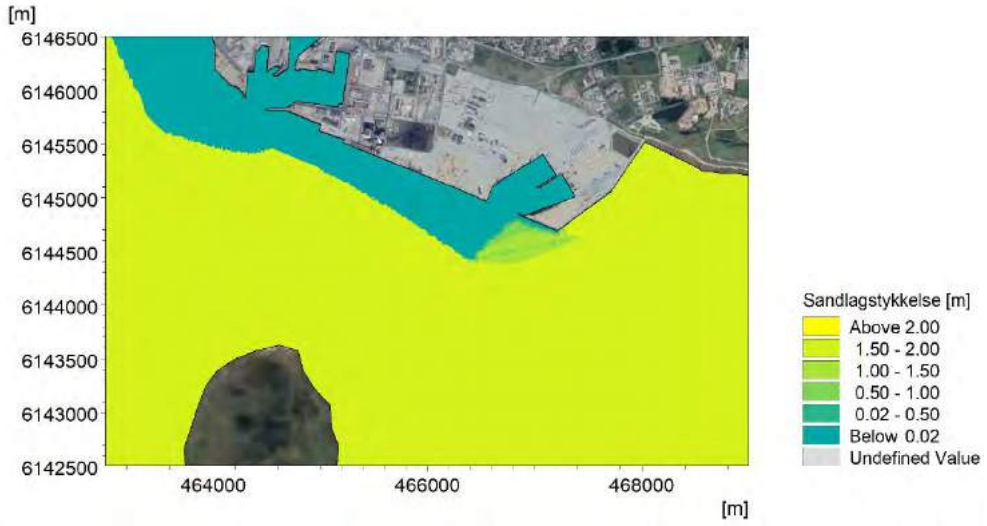
Figur 7-65 Esbjerg Havn 2016.

Før bygningen af Østhavn var sejlrenden kun uddybet -10.3 m MSLV frem til og med Australienkaj ved Sønderhavn. Med opførslen af Østhavn blev sejlrenden forlænget, uddybet og gjort bredere i området sydøst for Australienkaj. Strøm- og vandføringsfordelingen i tværsnittet mellem Halen på Fanø og havnen har derfor været mere jævnt fordelt før bygningen af Østhavn, eftersom denne udbygning og uddybning bidrager til en øget fokusering af strømmen i sejlrenden langs med havnen. Før bygningen af Østhavn har den ydre del af vaden ved Halen været udsat for en noget kraftigere påvirkning af tidevandsstrømmen end hvad den er i dag og som i dette studie udgør baseline (sammenligningsgrundlaget) i vurderingerne. Ovenstående information er derfor vigtig at have med i konsekvensvurderingen af Etape 5 udbygningens potentielle påvirkning af vaden, idet udbygningen skaber en forstærkning af tidevandsstrømmen på dele af den ydre del af vaden. Strømforholdene efter udbygning kan således minde om den tidligere påvirkning, som med udgangspunkt i luftfotografierne ikke førte til identificerbare påvirkninger (erosion) af vaden.

Figur 7-66 Indikation af den uddybede sejlrendes afslutning før bygningen af Østhavn.

7.7.3 Morfologisk udvikling

En gennemgang af de historiske pejlinger viser, at der generelt ikke er de store morfologiske ændringer i sejlrenden. En væsentlig årsag til dette er at der er uddybet ned til en dybde, hvor man støder på hårdt stift ler, som er i stand til at modstå tidevandstømmens gentagne påvirkning. Bunden i sejlrenden er derfor typisk kun overlejret af et meget tyndt sandlag. Morfologiske beregninger under antagelse om en fuldt alluvial bund, har vist at der ville være tendens til erosion af sejlrenden, såfremt bunden bestod af sand. Da en sådan erosion ikke kan genfindes i de historiske pejlinger, er det valgt at benytte et "hård bund" koncept for forholdene i sejlrenden. Konceptet indebærer at modellen er beskrevet med et tynd sandlag af blot nogle centimeters tykkelse og således, at erosionen ophører når sandet er væk. Sandlagstykkelserne understøttes af de geotekniske boringer beskrevet i Figur 4-46. I forlængelsen af sejlrenden er der et lidt tykkere sandlag før laget med stift ler nås, men der er ikke gode data i området til at vurdere hvor højt lerlaget ligger. I modelleringen er der antaget en gradvis overgang fra næsten ingen tykkelse til en tykkelse af 2 meter, som det fremgår af Figur 7-67.



Figur 7-67 Initial sandlagstykkelse anvendt i modelleringen.

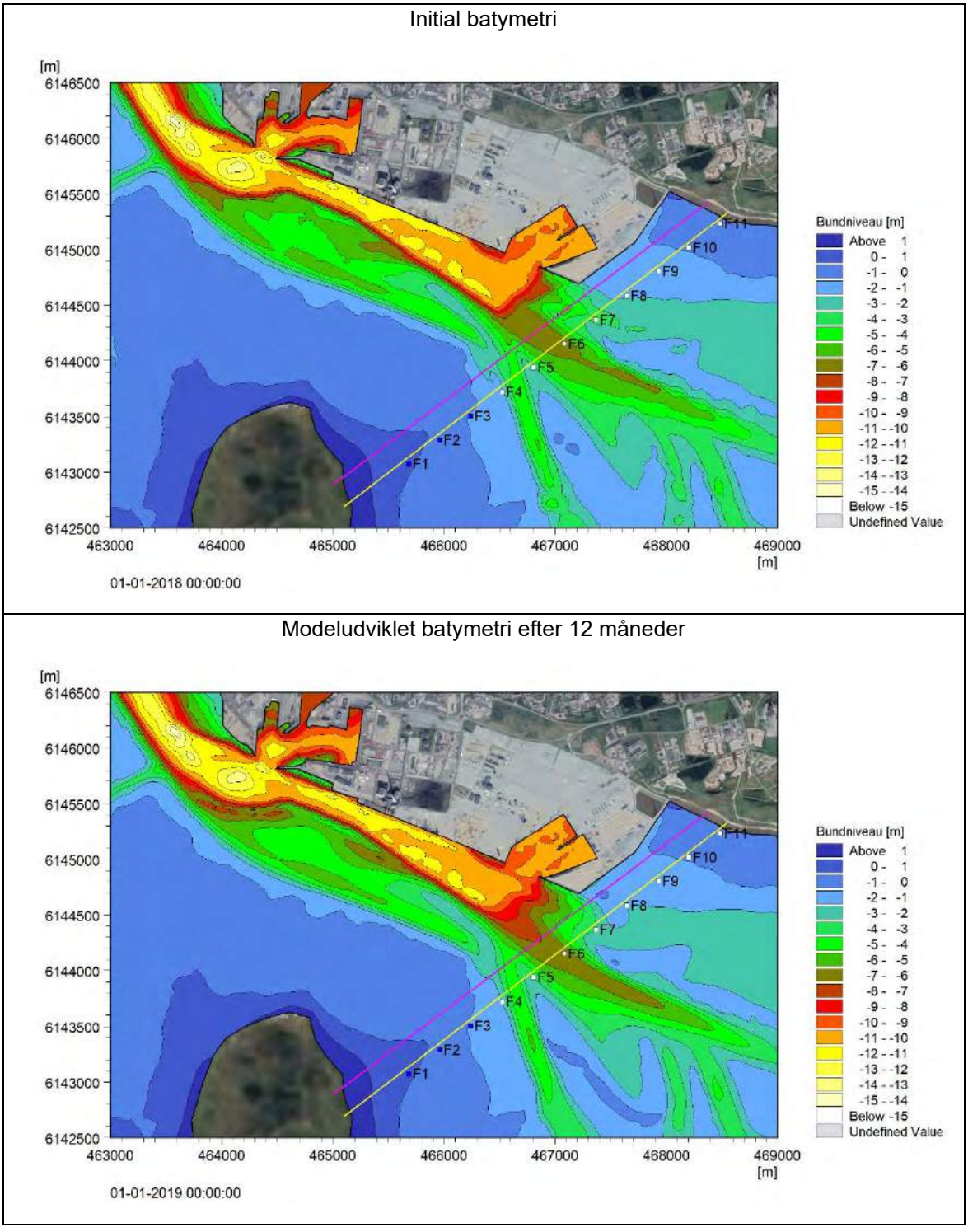
Der klappes regelmæssigt på Klapplads Ø i forlængelse af sejlrenden. Der tilføres derfor løbende sediment, som kan have betydning for den morfologiske udvikling i området. Tilførslen af sediment vil virke dæmpende på en erosion. Den morfologiske modellering inkluderer ikke effekter af klapning og må derfor forventes at overvurdere den faktiske erosion. Det samme gør sig gældende langs sejlrendens sydlige kanter, hvor klapningsbidrag ligeledes vil kunne virke dæmpende på en erosion.

I Figur 7-68 er den morfologiske udvikling af systemet efter et års påvirkning og uden bidrag fra klapninger angivet. Det ses, at der er en glatning af initialbatymetrien og erosion i forlængelse af sejlrenden, samt på dele af sejlrendens sydlige side. Overordnet set er ændringerne dog meget beskedne, hvilket de også skal være i henhold til de historiske pejlinger. De tilhørende bundændringer efter 6 og 12 måneder er vist i Figur 7-69. Ændringerne finder primært sted i de områder, hvor bunden kan bestå af hårdt stift ler eller modvirkes af den løbende tilførsel af materiale fra klapninger. Ydermere er påvirkningerne knyttet til løbene og i overgangen fra sejlrenden. Der ses ikke nogen påvirkning på vaderne relateret til transport af sand.

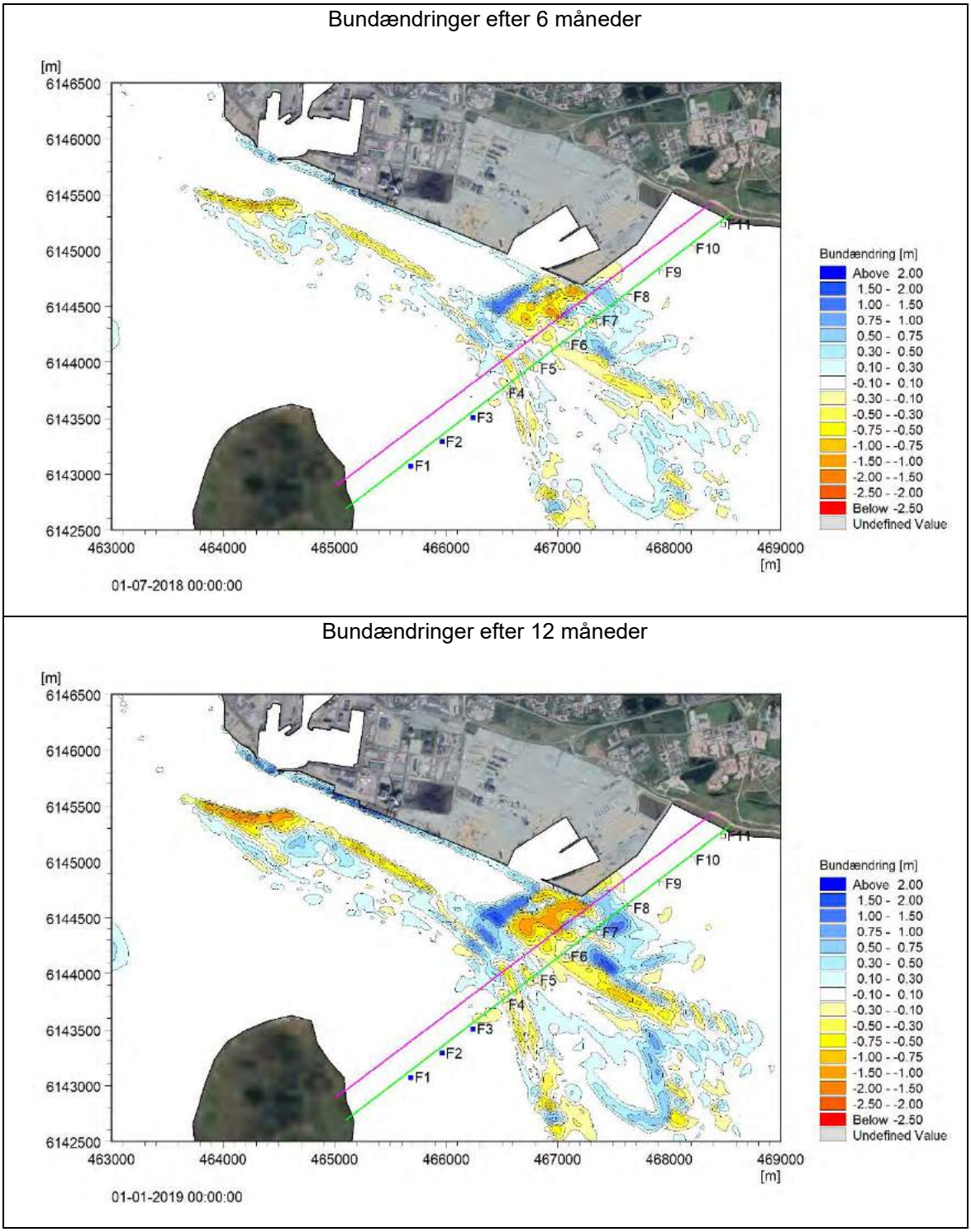
Den modellerede udvikling indikerer en erosion i området, hvor trykledninger for spildevand og fjernvarme krydser. Da der ikke er rapporteret problemer med blotlæggelse af ledningerne, giver det en indikation af at bunden er hårdere end antaget i den udførte simulering og at den fundne påvirkning (erosion) derfor må forventes at være overvurderet (konservativt bestemt).

Det skal bemærkes, at omfanget af erosion og aflejring hænger sammen. Er omfanget af erosion overvurderet vil omfanget af aflejring ligeledes være overvurderet, idet aflejringer

stammer fra en omlejring af det eroderede materiale. Ydermere oprenses der i dele af aflejringsområdet og dette materiale bringes tilbage til systemet ved oprensning og klapning i områder med stor strømpåvirkning.



Figur 7-68 Modelestimeret udvikling af baselinebatymetrien efter hhv. 0 og 12 måneder under antagelse af fuld alluvial bund bestående af fint sand med en mediankorndiameter på 0,2 mm i alle områder med undtagelse af sejlrenden.
Lyserød linje: Trykledning, fjernvarme og spildevand. Gul linje: Jordkabel.
Højspændingsmasters pladefundamenter er angivet med en markør og navngivet F1-F11.



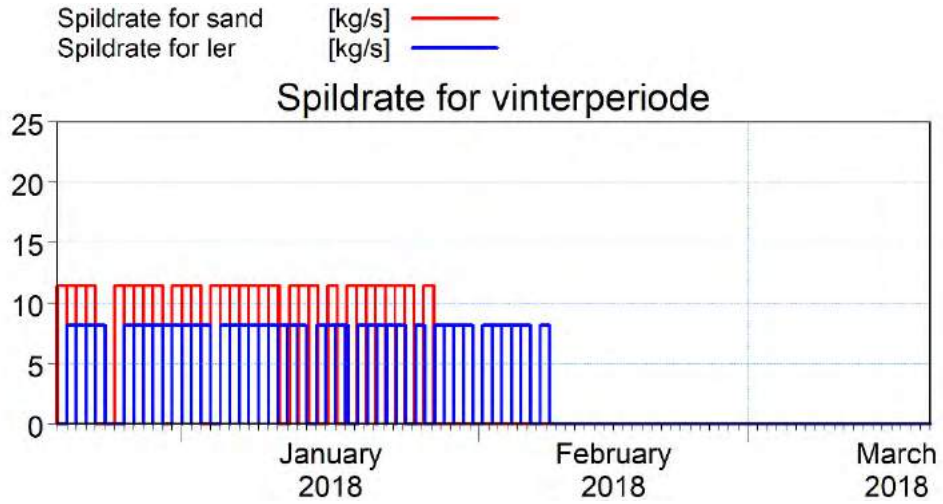
Figur 7-69 Modelestimeret bundændring efter hhv. 6 og 12 måneder.
Lyserød linje: Trykledning fjernvarme og spildevand. Grøn linje: Jordkabel.
Højspændingsmasters pladefundamenter er angivet med en markør og navngivet F1-F11.

8 Anlægsfase

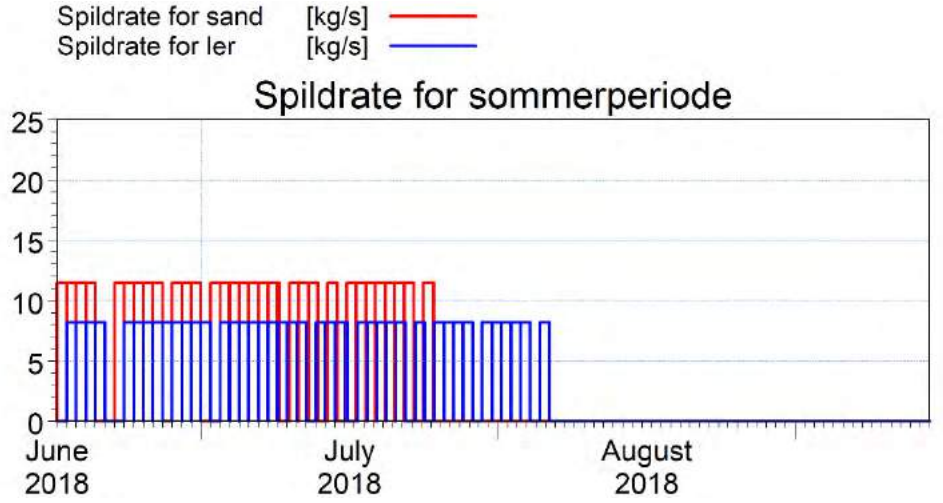
I anlægsfasen vil der være et gravespild i forbindelse med uddybningsarbejderne for enden af sejlrenden ved etape 5 opfyldningen og syd for Sønderhavn, hvor sejlrenden gøres bredere. Udbygningen vil ligeledes skabe en lokal strømforstærkning, som vil skabe et morfologisk respons. I dette afsnit vurderes effekterne af gravespild i kombination med etapeudbygningen.

8.1 Påvirkning af gravespild

Det skønnede uddybningsbehov i forbindelse med Etape 5 udbygningen og uddybningen af sejlrenden udgør ifølge NIRAS cirka 900.000 m^3 fordelt som 388.000 m^3 for sand og 512.000 m^3 for ler. Til uddybningsarbejdet benyttes der to uddybningsfartøjer, hvoraf det ene benyttes til afgravning af ler, mens det andet anvendes til afgravning af sand. Begge uddybningsfartøjer antages at have en gravekapacitet på 12.400 m^3/dag. Der fjernes sand i en periode på 38,3 dage, hvoraf de 7 dage udgør liggetid. Leret antages afgravet over en periode 50,3 dage, hvoraf de 9 dage udgør liggetid. Der graves 24/7 med undtagelse af de indlagte perioder med liggetid. Der er med udgangspunkt i de skønnede gravemetoder antaget et gravespild på 5% for sand og 3% for ler. For sandet er der antaget en tørdensitet på 1.600 kg/m^3, mens den for det hårde ler er antaget til 1.900 kg/m^3, idet porøsiteten af det hårde ler typisk vil være mindre end for sand.



Figur 8-1 Spildrate for den modellerede vinterperiode.



Figur 8-2 Spildrate for den modellerede sommerperiode.

De til modelleringen anvendte graveplaner for vinter- og sommerperioden er vist i Figur 8-1 og Figur 8-2 nedenfor. Det er antaget, at der graves i retning fra nord (Sønderhavn) mod sydøst (Østhavn) over perioden.

Der er benyttet en konstant faldhastighed på 0,048 m/s for sandpartiklerne. For ler er der benyttet samme faldhastighedsbeskrivelse som anvendt for det finkornede klapningsmateriale, hvor sedimentets faldhastighed er en funktion af den opslæmmede sedimentkoncentration, jf. afsnit 7.6.2.1. Til beregningerne anvendes en AD-model for det suspenderede materiale (sand, ler og baggrundssediment). I modelberegningerne er det antaget, at uddybningsarbejdet udføres efter, at udbygningens indfatninger er blevet etableret. Der regnes både på en vinter- og en sommerperiode, så der kan screenes for, hvornår på året uddybningsarbejdet ud fra miljømæssige hensyn mest hensigtsmæssigt bør udføres.

8.1.1 Påvirkning af sedimentkoncentrationer

I anlægsfasen vil turbiditeten være midlertidigt forøget som følge af gravespild. Desuden vil der være en lidt ændret strømningscirkulation, som følge af etapeudbygningen. I dette afsnit ses der på hvordan sedimentkoncentrationerne i tidevandsområdet ændres, som følge af gravespildet og udbygningen. I beregningerne er der inkluderet den naturlige baggrundskoncentration, bidrag fra klapninger og gravespild.

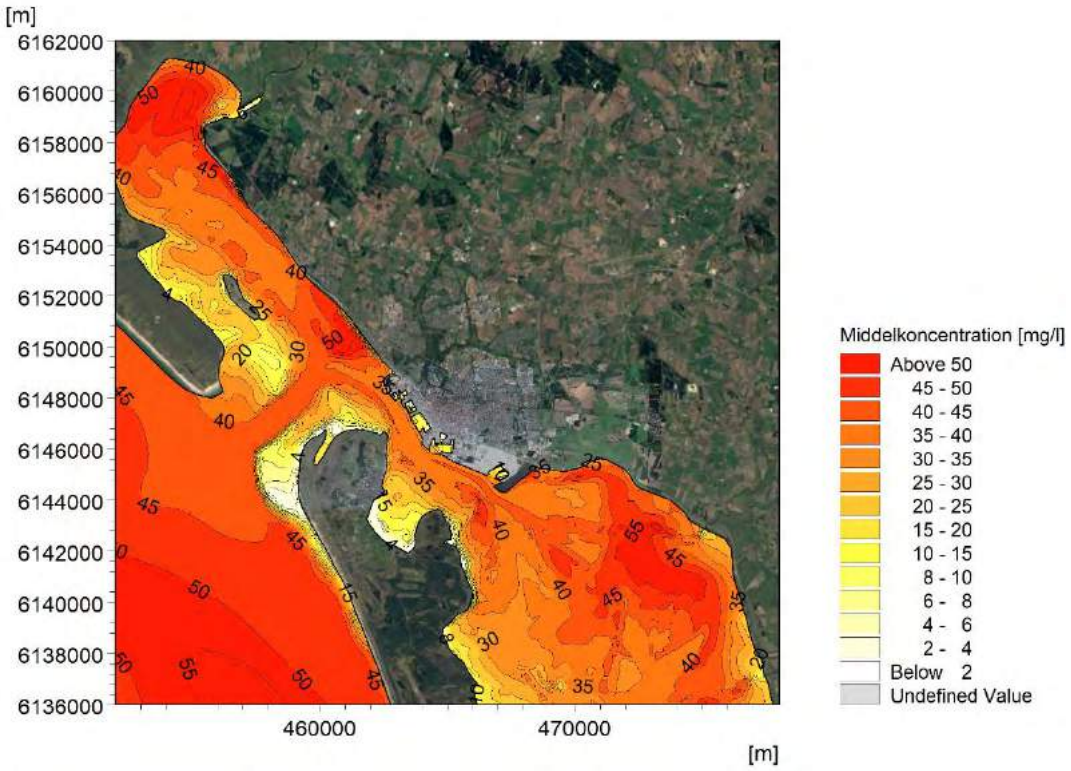
8.1.1.1 Påvirkning af sedimentkoncentrationer i vinterperiode

I vinterperioden er det generelle turbiditetsniveau generelt højere end i sommerhalvåret, idet påvirkningen fra vind og bølger er mere signifikant. Figur 8-3 viser den beregnede middelkoncentration i løbet af den modellerede vinterperiode. Det ses, at gravespildet ikke fører til koncentrationsniveauer, som afviger fra det man finder i den øvrige del af tidevandsområdet.

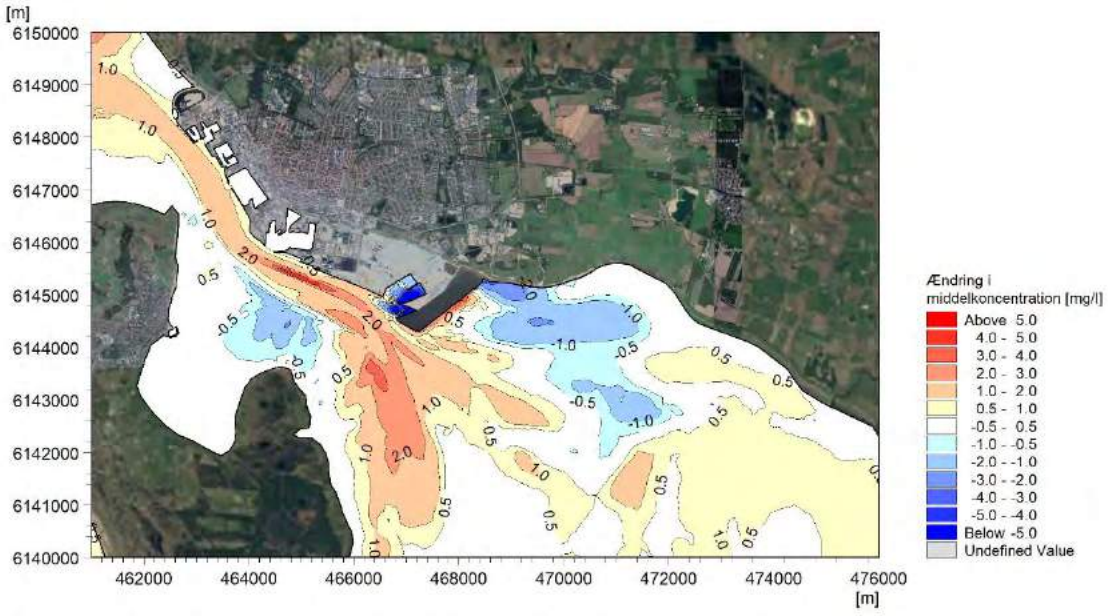
Figur 8-4 viser ændringen af middelkoncentrationen i forhold til baseline. Det ses, at niveauet stiger med mere end 5 mg/l i uddybningsområdet og med 0,5-2 mg/l i en stor del af det øvrige tidevandsområde. I området sydøst for etapeudbygningen falder sedimentkoncentrationen og ligeledes nord for Halen på Fanø. Disse ændringer relaterer til udbygningen og en ændret strømningscirkulation, idet der samlet set er mere sediment i opslæmning i scenariet med gravespild. I områderne, som oplever en faldende sedimentkoncentration, vil der typisk være tendens til en forøget aflejring.

Figur 8-5 viser maksimumkoncentrationen i løbet af den modellerede vinterperiode. Det ses, at niveauerne er særligt høje på klapplads N og E, hvor der klappes sediment og i de to uddybningsområder. Der klappes ikke materiale på klapplads Ø i vinterperioden og maksimumniveauerne er derfor relativt lave i dette område i forhold til når der klappes. Ændringen i maksimumkoncentration i forhold til baseline er vist i Figur 8-6. Positive værdier angiver en forøgelse (røde farver), mens negative værdier (blå farver) angiver et fald. Maksimumkoncentrationen er væsentlig forøget i uddybningsområderne og i området sydøst for opfyldningen. Generelt er maksimumkoncentrationerne lidt højere, da der som følge af gravespildet er lidt mere sediment i opslæmning. Men de ændringer, som ses udenfor uddybningsområdet, relaterer primært til udbygningen, det ændrede strømcirkulations-mønster og det reducerede tidevandsvolumen.

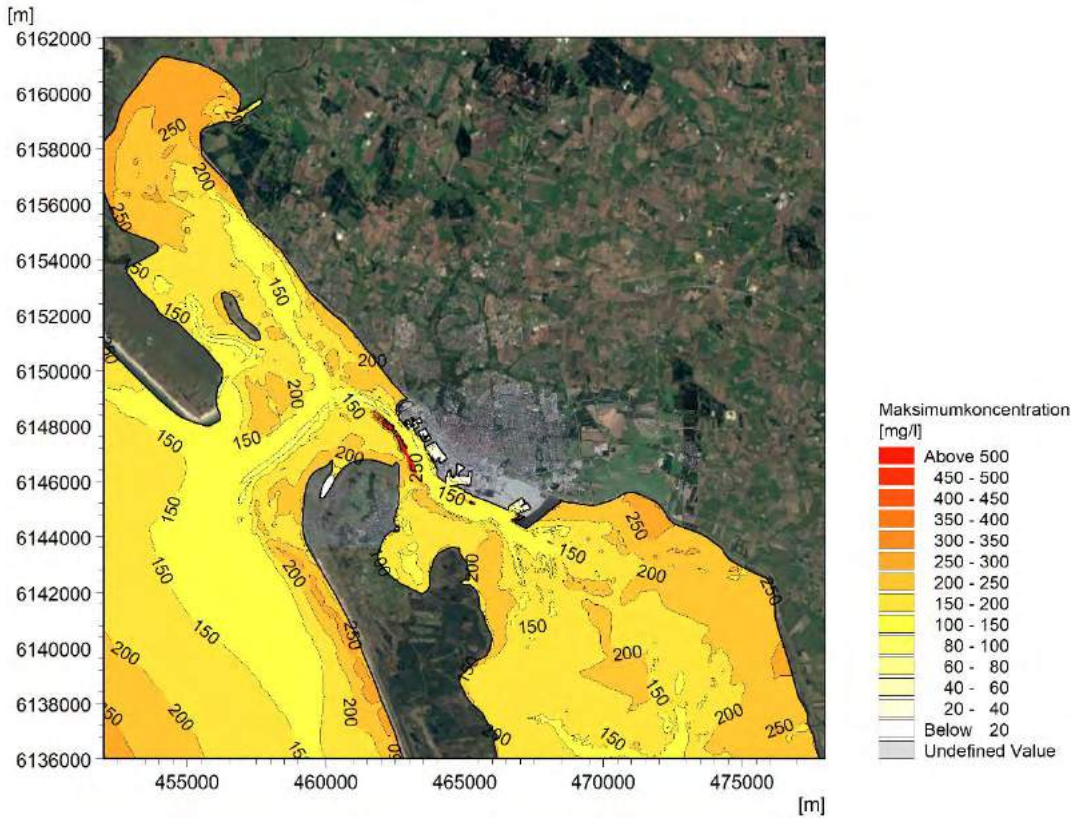
Varigheden af overskridelse med sedimentkoncentrationer større end 50 mg/l og 100 mg/l er vist i Figur 8-9 og Figur 8-11. Ændringerne i varighed i forhold til baseline er vist i Figur 8-10 og Figur 8-12. Det ses, at det primært er i den permanent vanddækkede del af Grådyb tidevandsområde, at der er en ændring af overskridelsesvarigheden på op til 3 døgn for 50 mg/l. For 100 mg/l er ændringerne mindre. En del af ler partiklerne føres ud i Nordsøen, hvorfra de gradvist vil spredes yderligere.



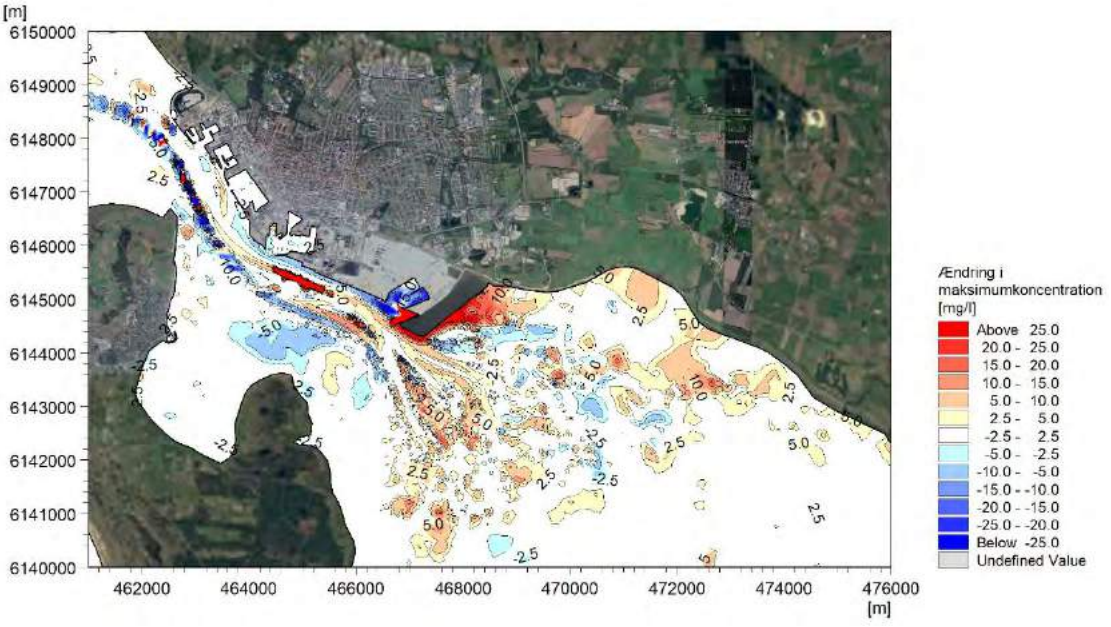
Figur 8-3 Modelleret middelkoncentration for layout, faktiske klapninger og gravespild i vinterperioden.



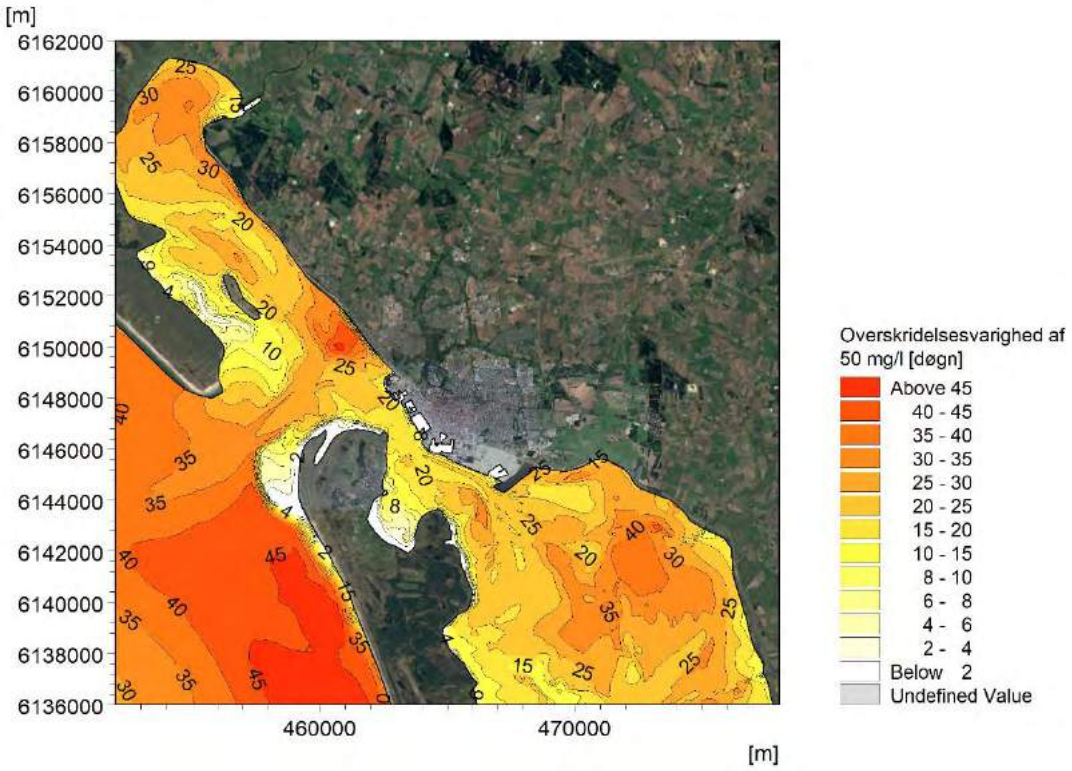
Figur 8-4 Ændringer i middelkoncentration i vinterperioden i forhold til baseline.



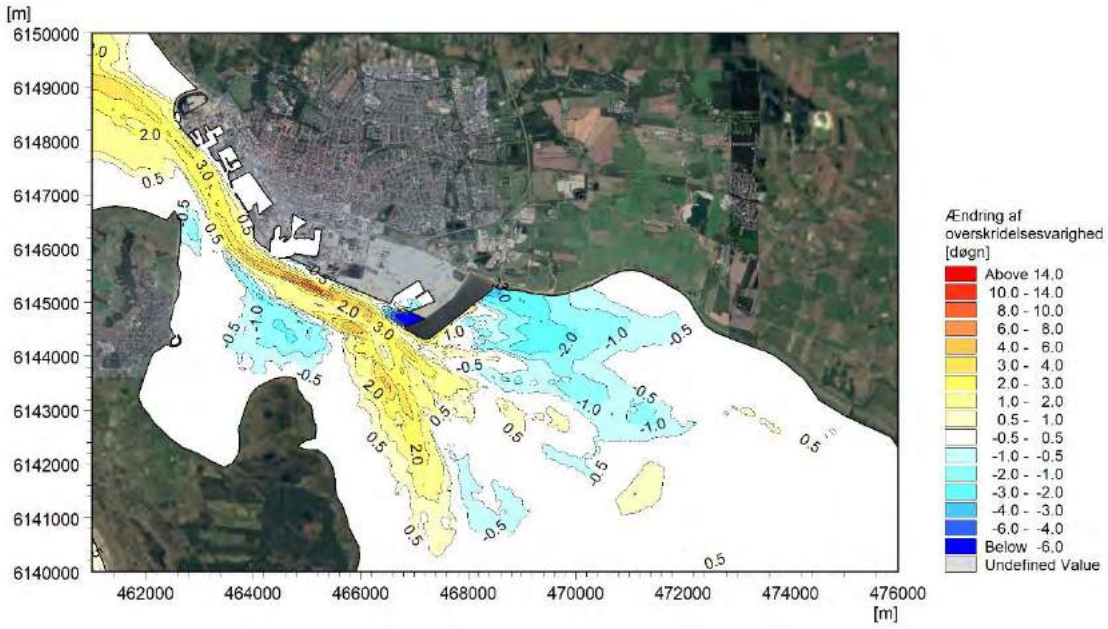
Figur 8-5 Maksimumkoncentrationer for layout, faktiske klapninger og gravespild i vinterperioden.



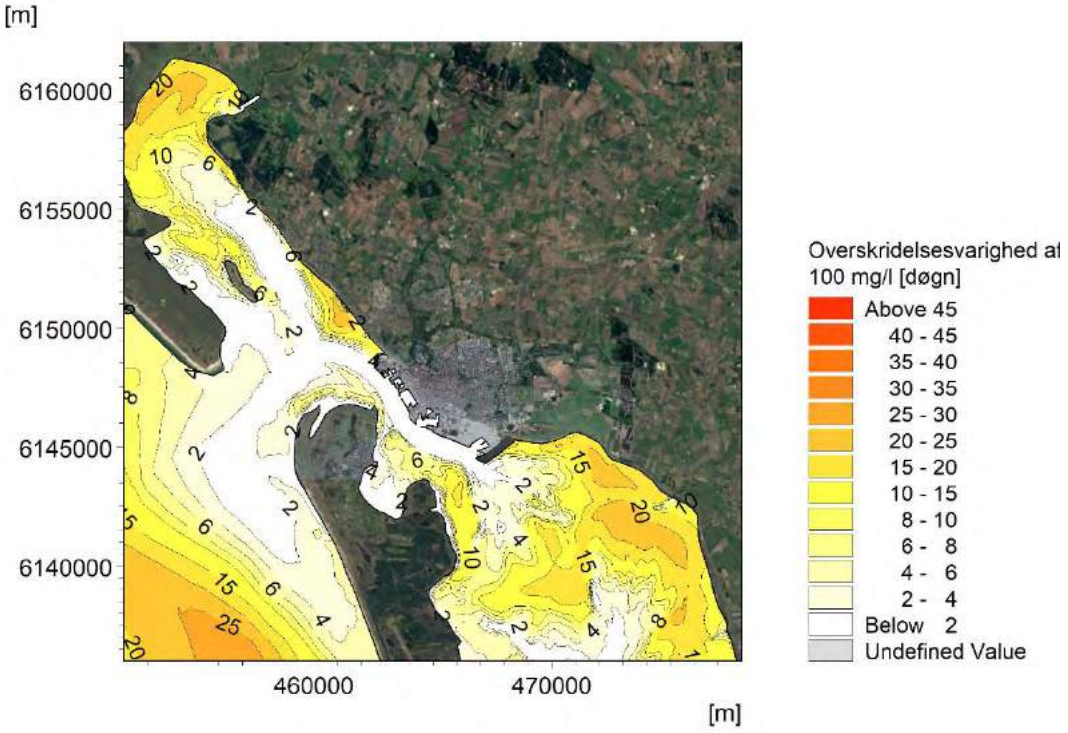
Figur 8-6 Ændringer i maksimumkoncentration i vinterperioden i forhold til baseline.



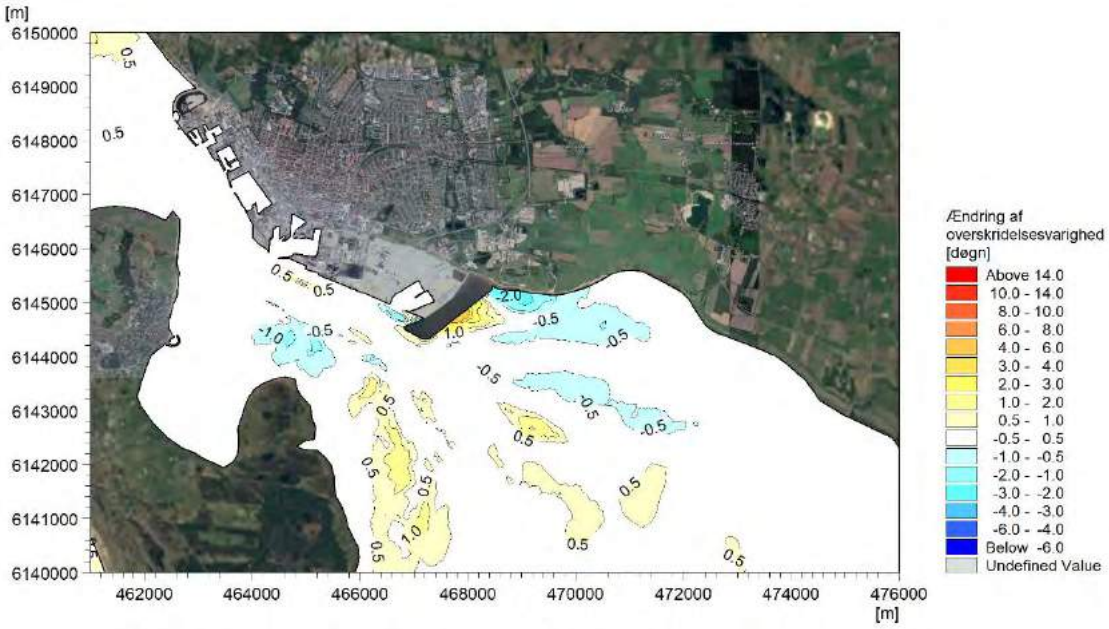
Figur 8-7 Overskridelsesvarigheder for layout med koncentrationer af finkornet sediment større end 50 mg/l i vinterperioden.



Figur 8-8 Ændringer af overskridelsesvarighed med koncentrationer af finkornet sediment større end 50 mg/l i vinterperioden i forhold til baseline.



Figur 8-9 Overskridelsesvarigheder for layout med koncentrationer af finkornet sediment større end 100 mg/l i vinterperioden.



Figur 8-10 Ændringer af overskridelsesvarighed med koncentrationer af finkornet sediment større end 100 mg/l i vinterperioden i forhold til baseline.

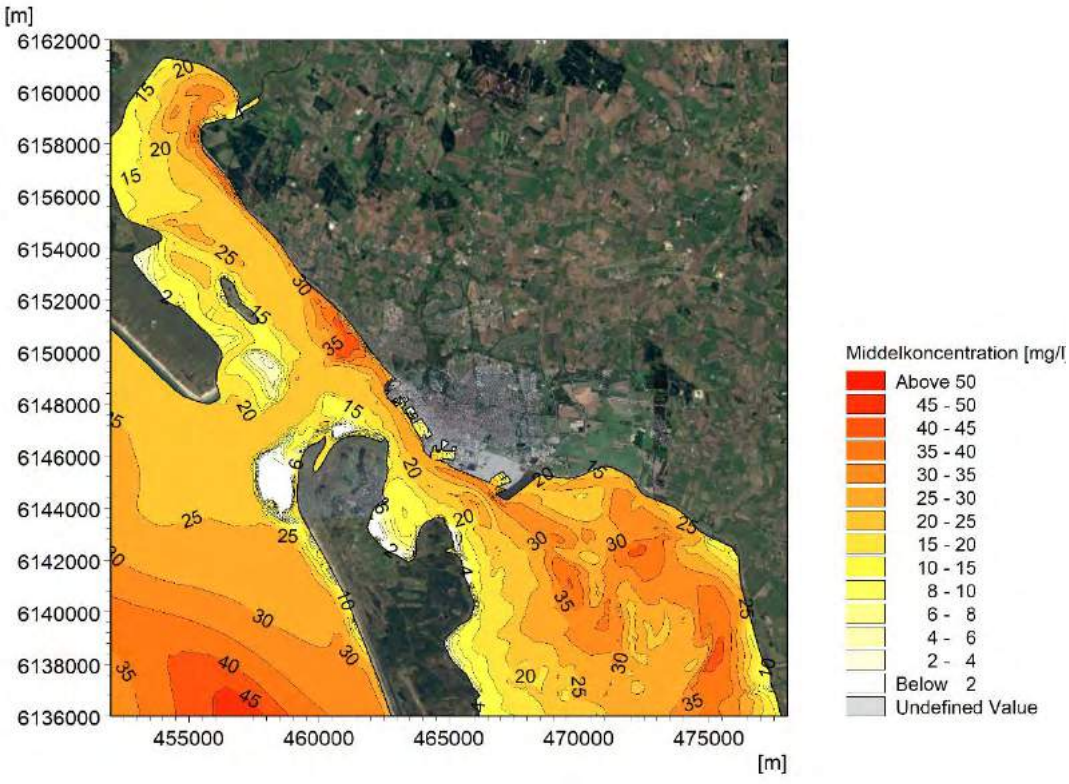
8.1.1.2 Påvirkning af sedimentkoncentrationer i sommerperiode

I sommerperioden er det generelle turbiditetsniveau lavere end i vinterhalvåret, grundet en svagere påvirkning fra vind. I sommerperioden er bidraget fra klapninger væsentligt højere end i vinterperioden. Figur 8-11 viser den beregnede middelkoncentration i løbet af den modellerede sommerperiode. Det ses, at gravespildet ikke fører til koncentrationsniveauer som afviger fra det man finder i den øvrige del af tidevandsområdet.

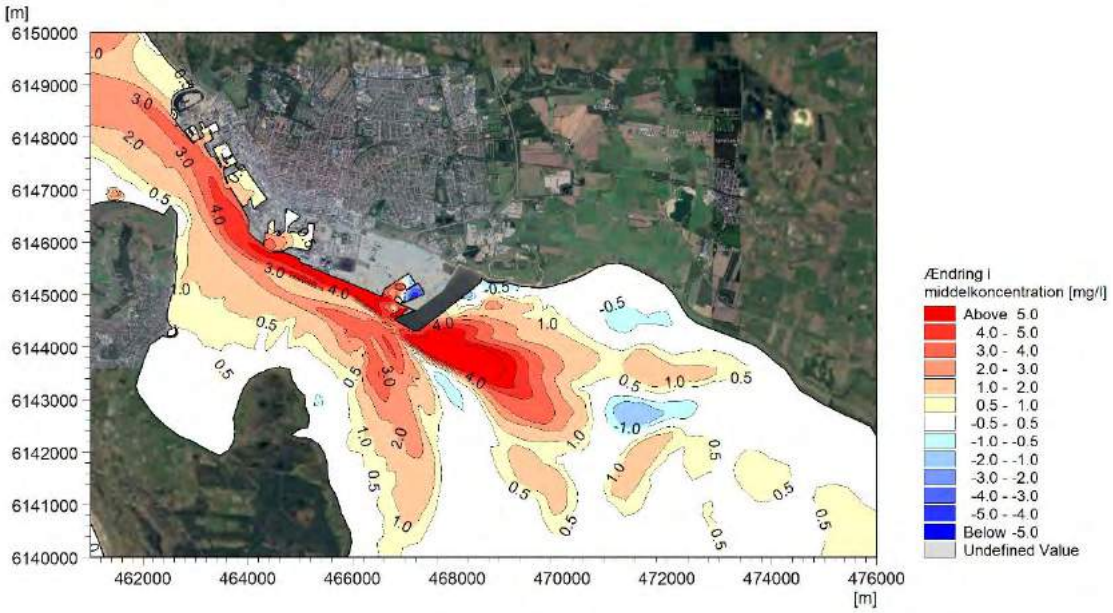
Figur 8-12 viser ændringen af middelkoncentrationen i forhold til baseline. Det ses, at niveauet stiger i med mere end 5 mg/l i uddybningsområdet og i løbet opstrøms og nedstrøms herfor. I en stor del af det øvrige tidevandsområde er ændringerne mellem 0,5-2 mg/l. I modsætning til vinterperioden er der kun et fald i sedimentkoncentrationerne i to mindre områder sydøst for etapeudbygningen. Disse ændringer relaterer til udbygningen og den ændrede strømningscirkulation, idet der samlet set er mere sediment i opslæmning i scenariet med gravespild. I områderne som oplever en faldende sedimentkoncentration, vil der typisk være tendens til en forøget aflejring.

Figur 8-13 viser maksimumkoncentrationen i løbet af den modellerede sommerperiode. Maksimumkoncentrationerne er lavere end i vinterperioden, med undtagelse af klapplads Ø, hvor der klappes betydelige mængder. Det ses, at niveauerne er særligt høje på klapplads N og E, hvor der klappes sediment og i de to uddybningsområder. Ændringen i maksimum-koncentration i forhold til baseline er vist i Figur 8-14. Positive værdier angiver en forøgelse (røde farver), mens negative værdier (blå farver) angiver et fald. I sommerperioden vægter gravespildet mere end i vinterperioden. Maksimumkoncentrationen er væsentligt forøget i sejlrenden og forlængelsen heraf. Den primære årsag til det er en kraftigere ophvirvling af det materiale som klappes på klapplads Ø og kun i mindre grad, en påvirkning fra uddybningen.

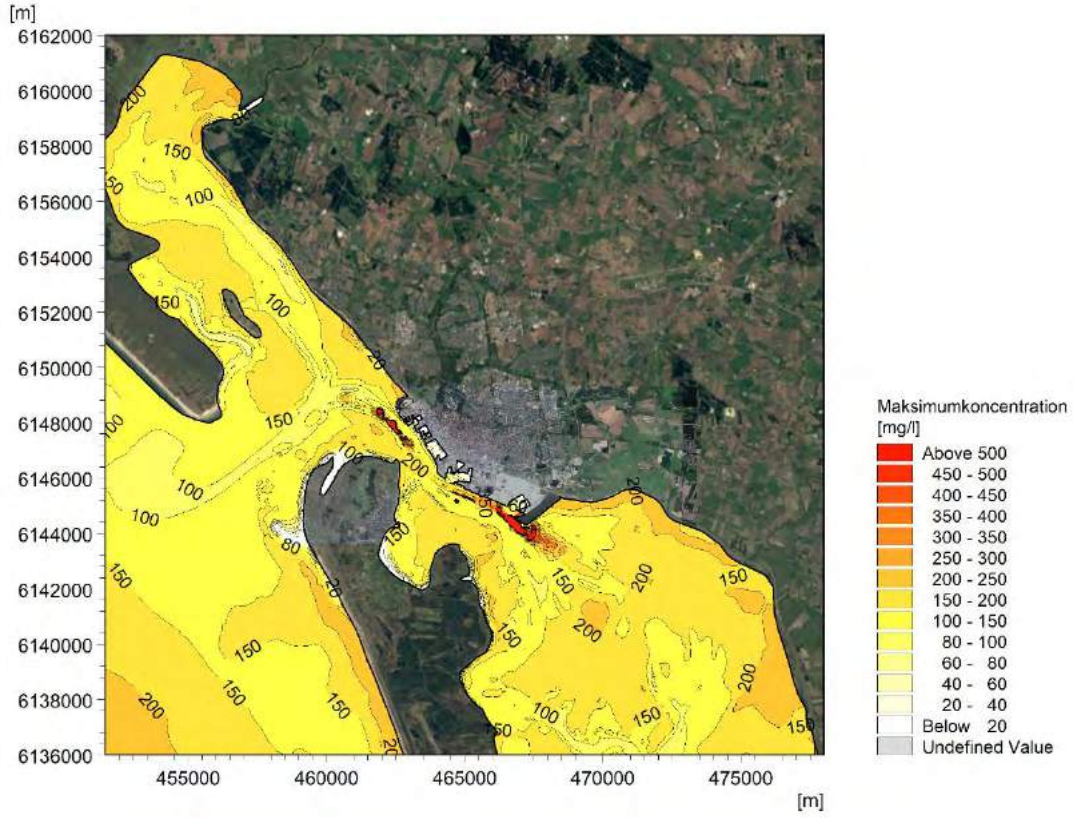
Varigheden af overskridelse med sedimentkoncentrationer større end 50 mg/l og 100 mg/l er vist i Figur 8-15 og Figur 8-17. Ændringerne i varighed i forhold til baseline er vist i Figur 8-16 og Figur 8-18. Det ses, at det primært er i den permanent vanddækkede del af Grådyb tidevandsområde, at der er en ændring af overskridelsesvarigheden på helt op til 6 døgn for 50 mg/l. For 100 mg/l er der kun meget små ændringerne mindre og primært helt lokalt lige syd for etapeudbygningen. Det ses, som for vinterperioden, at en del af ler partiklerne føres ud i Nordsøen, hvorfra de gradvist vil spredes yderligere. Generelt er påvirkningen af gravearbejdet lidt større i sommerperioden, hvor baggrundsniveauet er lavere end i vinterperioden.



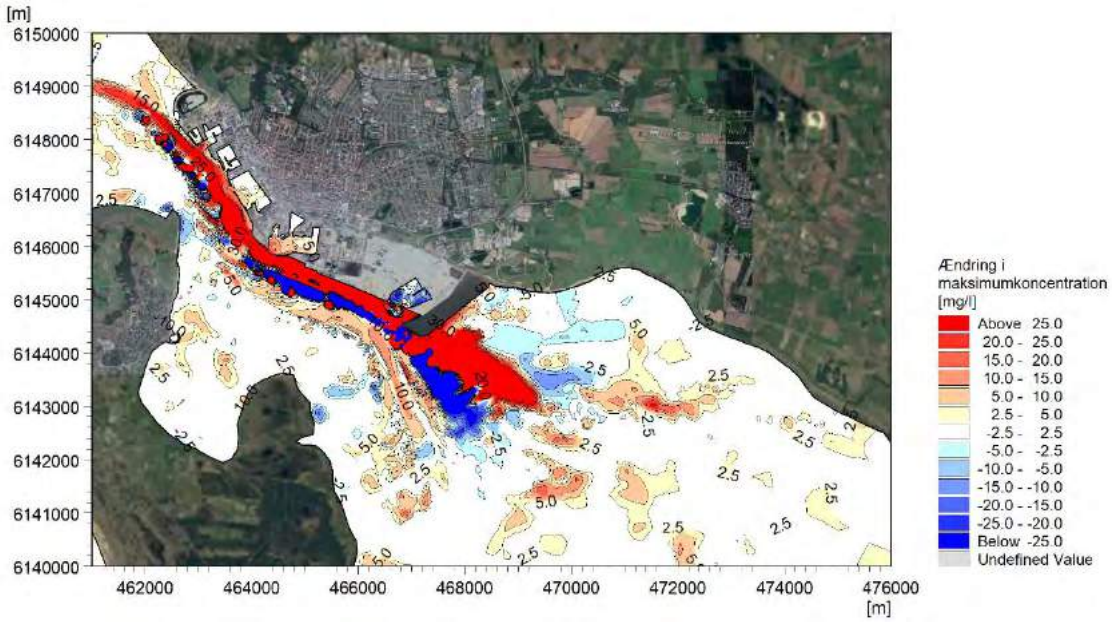
Figur 8-11 Modelleret middelkoncentration for layout, faktiske klapninger og gravespild i sommerperioden.



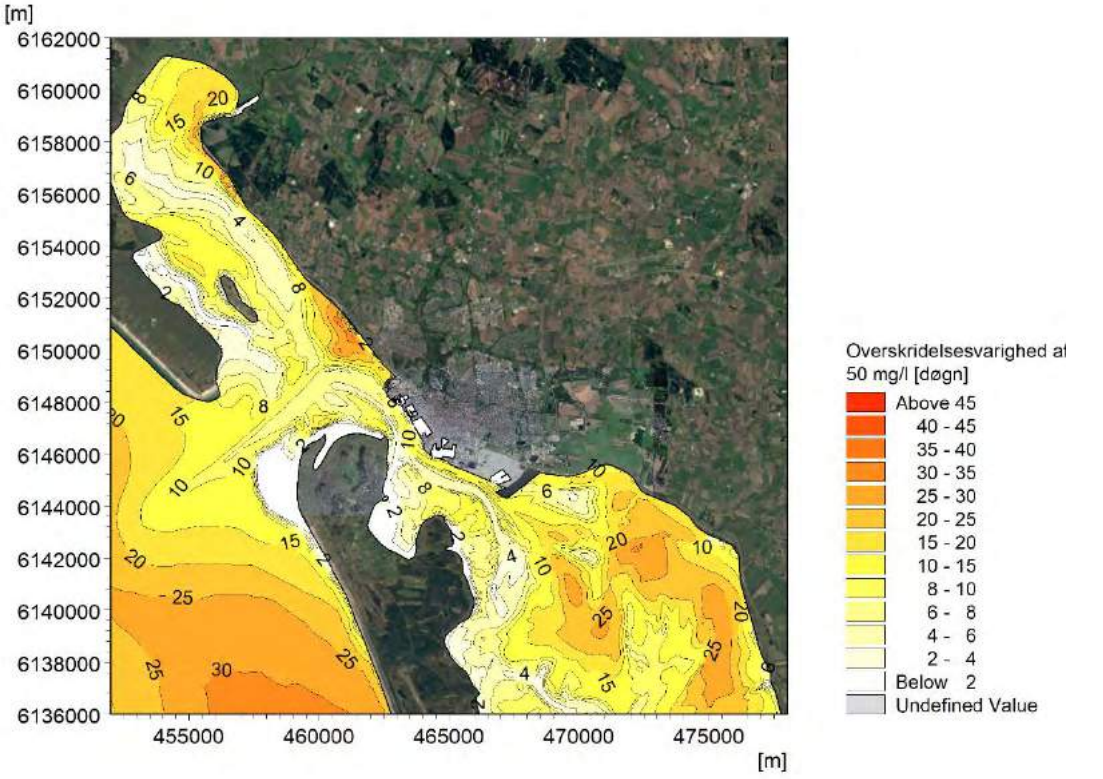
Figur 8-12 Ændringer i middelkoncentration i sommerperioden i forhold til baseline.



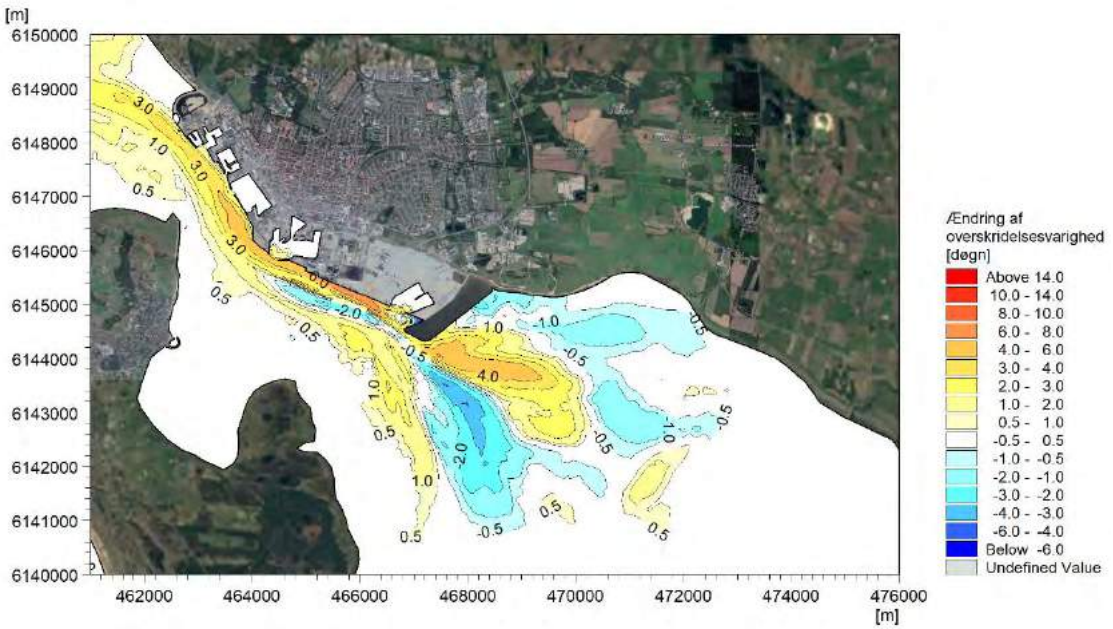
Figur 8-13 Modelleret maksimumkoncentration for layout, faktiske klapninger og gravespild i sommerperioden.



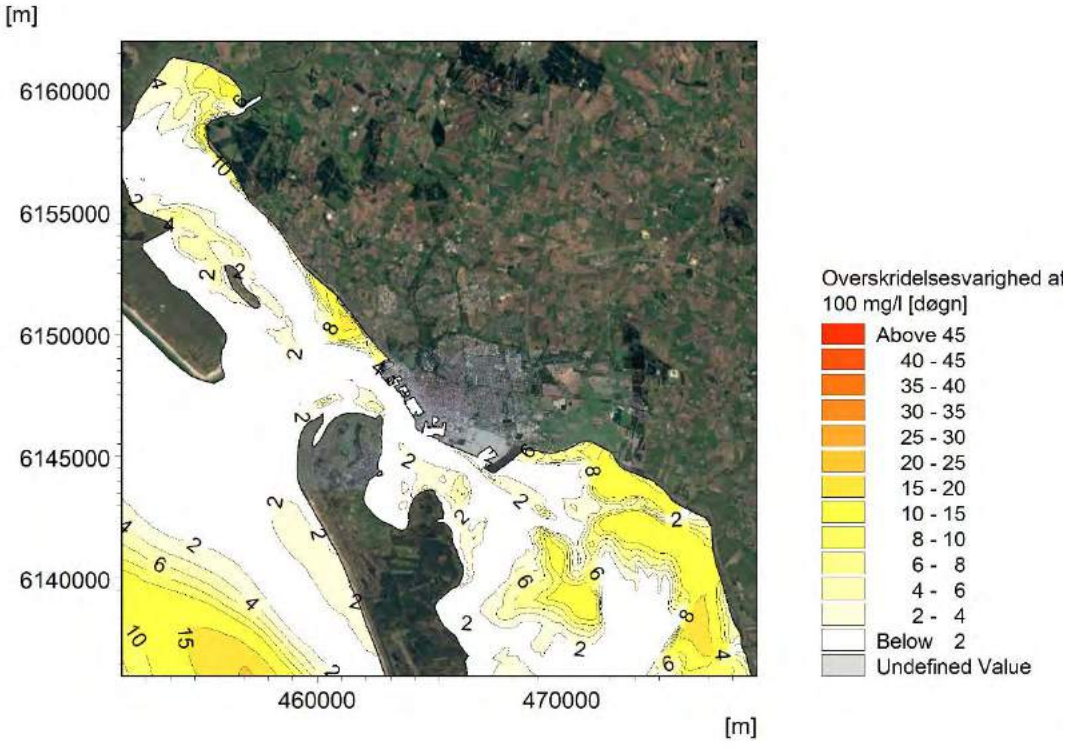
Figur 8-14 Ændringer i maksimumkoncentration i sommerperioden i forhold til baseline.



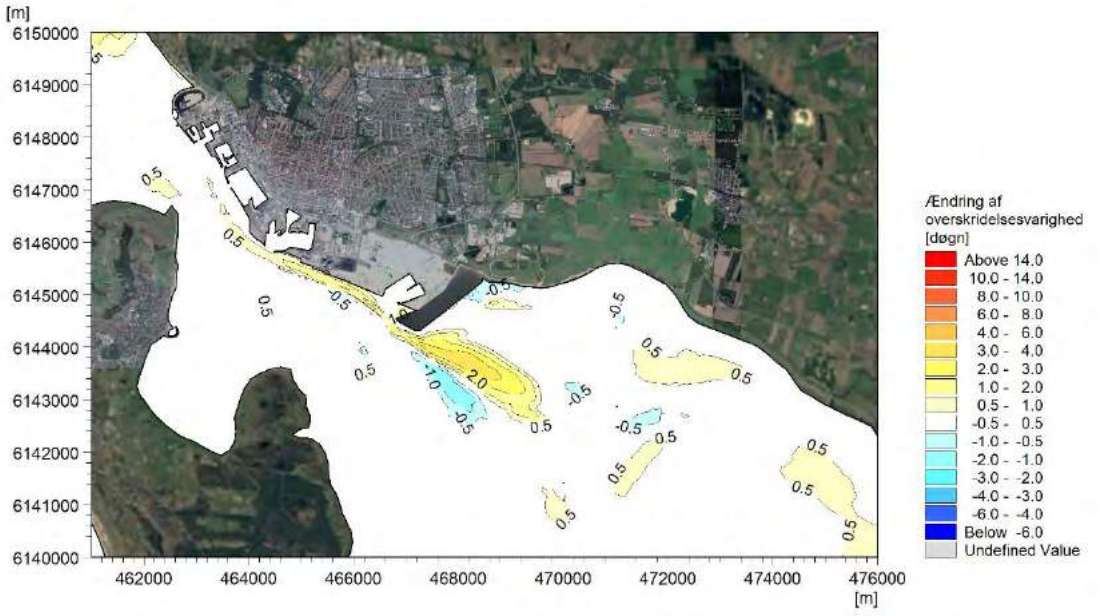
Figur 8-15 Overskridelsesvarigheder for layout med koncentrationer af finkornet sediment større end 50 mg/l i sommerperioden.



Figur 8-16 Ændringer af overskridelsesvarighed med koncentrationer af finkornet sediment større end 50 mg/l i sommerperioden i forhold til baseline.



Figur 8-17 Overskridelsesvarigheder for layout med koncentrationer af finkornet sediment større end 100 mg/l i sommerperioden.



Figur 8-18 Ændringer af overskridelsesvarighed med koncentrationer af finkornet sediment større end 100 mg/l i sommerperioden i forhold til baseline.

8.1.2 Påvirkning af erosions- og aflejringsmønstre

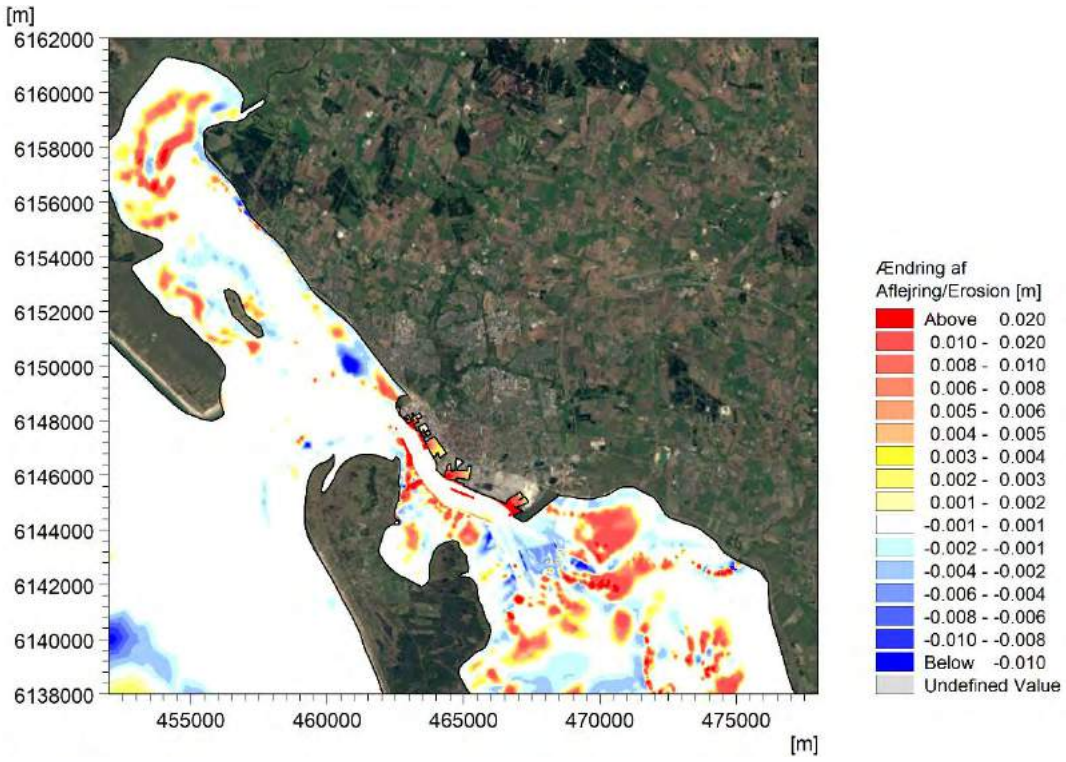
Med udgangspunkt i bundsammensætningskortet kan modellen omfordele sedimentet som følge af erosion og en efterfølgende aflejring. Der tilføres dog også sediment med de definerede klapningsbidrag (som i modellen udgør et ekstra bidrag til aflejringerne). Endelig er der randbetingelsen på de ydre offshore rande, som i perioder med indstrømning tilfører sediment og i perioder med udstrømning aftapper sediment, samt initialbetingelsen som ligeledes tilfører et kunstigt bidrag. Ved tolkningen af aflejringskortene er det derfor mere vigtigt at se på erosions- og aflejringsmønstrene fremfor at fokusere på den absolutte lagtykkelse.

Modellens sedimentation i havnebassinerne indeholder ikke effekten af den densitetsdrevne bundstrøm der udgør den største bidragsyder til havnesedimentation. Modellen beskriver kun bidraget fra den tidevandsinducerede aflejring, samt et bidrag fra det som føres ind af den horisontale hvirvel i bassinmundingen. Modellens tilførte mængder af sediment ved klapning er derfor større end det modellen tilfører havnebassinerne. Der vil derfor være en syntetisk nettotilførsel af sediment til modellens overordnede sedimentbudget, som gør at aflejringsmængderne på vaderne og omkring tidevandsskellet er overvurderede. Modellens estimerede aflejringstykkelser er derfor lettere overvurderede. Effekten af det ekstra bidrag af sediment elimineres, når der ses på den relative forskel, som dermed også angiver den faktiske effekt af udbygningen.

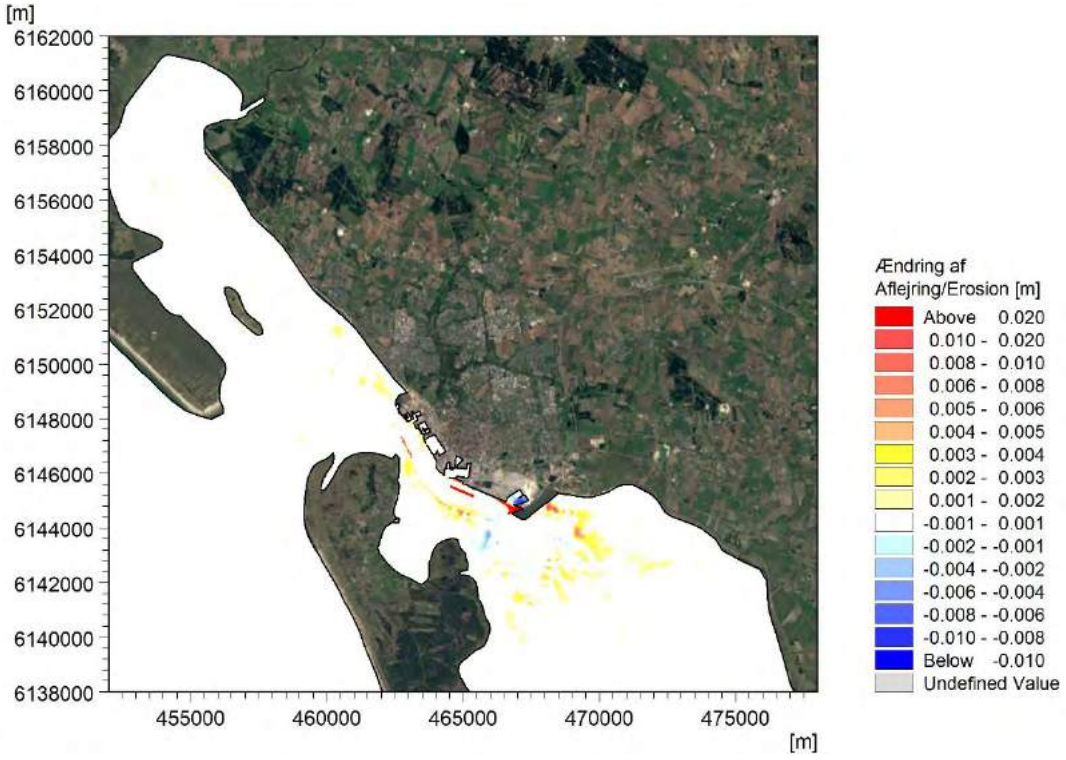
Med undtagelse af områderne i tidevandsområdet, hvor der optræder mudder er underlaget relativt fast, dvs. at det ikke synker mærkbart sammen når man går på det. Tørdensiteten af aflejret silt er derfor skønnet til 1.400 kg/m^3. I beregningerne af aflejringstykkelserne er der anvendt en densitet på 500 kg/m^3. Et mere reelt estimat for aflejringstykkelsen fås derfor ved at skalere de modelberegnede ændringer med en faktor 5/14 = 0,36. I de nedenfor viste aflejringskort er aflejringstykkelse blevet skaleret, svarende til en tørdensitet på 1.400 kg/m^3.

Figur 8-19 viser den modellerede aflejring/erosion i vinterperioden med bidrag fra gravespild. Det ses, at der er områder med signifikant tendens til aflejring og områder, hvor finkornet materiale vil have svært ved at aflejres i større mængder. Påvirkningen af gravespild og udbygningen er vist i Figur 8-20. Det ses, at gravespildet og udbygningen fører til en aflejring på vaden nord for Halen, i et område sydøst for opfyldningen, i området lige nord for

tidevandsskellet og nord for Esbjerg Marina. Desuden er der mindre aflejringer i Ho Bugt og i området syd for tidevandsskellet.



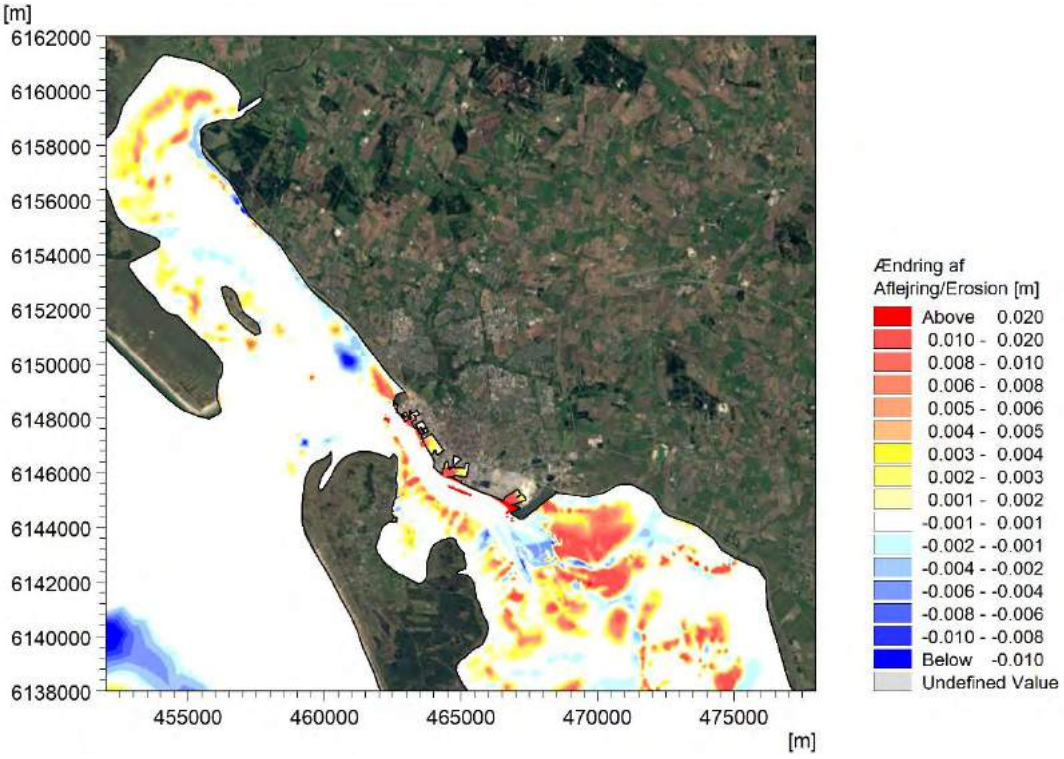
Figur 8-19 Aflejrings- og erosionsmønster i vinterperioden.



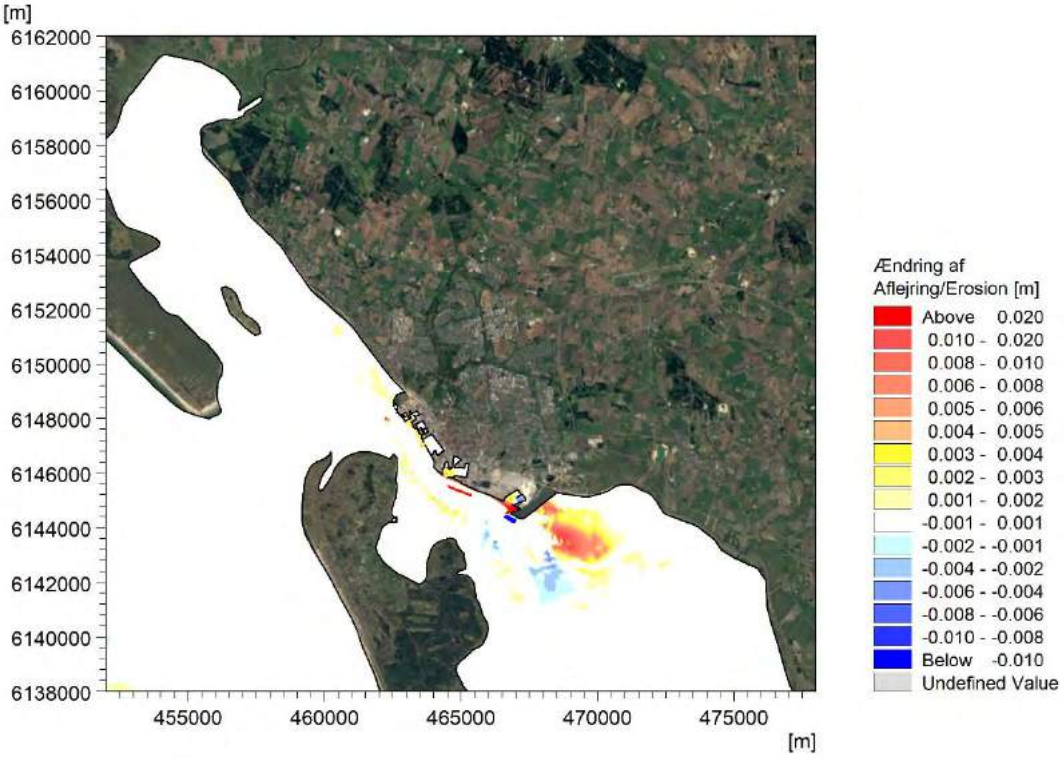
Figur 8-20 Ændringer i aflejring og erosion i vinterperioden set i forhold til baseline.

De tilsvarende plots er vist for sommerperioden i Figur 8-20 og Figur 8-21. I sommerperioden er der en markant aflejring sydøst for etapeudbygningen, som formentlig relaterer til klapning af

materiale på klapplads Ø og en ændret strømningscirkulation. Der er ligeledes aflejring på vaden ind mod Fanø. I området mellem Fanø og udbygningen er der en mindre erosion og ligeledes i en kile syd herfor.



Figur 8-21 Aflejrings- og erosionsmønster i sommerperioden.



Figur 8-22 Ændringer i aflejring og erosion i sommerperioden set i forhold til baseline.

Ved sammenligning af vinter og sommerperioden, ses det, at der er en mindre sedimentation af havnebassinerne i vinterperioden, mens den er større i sommerperioden. Udbygningen og den tilhørende strømforstærkning bevirker at havnesedimentationen øges i de perioder, hvor der klappes materiale på klapplads Ø, mens den mindskes i de perioder hvor der ikke klappes. I 2018 blev der kun klappet materiale på klapplads Ø i sommerperioden. De øvrige 9 måneder lå den ubenyttet hen. Udbygningen ændrer på sedimentationsforholdene ved Østhavn. Sedimentationen reduceres i det nuværende bassin, mens den forøges i den af udbygningen skabte læ-zone nordvest for den udkragede del af opfyldningen.

8.2 Opsummerende konklusioner

Analysen af virkningerne fra anlægsarbejdet giver anledning til følgende overordnede konklusioner:

- Middelkoncentrationen, som i sejlrenden er på ca. 20-25 mg/l om sommeren og 30-35 mg/l om vinteren, vil under uddybningen øges med ca. 2-5 mg/l
- Middelkoncentrationen længere inde i vadehavet på ca. 30-50 mg/l øges med ca. 1-3 mg/l
- I dag er de maksimale koncentrationer i sejlrenden 200-400 mg/l og i forlængelsen af sejlrenden ind i Natura 2000 området mod sydøst 150 mg/l. Under anlægsfasen vil de maksimale koncentrationer i disse områder stige med 20-25 mg/l. I resten af vadehavet er forøgelsen af de maksimale koncentrationer under 10 mg/l
- Varigheden for overskridelsen af en sedimentkoncentration på 50 mg/l vil forøges 1-3 dage i sejlrenden og under 0,5 dag udenfor sejlrenden i uddybningsperioden
- Der vil ske en forøgelse af sedimentationen over de 90 modelleringsdage på 1-8 mm i en række specifikke områder langs sejlrenden og i læ af den kommende Etape 5 mole samt lige nord for vandskellet mellem Grådyb og Knudedyb tidevandsområder
- Udbygningen og den tilhørende strømforstærkning bevirker at havnesedimentationen øges i de perioder, hvor der klappes materiale på klapplads Ø, mens den mindskes i de perioder, hvor der ikke klappes
- Der forventes en forøget tilsanding ved Østhavn, særligt i den nye ydre del

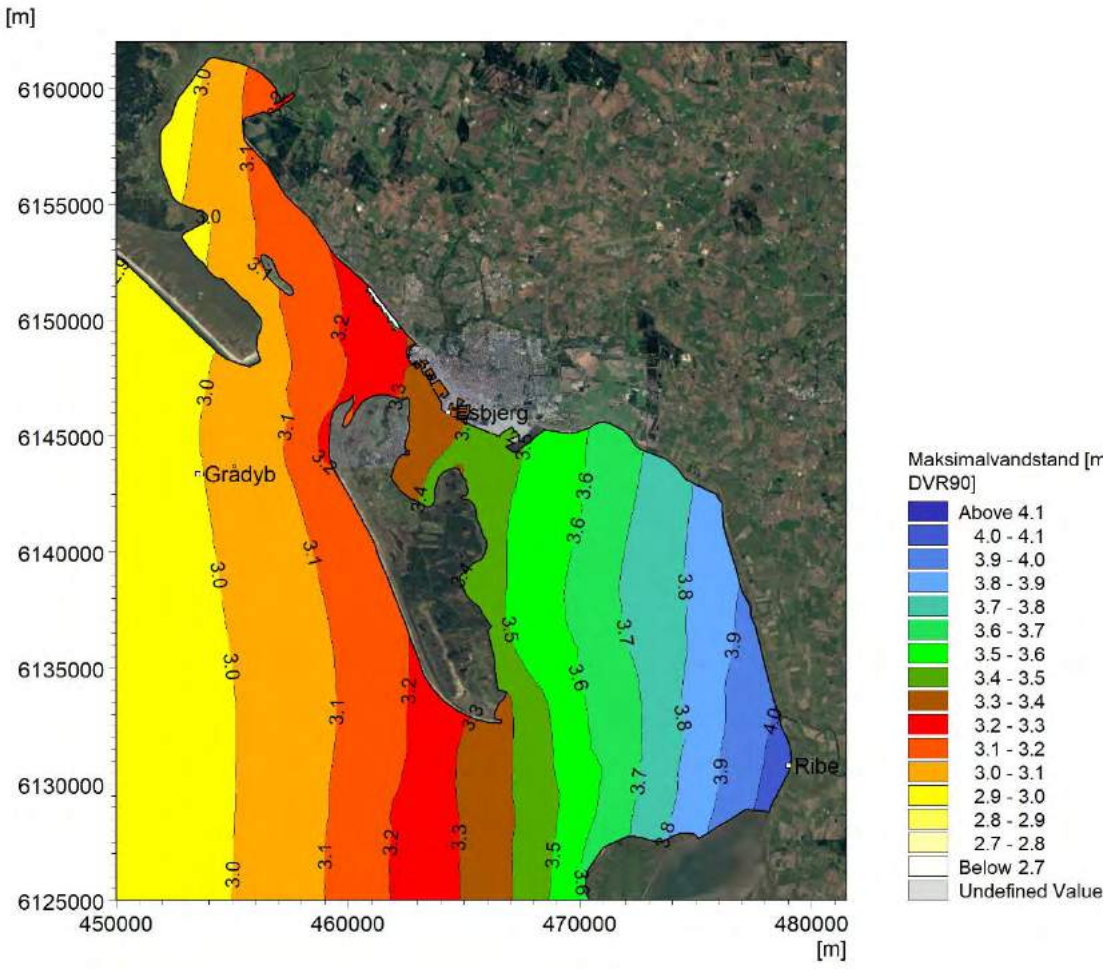
Sammenholdes ovenstående ændringer i sedimentspredningen under anlægsfasen med de naturlige korttidsvariationer i sedimentkoncentrationen på 20-500 mg/l og ændring i aflejringerne på flere mm under storm samt en årlig gennemsnitlig netto sedimentation på 2-5 mm/år, ref. /2/, vurderes påvirkningerne under anlægsfasen at være helt uvæsentlige for Vadehavets marine miljø.

9 Driftsfasen

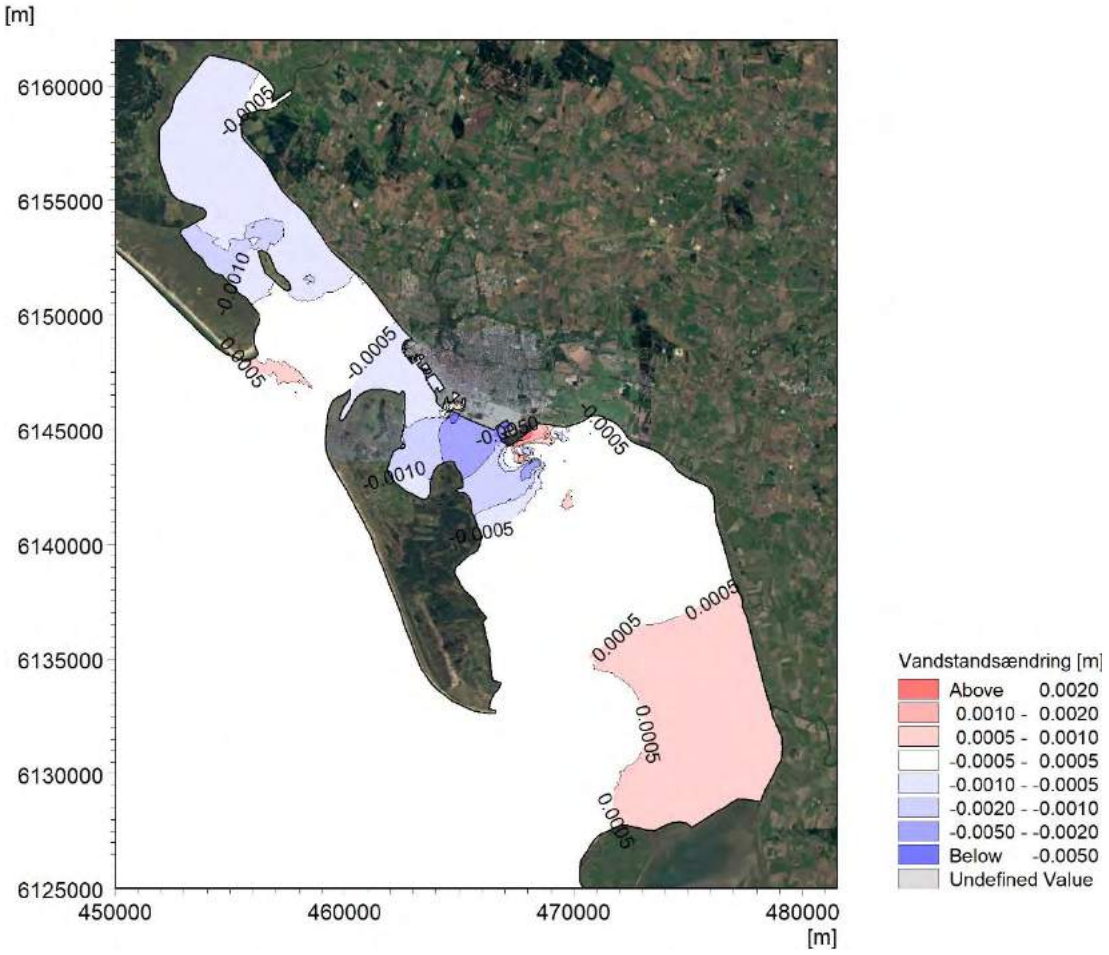
De morfologiske ændringer som fremprovokeres af Etape 5 udbygningen og uddybningen af sejlrenden er relativt beskedne og af langt mindre betydning end selve opfyldningen, idet denne påvirker det ud- og indstrømmende tidevandsvolumen. Ydermere viser de historiske pejlinger at området er overraskende stabilt. De her præsenterede påvirkninger er derfor baseret på en forventning om at udbygningen ikke vil afstedkomme morfologiske ændringer, som har andet end helt lokal betydning. Antagelsen bekræftes af de fundne resultater.

9.1 Påvirkning under stormflod med ekstremvandstand

Stormflodssimuleringen af Bodil er gentaget for Etape 5 udbygningen for at undersøge om dette vil kunne føre til ændrede stormflodsniveauer. De for layoutet fundne højvandsniveauer er vist i Figur 9-1, mens ændringerne i forhold til baseline er vist i Figur 9-2. Det ses på baggrund af de beregnede vandstandsændringer, at udbygningen ikke vil føre til nogen målbar påvirkning af højvandsniveauerne under en stormflod. I områderne med blå farver (negative værdier) vil udbygningen relatere i en meget svag formindskelse af højvandsniveauet, mens der vil være en meget svag forøgelse i de røde områder (positive værdier). Samlet set er konklusionen, at en udbygning af havnen vil påvirke højvandsniveauerne med mindre end 1 centimeter. Det kan derfor konkluderes, at den planlagte etapeudbygning af Esbjerg Havn, ikke vil føre til en forøget oversvømmelsesrisiko under ekstreme stormflodshændelser.



Figur 9-1 Modelleret maksimal vandstand under en Bodil Storm efter udbygning af havnen.



Figur 9-2 Modelleret ændringer i højvande under en Bodilstorm.
Blå farver indikerer områder med svagt faldende højvandsniveauer. Røde farver indikerer områder med svagt stigende højvandsniveauer.

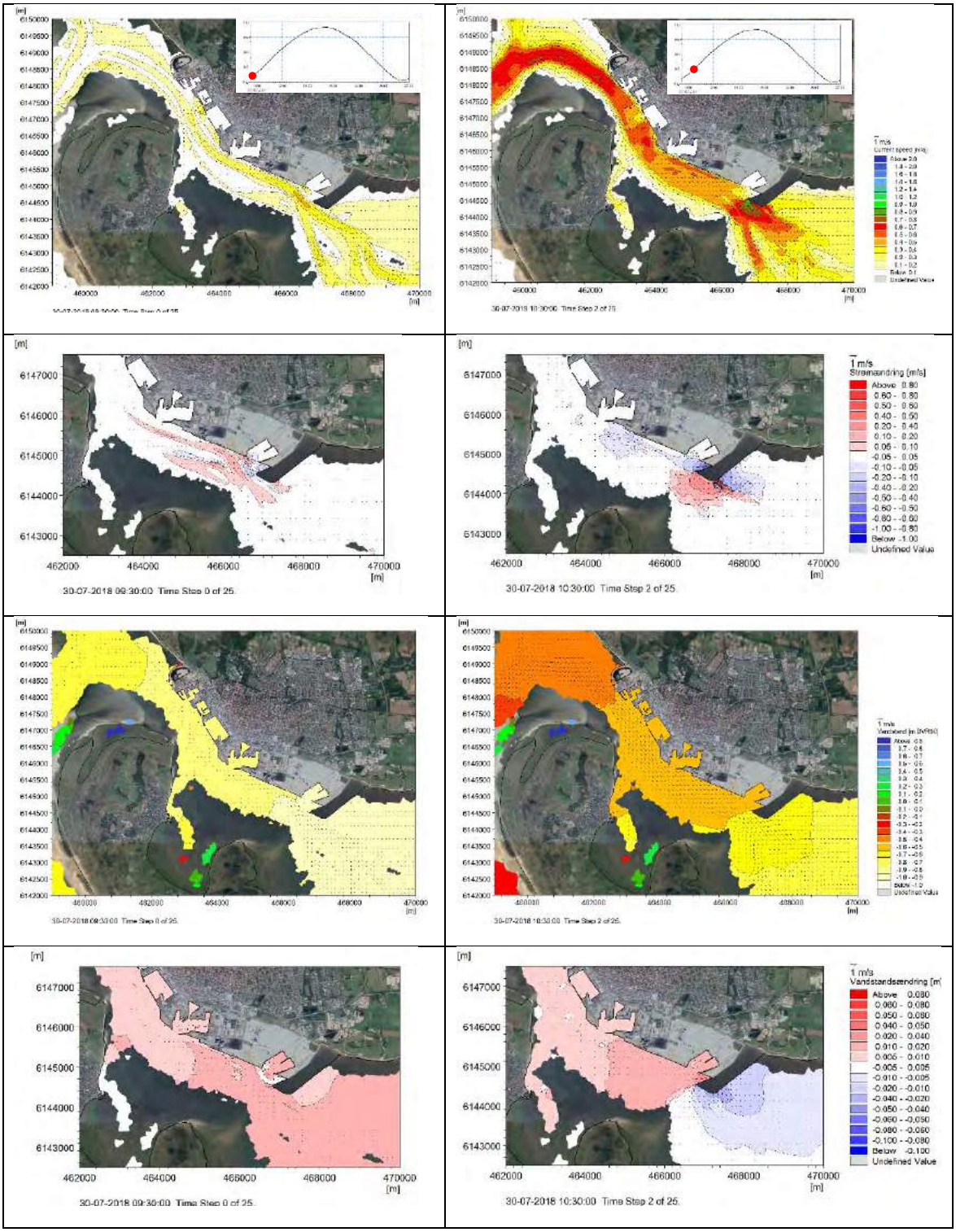
9.2 Påvirkning af generelle strømforhold

De generelle strømforhold langs med Esbjerg Havn er styret af tidevandet, samt af de vindstuvninger eller vindsænkninger som større vejrsystemer skaber i den sydøstlige del af Nordsøen (Vadehavet). I dette afsnit beskrives de efter etapeudbygningen typiske strømforhold samt ændringer heri i forhold til baseline. Desuden ses der på situationer med ekstrem flod- og ebbestrøm.

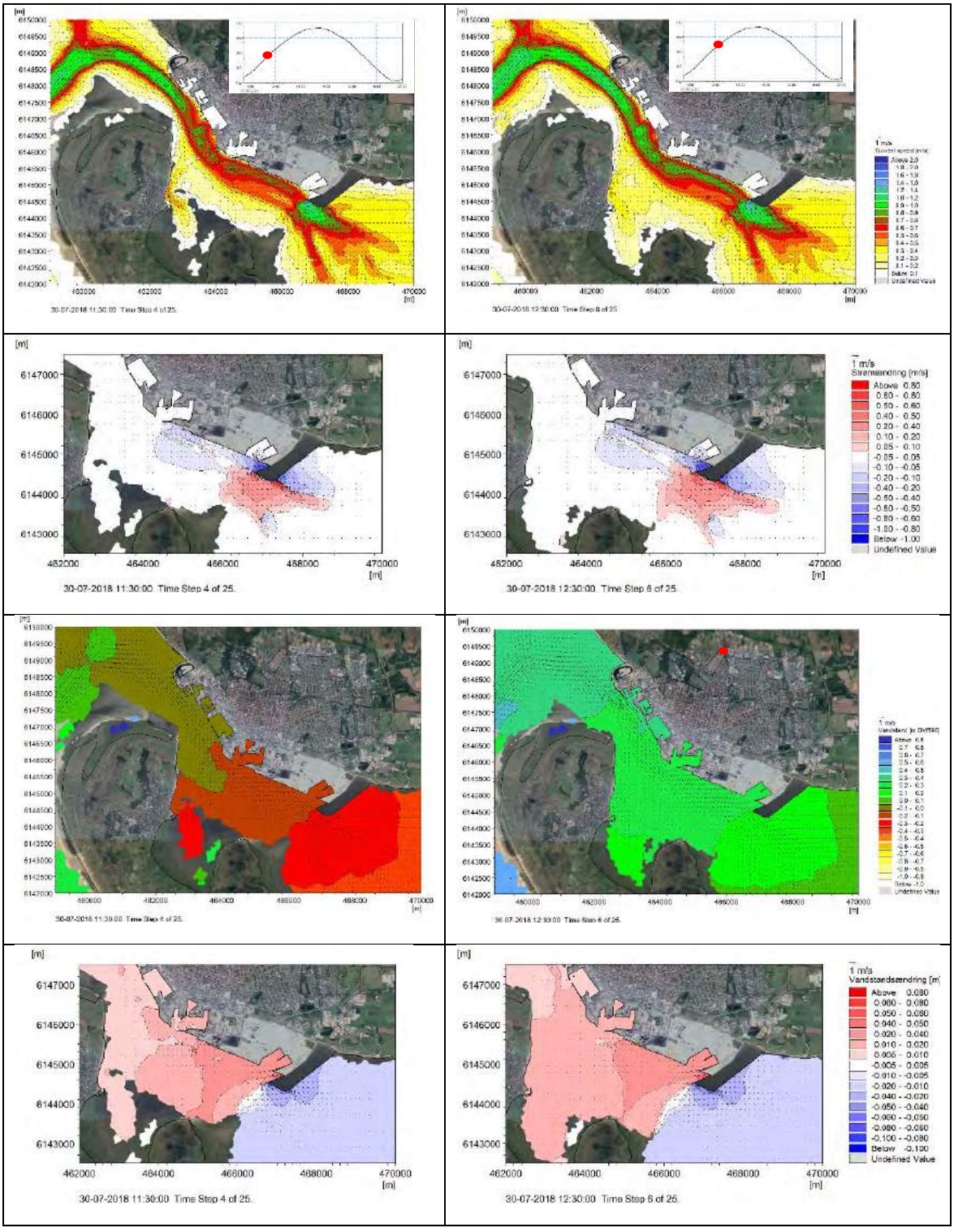
9.2.1 Påvirkning under normale tidevandsforhold

Langt størstedelen af året er strømforholdene i Grådyb og Knudedyb tidevandsområdet påvirket af tidevandsvariationer uden større påvirkning fra vindstuvninger eller vindsænkninger i Vesterhavet og særligt i sommerhalvåret. Tidevandet har en periode på 12,5 timer og typisk en vandstandsvariation på lidt under 2 meter. I dette afsnit beskrives det for layoutet tidevands-generede strømfelt gennem en fuld tidevandsperiode, samt udstrækningen af området som vil opleve en ændret tidevandsstrøm i forhold til baseline. Den valgte periode starter ved begyndende stigende vandstand. Figur 9-3 viser strømfeltet og vandstand til to tidspunkter med ebbe og stigende vandstand samt ændringerne heri i forhold til baseline. Det ses at strømfeltet er påvirket opstrøms udbygningen på en strækning af cirka 3 km og nedstrøms omkring 1 km.

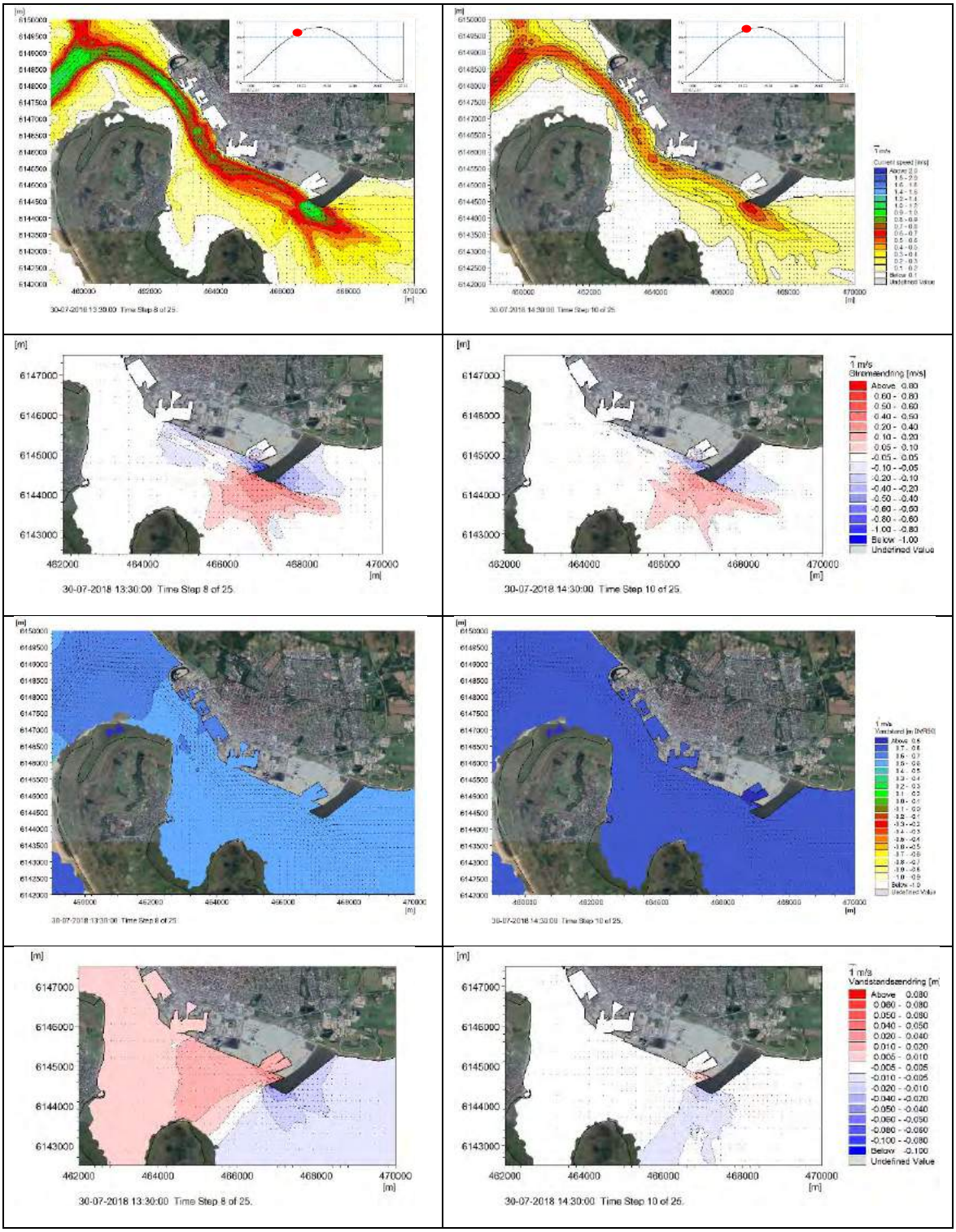
Der er strømforstærkning i det indsnævrede tværsnit ved udbygningen og strømsvækkelse i den blokerede del. Det ses, at udbygningen virker svagt opstemmende på tidevandet.



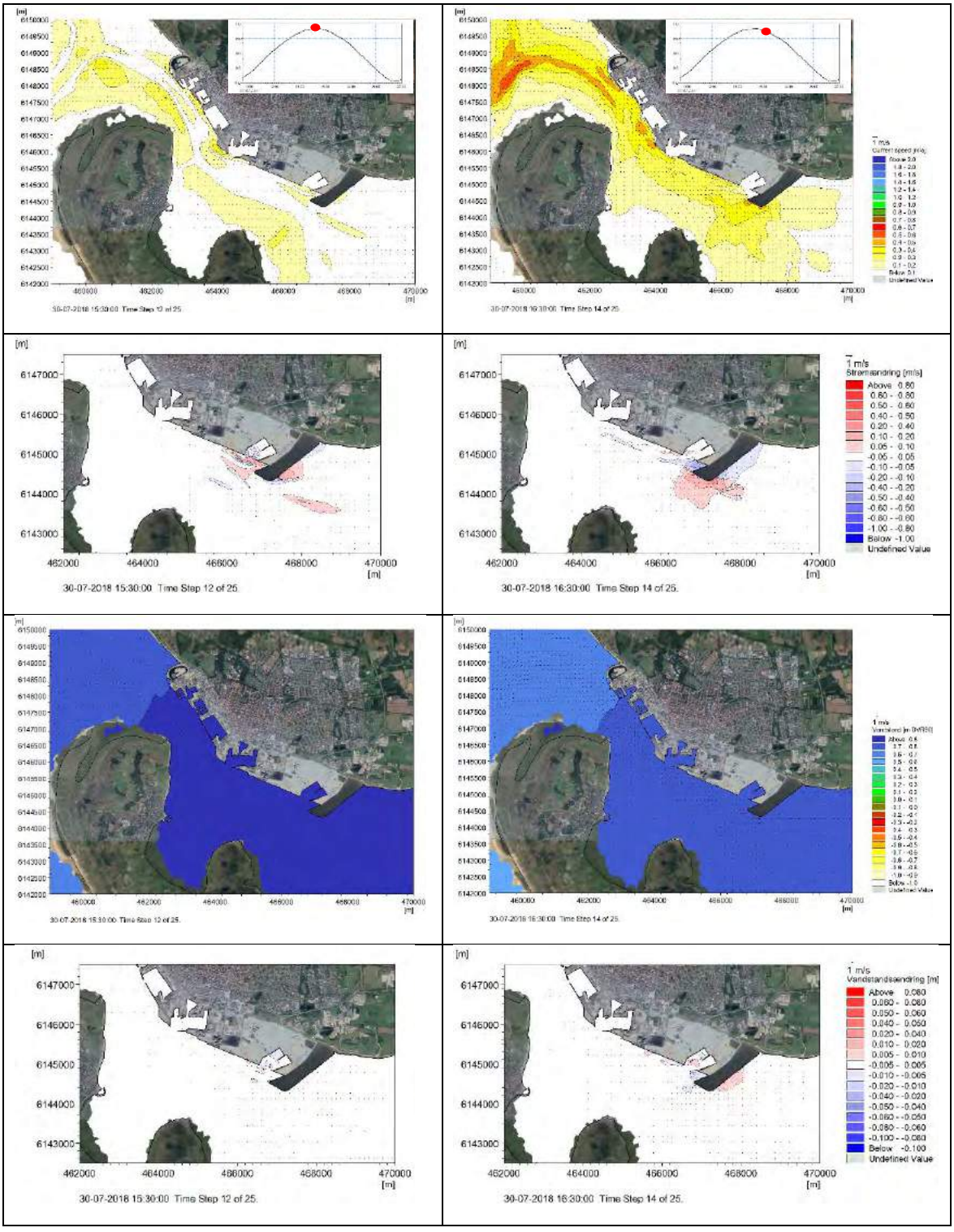
Figur 9-3 Strømforhold, vandstand og ændring af disse under stigende vandstand 30. juni 2018 kl. 9:30 og 10:30 (UTC-tid).



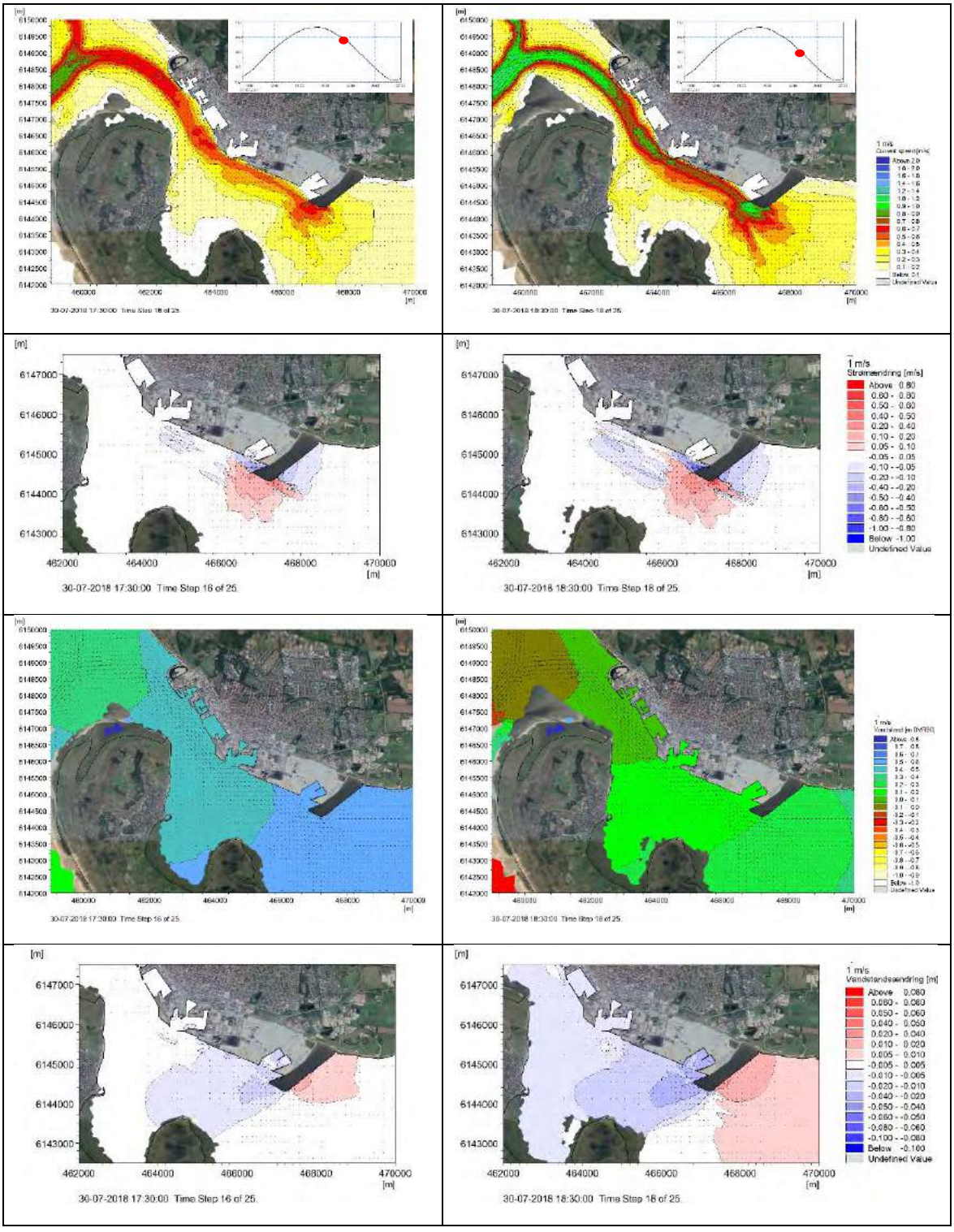
Figur 9-4 Strømforhold, vandstand og ændring af disse under stigende vandstand 30. juni 2018 kl. 11:30 og 12:30 (UTC-tid).



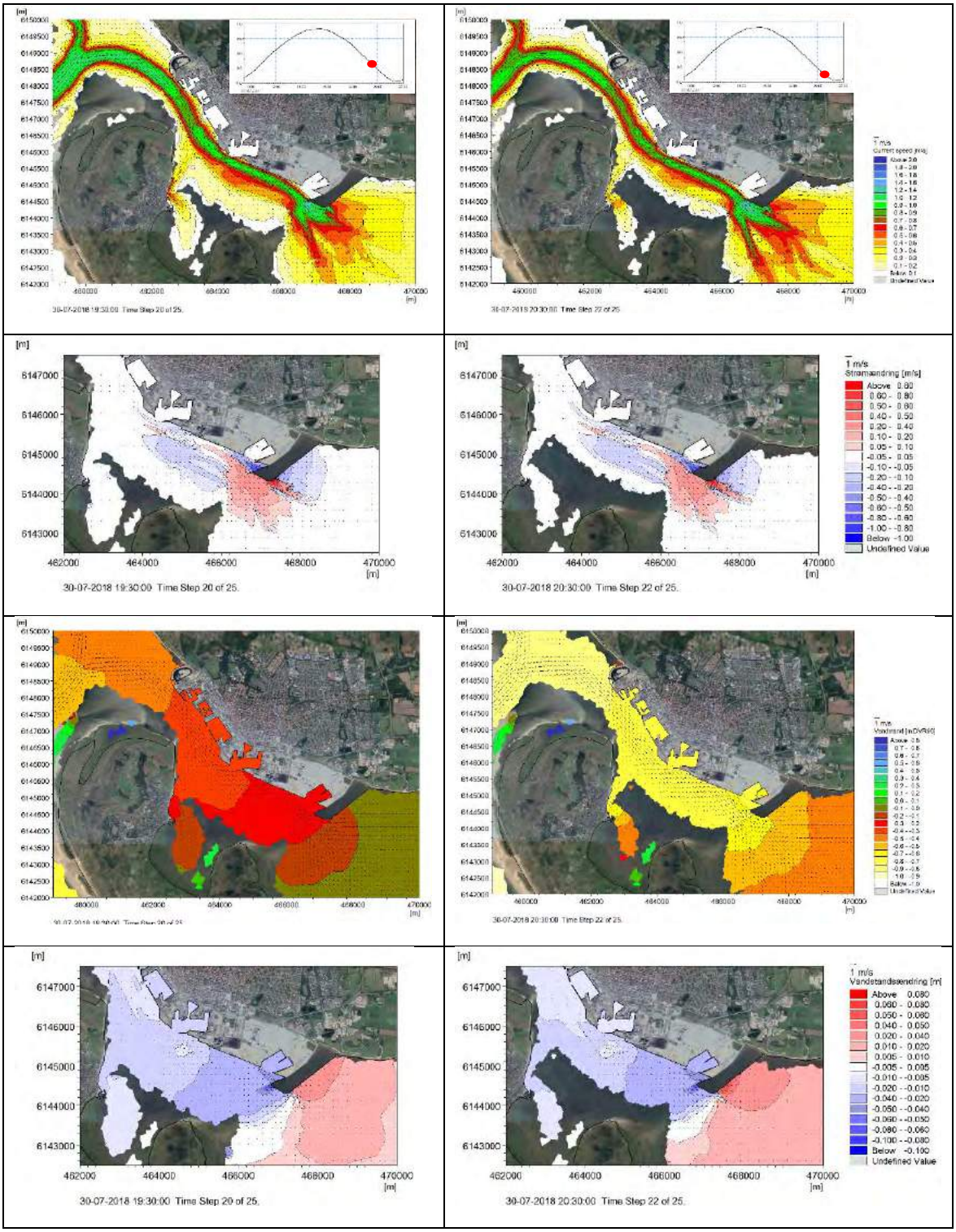
Figur 9-5 Strømforhold, vandstand og ændring af disse under stigende vandstand 30. juni 2018 kl. 13:30 og 14:30 (UTC-tid).



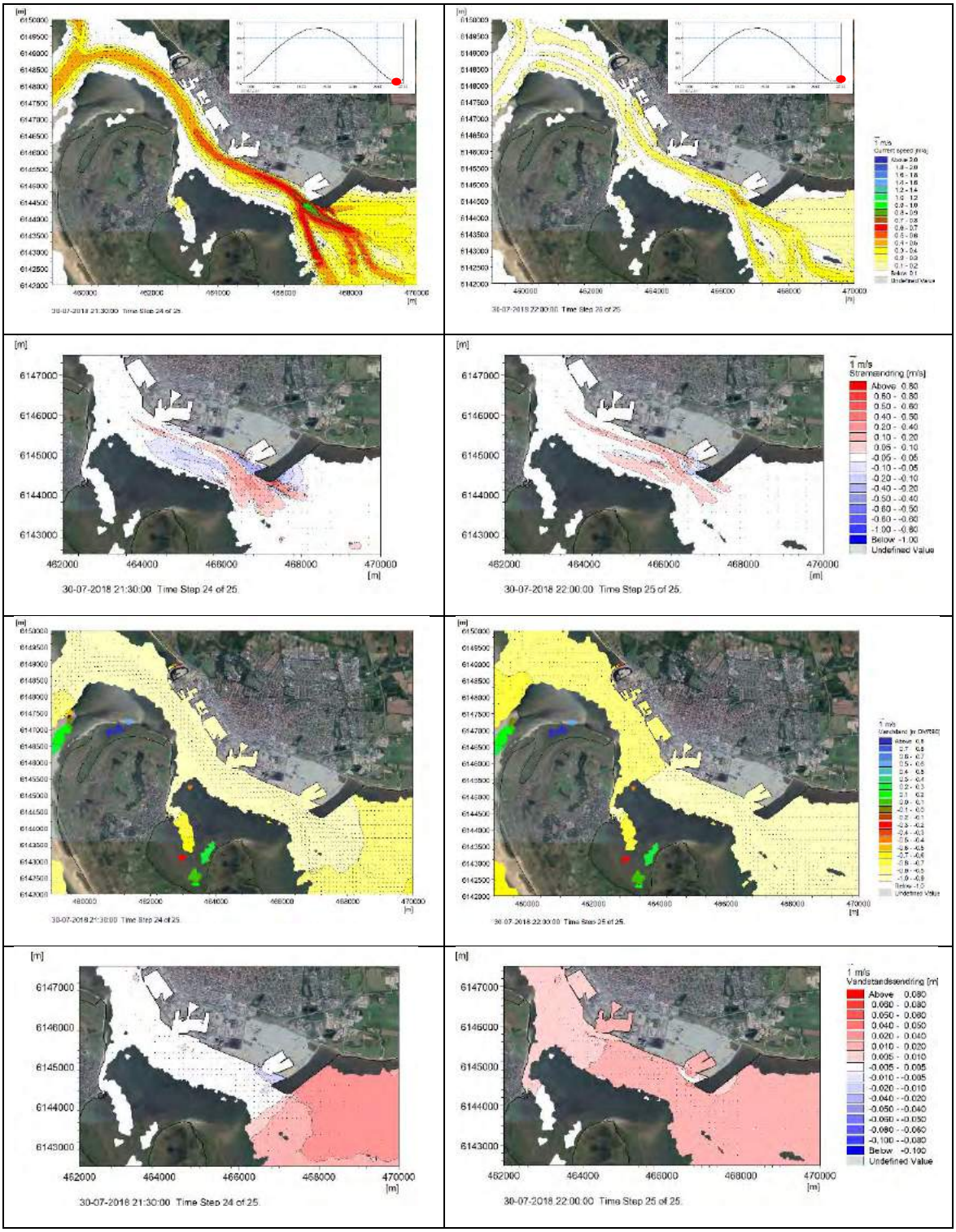
Figur 9-6 Strømforhold, vandstand og ændring af disse under faldende vandstand 30. juni 2018 kl. 15:30 og 16:30 (UTC-tid).



Figur 9-7 Strømforhold, vandstand og ændring af disse under faldende vandstand 30. juni 2018 kl. 17:30 og 18:30 (UTC-tid).



Figur 9-8 Strømforhold og ændring af disse under faldende vandstand 30. juni 2018 kl. 19:30 og 20:30 (UTC-tid).

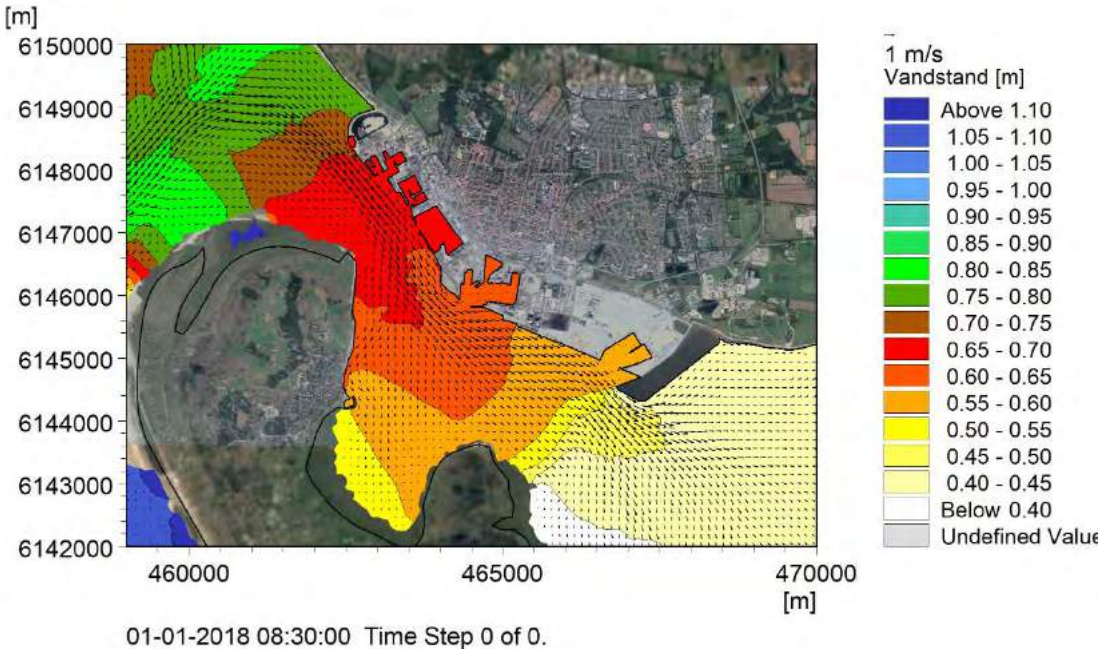


Figur 9-9 Strømforhold og ændring af disse under faldende vandstand 30. juni 2018 kl. 21:30 og 22:00 (UTC-tid).

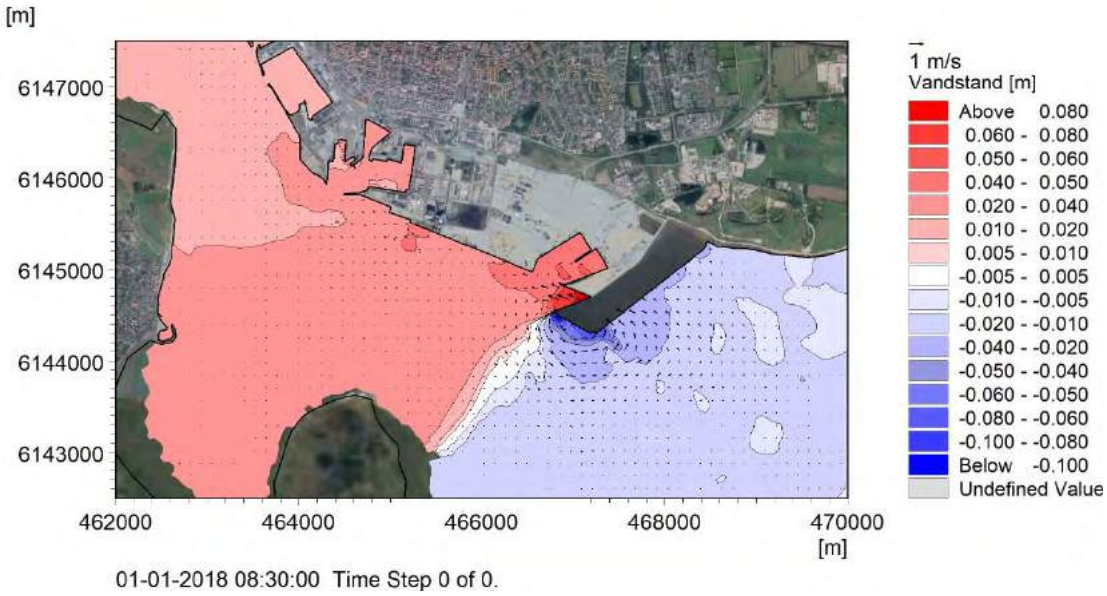
9.2.2 Påvirkning under forhold med ekstrem flodstrøm

Strømforholdene i Grådyb og Knudedyb tidevandsområde er domineret af tidevandsstrømmen som beskrevet i foregående afsnit, men der kan forekomme enkelte hændelser, hvor flodstrømmen er forstærket. Disse hændelserne optræder i forbindelse med stærkt stigende tidevand overlejret af en vindgenereret forstærkning af stigningsraten. Et eksempel på sådan en hændelse finder vi den 1. januar 2018 kl. 8:30 (UTC-tid).

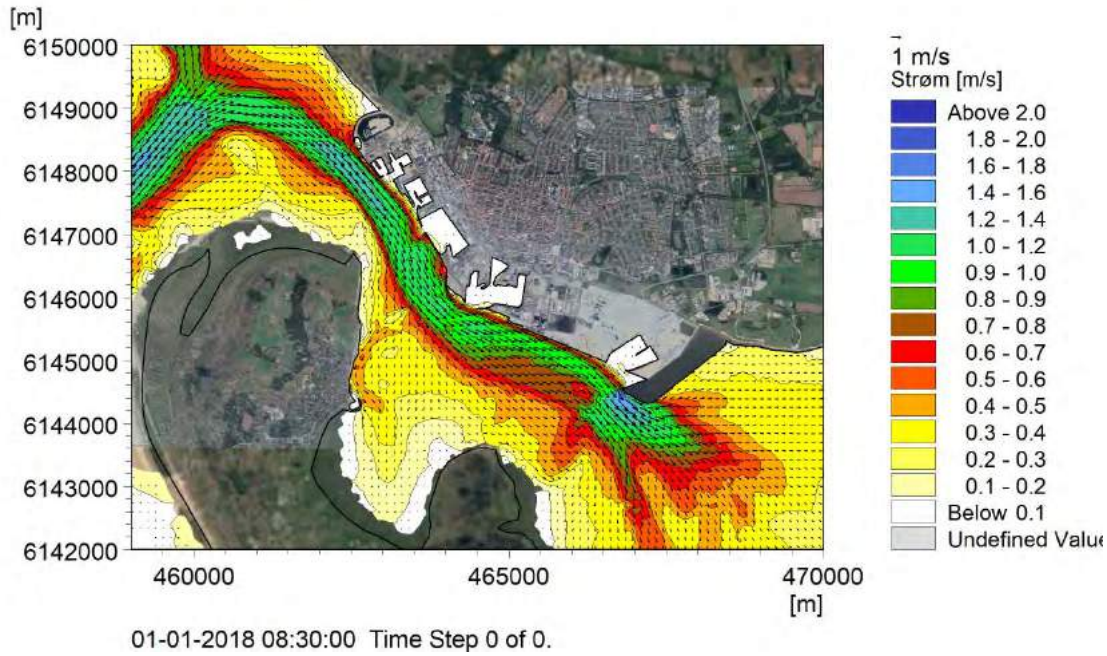
Strømhastighederne er knyttet til og drevet af vandstandsniveauer og vandstandsforskelle. Figur 9-10 og Figur 9-12 viser vandstandsvariationen og strømfeltet hørende til situationen med kraftig flodstrøm efter etapeudbygningen. Tilsvarende viser Figur 9-11 og Figur 9-13 de ændringer i vandstand og strøm som udbygningen skaber. Det ses, at udvidelsen har en opstemmende effekt som skaber en strømforstærkning i området ud for udbygningen. Strømændringerne er beregnet både vektorielt og skalart. I den vektorielle beregning inkluderes effekten af en ændret strømretning, mens den skalare beregning alene ser på ændringer i hastighed. Fortegnet i den vektorielle beregning er defineret ud fra den skalare beregnings fortegn. Det ses, at strømmen forstærkes helt lokalt med op til 60 cm/s og således at den dybdemidlet strømhastighed når op omkring 1,8 m/s. Strømfeltets påvirkningsområde har cirka en udstrækning på 5 km x 4 km. Uden for dette område er påvirkningen meget begrænset.



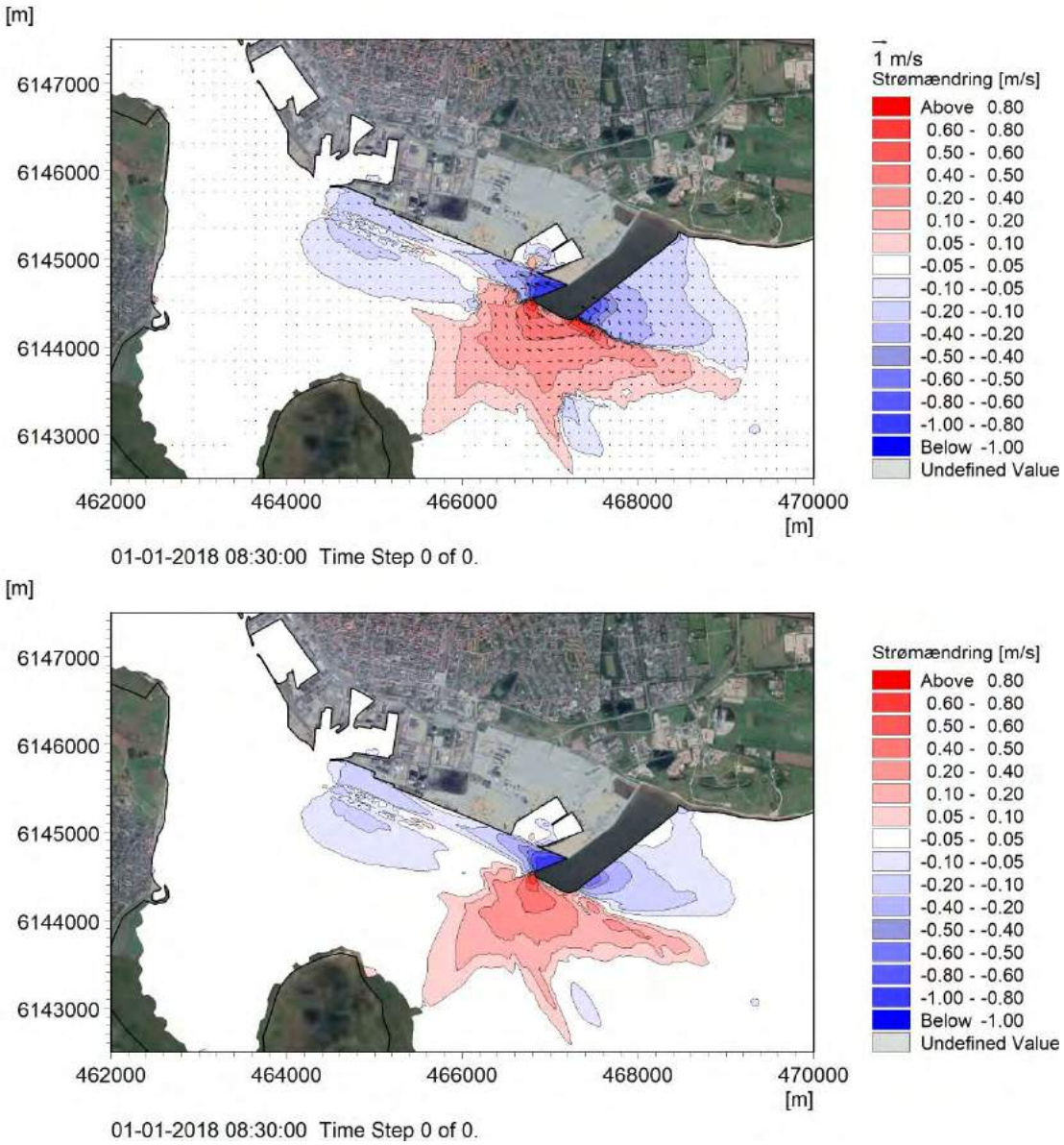
Figur 9-10 Vandstandsforhold under en situation med kraftig flodstrøm (1. januar 2018 kl. 8:30, UTC) med etapeudbygning.



Figur 9-11 Vandstandsændring forårsaget af etapeudbygningen under en situation med kraftig flodstrøm (1. januar 2018 kl. 8:30, UTC).



Figur 9-12 Strømfeltet hørende til en situation med kraftig flodstrøm (1. december 2018 kl. 8:30, UTC) med etapeudbygning.

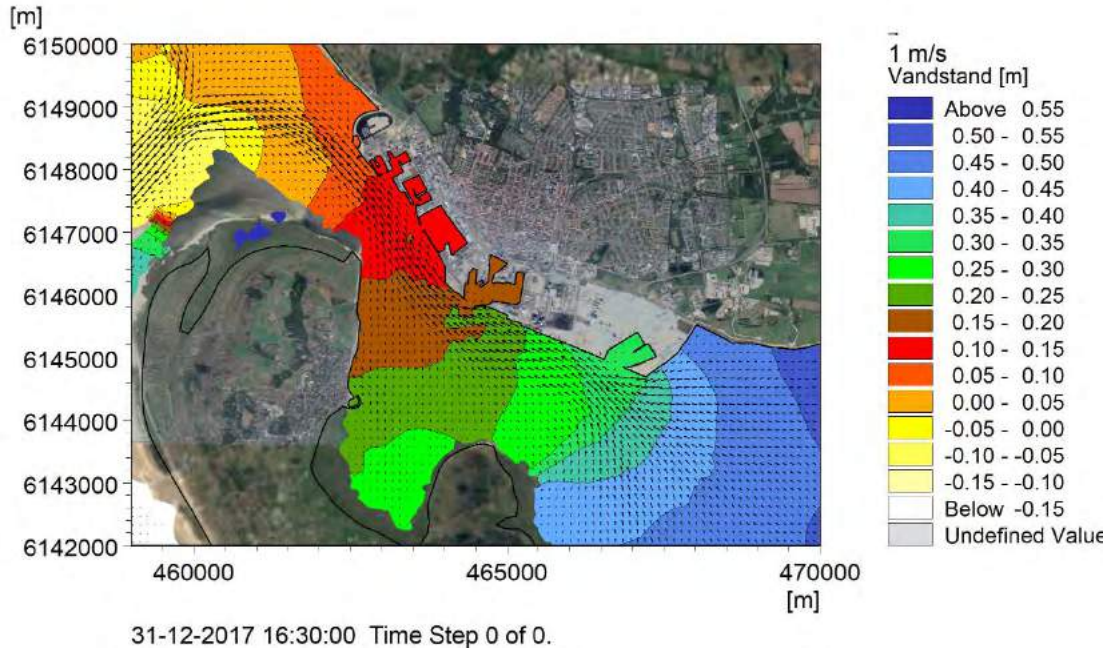


Figur 9-13 Område med strømændring under forhold med kraftig flodstrøm.
Øverst: Vektoriel beregning. Nederst: Skalar beregning.
Røde områder indikerer strømforstærkning. Blå områder indikerer strømsvækkelse.

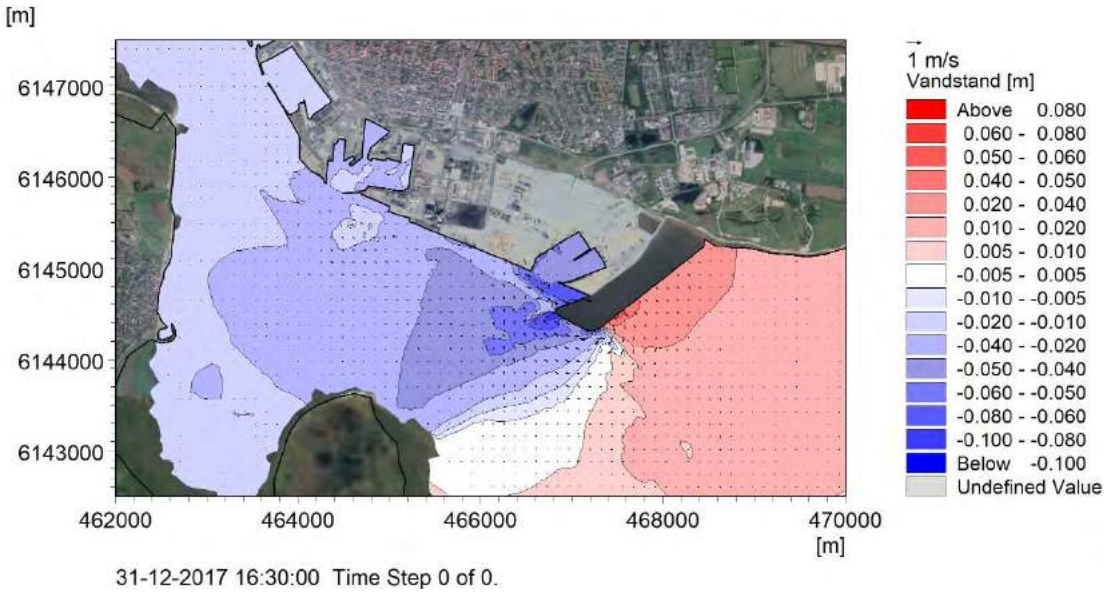
9.2.3 Påvirkning under forhold med ekstrem ebbestrøm

Hændelser med forstærket ebbestrøm optræder i forbindelse med hurtigt faldende tidevand overlejret af en vindgenereret forstærkning af reduktionsraten. Et eksempel på sådan en hændelse finder vi den 31. december 2017 kl. 16:30 (UTC-tid). Strømhastighederne er knyttet til og drevet af vandstandsniveauer og vandstandsforskelle. Figur 9-14 og Figur 9-16 viser vandstandsvariationen og strømfeltet hørende til situationen med kraftig ebbestrøm efter etapeudbygningen. Tilsvarende viser Figur 9-15 og Figur 9-17 de ændringer i vandstand og strøm som udbygningen skaber. Det ses, at udvidelsen har en opstemmende effekt som skaber en strømforstærkning i området ud for udbygningen og som indebærer at området nedstrøms udbygningen dræner lidt hurtigere af. Strømændringerne er beregnet både vektorielt og skalart. I den vektorielle beregning inkluderes effekten af en ændret strømretning, mens den skalare beregning alene ser på ændringer i hastighed. Fortegnet i den vektorielle beregning er defineret ud fra den skalare beregnings fortegn. Strømmen forstærkes helt lokalt med op til 60 cm/s og

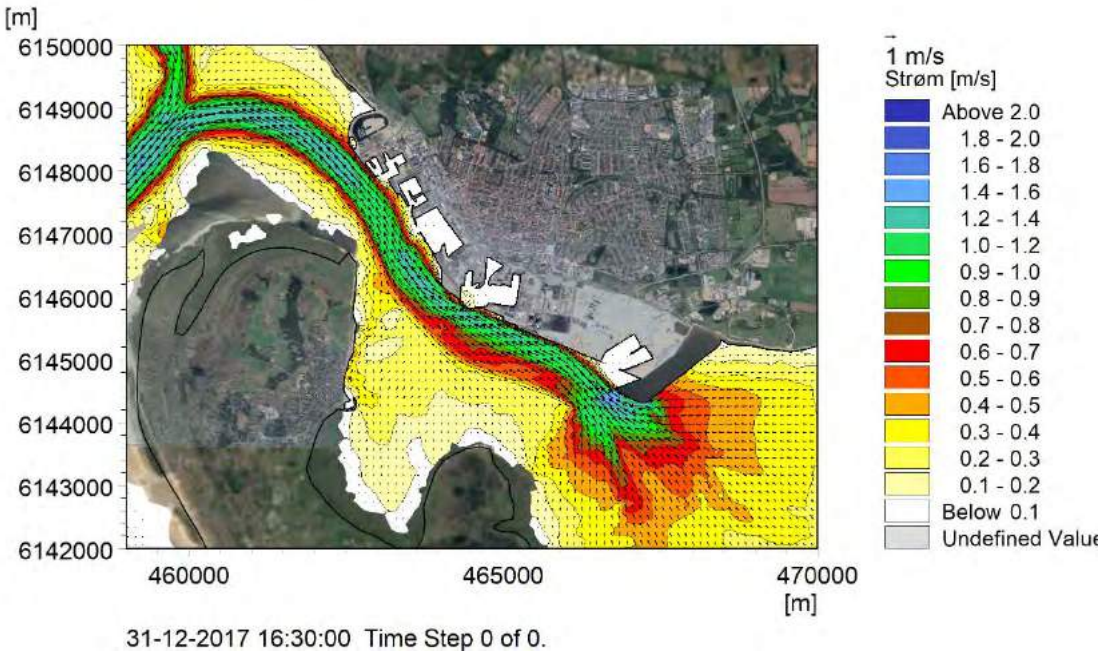
således at den dybdemidlet strømhastighed når op omkring 1,6 m/s. Strømfeltets påvirkningsområde har cirka en udstrækning på 6 km x 4 km. Uden for dette område er påvirkningen meget begrænset.



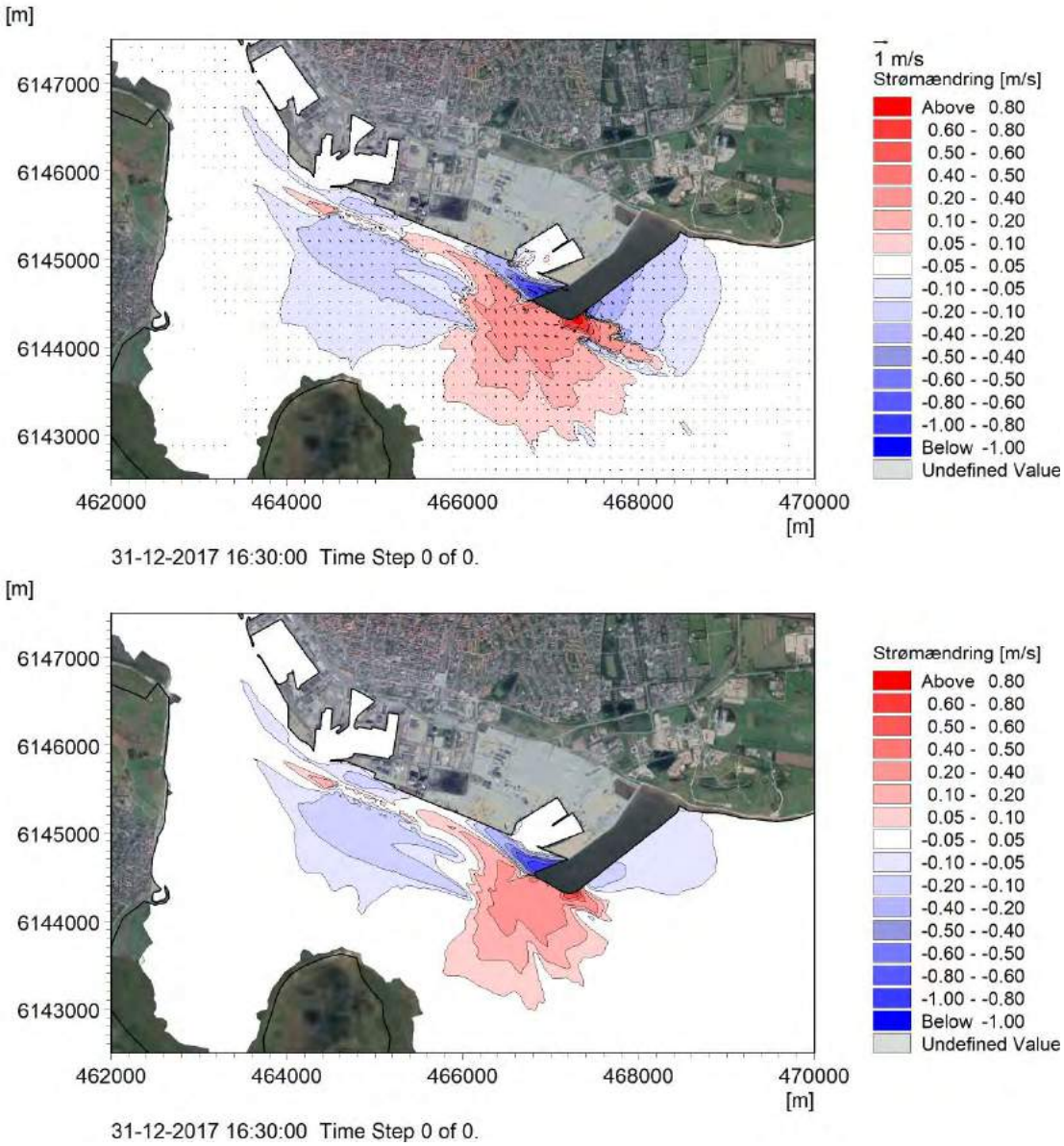
Figur 9-14 Vandstandsforhold under en situation med kraftig ebbestrøm (31. december 2017 kl. 16:30, UTC) med etapeudbygning.



Figur 9-15 Vandstandsændring forårsaget af etapeudbygningen under en situation med kraftig ebbestrøm (31. december 2017 kl. 16:30, UTC).



Figur 9-16 Strømfeltet hørende til en situation med kraftig ebbestrøm (31. december 2017 kl. 16:30, UTC) med etapeudbygning.



Figur 9-17 Område med strømændring under forhold med kraftig ebbestrøm.
Øverst: Vektoriel beregning. Nederst: Skalar beregning.
Røde områder indikerer strømforstærkning. Blå områder indikerer strømsvækkelse.

9.3 Påvirkning af vandbalance

Etape 5 udbygningens opfyldning tilfører et nyt landareal på cirka 600.000 m^2, som indvindes fra Grådyb tidevandsområde. Dette område udgør cirka 132.000.000 m^2 og udbygningen indebærer derfor at tidevandsområdets arealmæssige udstrækning reduceres med 0,45 %. En naturlig konsekvens af opfyldningen og udbygningen er derfor, at der vil være en mindre påvirkning af vandbalancen i tidevandsområdet. Disse påvirkninger er beskrevet i det følgende afsnit.

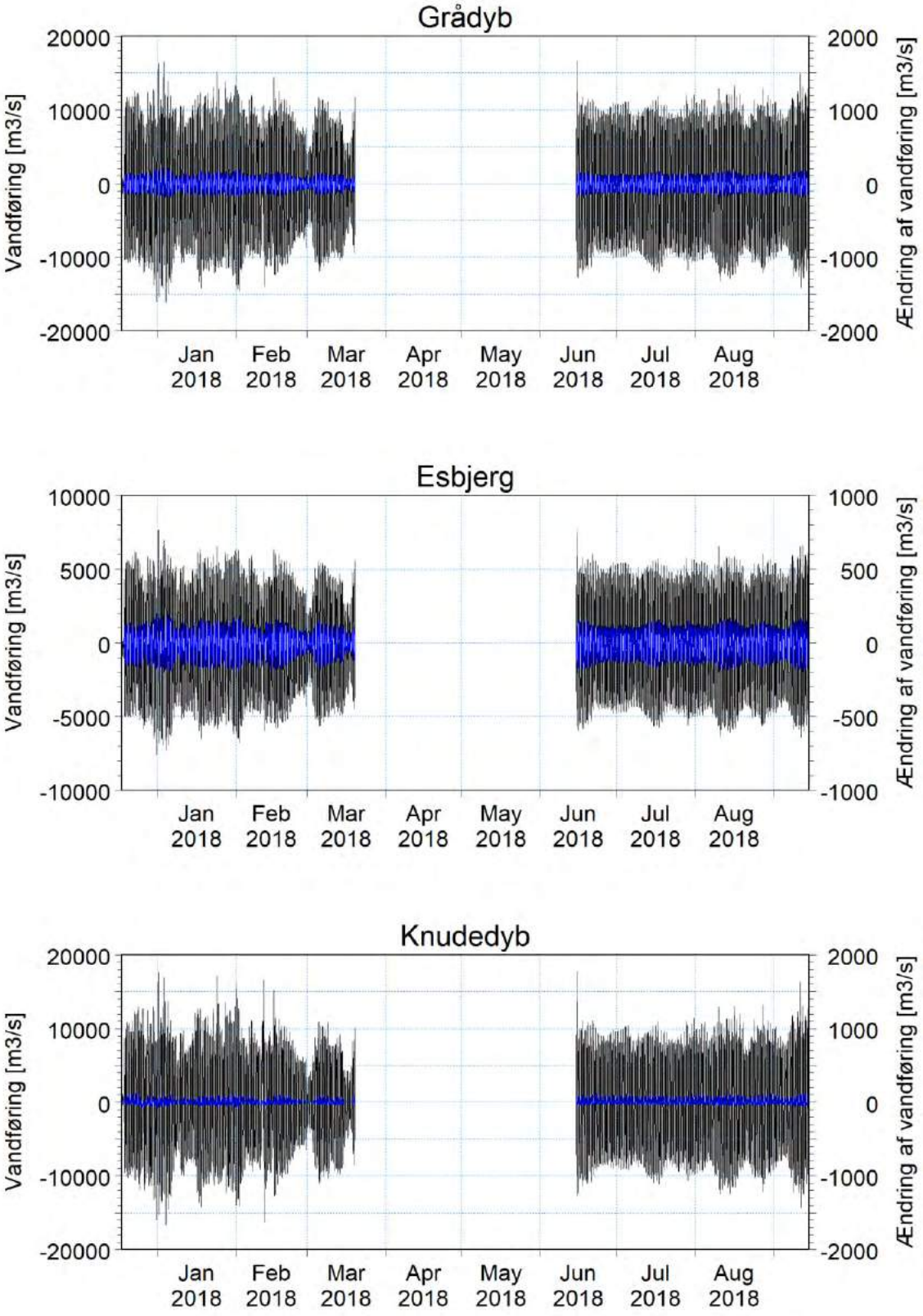
9.3.1 Påvirkning af vandføring

Som nævnt ovenfor virker opfyldningen svagt dæmpende på de med tidevandet ud- og indstrømmende volumener, men etapeudbygningen har også en mindre opstuvende effekt som giver sig udslag i en svagt ændret faseudbredelse af tidevandet. Påvirkningen igennem en

tidevandscyklus er smukt illustreret i afsnit 9.2.1 Påvirkning under normale tidevandsforhold. Effekten af sidstnævnte ses i de beregnede vandføringsændringer optegnet med den blå kurve i Figur 9-18 for henholdsvis vinter og sommerperioden og de tre definerede tværsnit ved Grådyb, Esbjerg og Knudedyb (se Figur 7-11). Da etapeudbygningen har en opstemmende effekt ved både faldende og stigende vandstand, ses ændringen af vandføringen både at være positiv og negativ. Påvirkningen er større i Grådyb end Knudedyb, hvilket er en naturlig konsekvens af at opfyldningen og etapeudvidelse er placeret i Grådyb tidevandsområde. Desuden er påvirkningen mere signifikant i Esbjerg tværsnittet end i Grådyb tværsnittet. Årsagen til dette er at vandføringen gennem Grådyb også indeholder et signifikant bidrag fra Ho Bugt, hvor forholdene er relativt upåvirkede af udbygningen.

Tabel 9-1 - Tabel 9-3 indeholder en række statistiske mål for vandføringen og påvirkningen heraf i Grådyb, Esbjerg og Knudedyb tværsnittet i vinterperioden. Det ses, at der ikke er en påvirkning af nettovandføringen, hvilket betyder at etapeudvidelsen opretholder den samme nettocirkulation omkring Fanø, som der ses i dag. Bruttovandføringen er derimod påvirket alle tre steder, men ikke på samme måde. Bruttovandføringen falder i Grådyb og Esbjerg tværsnittet, men stiger svagt i Knudedyb. Årsagen til dette er dels effekten af opfyldningen (areal), men også dens udformning som har en mindre blokerende effekt. Den øgede modstand fører til en svag nordgående forskydning af tidevandskellet og dermed en svag forøgelse af bruttovandføringen gennem Knudedyb. Effekten er dog af mere hypotetisk karakter end noget man vil kunne observere i praksis. Tilsvarende tendenser findes på den maksimale flod- og ebbevandføring samt middelværdierne heraf. Den mindre forskydning af tidevandsskellet fører til en meget svag forlængelse af ebbeperioden i Esbjerg tværsnittet og meget svag forlængelse af flodperioden i Knudedyb tværsnittet.

Tabel 9-4 - Tabel 9-6 indeholder statistiske mål for vandføringen og påvirkningen heraf i Grådyb, Esbjerg og Knudedyb tværsnittet i sommerperioden. Det ses, at der er en lille påvirkning af nettovandføringen, som bevirker at nettocirkulationen mod uret omkring Fanø forstærkes en anelse. Altså at der under flod (netto) løber lidt mere vand gennem Knudedyb og lidt mindre gennem Grådyb og omvendt under ebbe. Samlet set er nettocirkulationen i sommerperioden dog svagere end i vinterperioden. Bruttovandføringerne falder ligeledes i Grådyb og Esbjerg tværsnittet og med lidt mere end i vinterperioden. En årsag til dette kan være de meget lave vandstandsniveauer, som påvirkede tidevandsområdet i dele af marts måned. Bruttovandføringen gennem Knudedyb er ligeledes svag forstærket i forhold til vinterperioden. De største flod og ebbevandføringer er som forventet mindre i sommerperioden end i vinterperioden. Påvirkningerne af disse er analoge med påvirkningerne i vinterperioden. Den nordlige forskydning af tidevandsskellet føre også sommerperioden til en meget svag forlængelse af ebbeperioden i Esbjerg tværsnittet og meget svag forlængelse af flodperioden i Knudedyb tværsnittet.



Figur 9-18 Vandføring for baseline (sort kurve, venstre y-akse) og ændring (etape 5 minus baseline) af vandføring (blå kurve, højre y-akse) gennem tværsnit ved Grådyb, Esbjerg og Knudedyb for den modellerede vinter- og sommerperiode.
Positive vandføringer angiver en indstrømning til tidevandsområdet.

Tabel 9-1 Statistiske mål for vandføringer i vinterperioden, Grådyb.

Vinterperiode	Baseline	Etape 5	Ændring	Ændring [%]
Nettovandføring	-145 m^3/s	-146 m^3/s	-1 m^3/s	0,68
Bruttovandføring	6.938 m^3/s	6.861 m^3/s	-77 m^3/s	-1,11
Middel flodvandføring	6.880 m^3/s	6.801 m^3/s	-79 m^3/s	-1,15
Største flodvandføring	16.524 m^3/s	16.408 m^3/s	-116 m^3/s	-0,70
Middel ebbevandføring	6.994 m^3/s	6.919 m^3/s	-75 m^3/s	-1,07
Største ebbevandføring	16.150 m^3/s	16.046 m^3/s	-104 m^3/s	-0,64
Floddomineret varighed	49,4 %	49,4 %	0 %	0
Ebbedomineret varighed	50,6 %	50,6 %	0 %	0

Tabel 9-2 Statistiske mål for vandføringer i vinterperioden, Esbjerg.

Vinterperiode	Baseline	Etape 5	Ændring	Ændring [%]
Nettovandføring	-113 m^3/s	-114 m^3/s	-1 m^3/s	0,83
Bruttovandføring	3.330 m^3/s	3.256 m^3/s	-74 m^3/s	-2,23
Middel flodvandføring	3.313 m^3/s	3.239 m^3/s	-74 m^3/s	-2,23
Største flodvandføring	7.658 m^3/s	7.445 m^3/s	-213 m^3/s	-2,78
Middel ebbevandføring	3.346 m^3/s	3.272 m^3/s	-74 m^3/s	-2,22
Største ebbevandføring	7.586 m^3/s	7.417 m^3/s	-168 m^3/s	-2,22
Floddomineret varighed	48,6 %	48,5 %	-0,05 %	-0,102
Ebbedomineret varighed	51,4 %	51,5 %	0,05 %	0,096

Tabel 9-3 Statistiske mål for vandføringer i vinterperioden, Knudedyb.

Vinterperiode	Baseline	Etape 5	Ændring	Ændring [%]
Nettovandføring	53 m^3/s	54 m^3/s	1 m^3/s	1,93
Bruttovandføring	6.418 m^3/s	6.428 m^3/s	10 m^3/s	0,16
Middel flodvandføring	6.413 m^3/s	6.419 m^3/s	6 m^3/s	0,10
Største flodvandføring	17.627 m^3/s	17.685 m^3/s	59 m^3/s	0,33
Middel ebbevandføring	6.423 m^3/s	6.436 m^3/s	14 m^3/s	0,21
Største ebbevandføring	16.634 m^3/s	16.642 m^3/s	8 m^3/s	0,05
Floddomineret varighed	50,5 %	50,5 %	0,03 %	0,068
Ebbedomineret varighed	49,5 %	49,5 %	-0,03 %	-0,069

Tabel 9-4 Statistiske mål for vandføringer i sommerperioden, Grådyb.

Vinterperiode	Baseline	Etape 5	Ændring	Ændring [%]
Nettovandføring	-53 m^3/s	-56 m^3/s	-3 m^3/s	6,58
Bruttovandføring	7.063 m^3/s	6.980 m^3/s	-84 m^3/s	-1,19
Middel flodvandføring	7.159 m^3/s	7.076 m^3/s	-83 m^3/s	-1,16
Største flodvandføring	14.867 m^3/s	14.746 m^3/s	-121 m^3/s	-0,82
Middel ebbevandføring	6.973 m^3/s	6.888 m^3/s	-84 m^3/s	-1,21
Største ebbevandføring	14.102 m^3/s	13.991 m^3/s	-111 m^3/s	-0,79
Floddomineret varighed	49,0 %	49,0 %	-0,04 %	-0,086
Ebbedomineret varighed	51,0 %	51,0 %	0,04 %	0,082

Tabel 9-5 Statistiske mål for vandføringer i sommerperioden, Esbjerg.

Vinterperiode	Baseline	Etape 5	Ændring	Ændring [%]
Nettovandføring	-40 m^3/s	-44 m^3/s	-3 m^3/s	8,53
Bruttovandføring	3.399 m^3/s	3.319 m^3/s	-80 m^3/s	-2,36
Middel flodvandføring	3.527 m^3/s	3.442 m^3/s	-85 m^3/s	-2,41
Største flodvandføring	6.630 m^3/s	6.442 m^3/s	-187 m^3/s	-2,82
Middel ebbevandføring	3.283 m^3/s	3.207 m^3/s	-76 m^3/s	-2,30
Største ebbevandføring	6.424 m^3/s	6.280 m^3/s	-144 m^3/s	-2,24
Floddomineret varighed	47,6 %	47,6 %	-0,03 %	-0,072
Ebbedomineret varighed	52,4 %	52,4 %	0,03 %	0,066

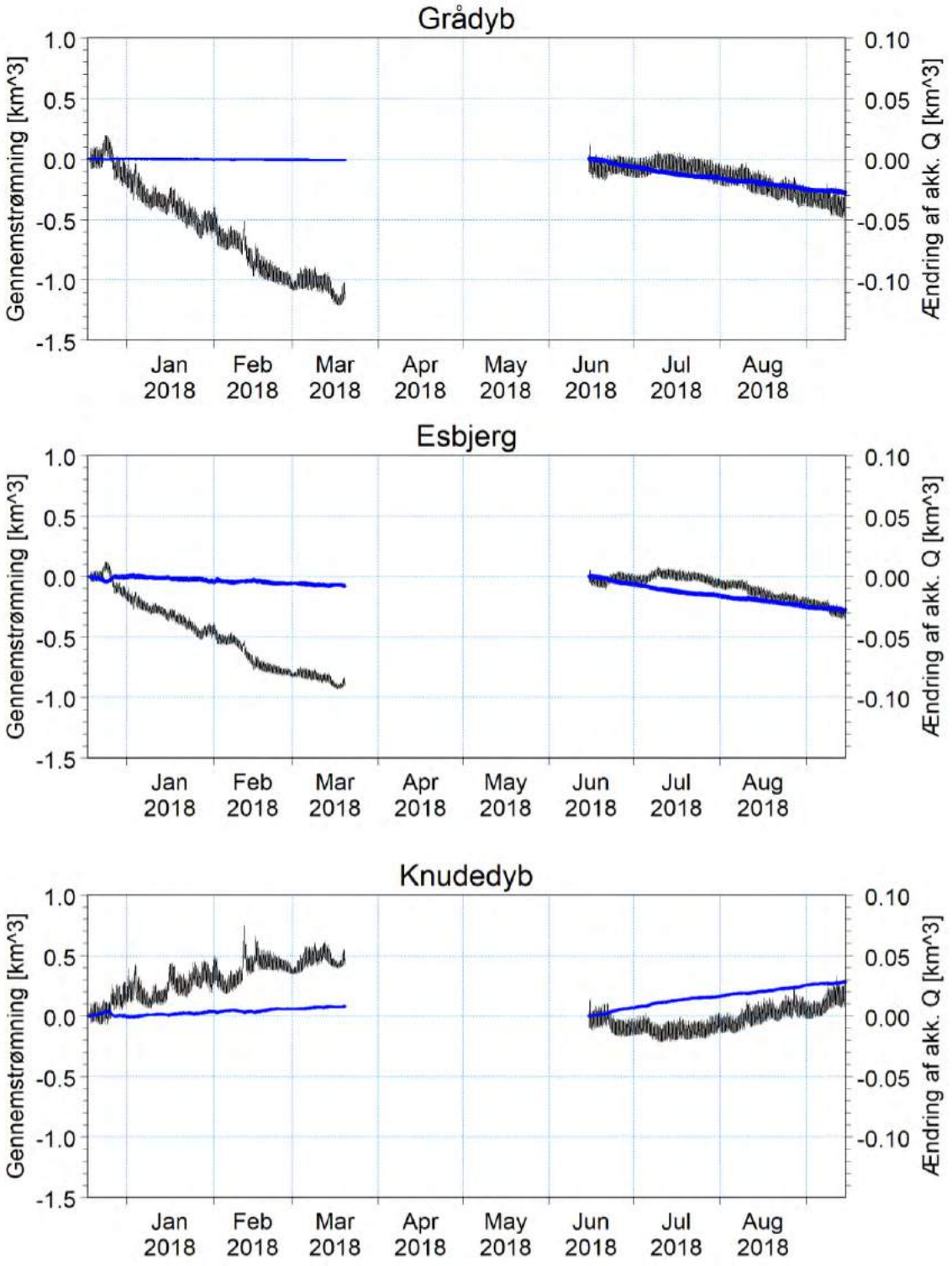
Tabel 9-6 Statistiske mål for vandføringer i sommerperioden, Knudedyb.

Vinterperiode	Baseline	Etape 5	Ændring	Ændring [%]
Nettovandføring	18 m^3/s	22 m^3/s	4 m^3/s	19,6
Bruttovandføring	6.533 m^3/s	6.542 m^3/s	9 m^3/s	0,14
Middel flodvandføring	6.652 m^3/s	6.653 m^3/s	1 m^3/s	0,02
Største flodvandføring	16.350 m^3/s	16.385 m^3/s	35 m^3/s	0,21
Middel ebbevandføring	6.418 m^3/s	6.435 m^3/s	17 m^3/s	0,26
Største ebbevandføring	14.294 m^3/s	14.325 m^3/s	31 m^3/s	0,21
Floddomineret varighed	49,2 %	49,3 %	0,08 %	0,18
Ebbedomineret varighed	50,8 %	50,7 %	-0,09 %	-0,17

9.3.2 Påvirkning af gennemstrømning

Gennemstrømningen angiver et akkumuleret mål for nettovandføringen. Da der finder en tilførsel af ferskvand sted til tidevandsområdet, vil gennemstrømningen være rettet ud mod Nordsøen. Desuden er afstrømningen størst i vinterhalvåret, idet nettonedbøren er størst i denne periode. Man finder derfor den største gennemstrømning i vinterperioden. Gennemstrømningen i Grådyb og Knudedyb påvirkes også af nettocirkulationen øst om Fanø. Hvorvidt gennemstrømningen er udadrettet eller indadrettet i det enkelte dyb afhænger derfor om hvilken mekanisme der er stærkest; afstrømningen fra land eller den tidevandsgenererede nettocirkulation. I Figur 9-19 er gennemstrømningen af snittet ved Grådyb, Esbjerg og Knudedyb plottet for henholdsvis vinter- og sommerperioden (sort kurve). En negativ værdi er udtryk for afstrømning væk fra tidevandsområdet (til Nordsøen), mens en positiv værdi er udtryk for tilstrømning (fra Nordsøen). De blå kurver angiver ændringen i forhold til baseline. Det ses, at der er en nettoafstrømning af vand fra Grådyb tidevandsområde i Grådyb og Esbjerg tværsnittene. Desuden ses nettoafstrømningen at blive forstærket med Etape 5 udbygningen. I Knudedyb er effekten lige modsat, her er der en nettoindstrømning til tidevandsområdet og som

forstærkes med udbygningen. Det ses dog, at nettocirkulationen øst om Fanø er rettet med uret i den første halvdel af sommerperioden.



Figur 9-19 Akkumuleret baseline vandføring (sort kurve, venstre y-akse) og ændring af akkumuleret vandføring (blå kurve, højre y-akse) gennem tværsnit ved Grådyb, Esbjerg og Knudedyb for vinter- og sommerperiode.
Positiv gennemstrømning svarer til indstrømning til tidevandsområdet.

9.3.3 Påvirkning af bruttostrøm, nettostrøm og vanddække

Påvirkningerne er inddelt i en vinterperiode og en sommerperiode.

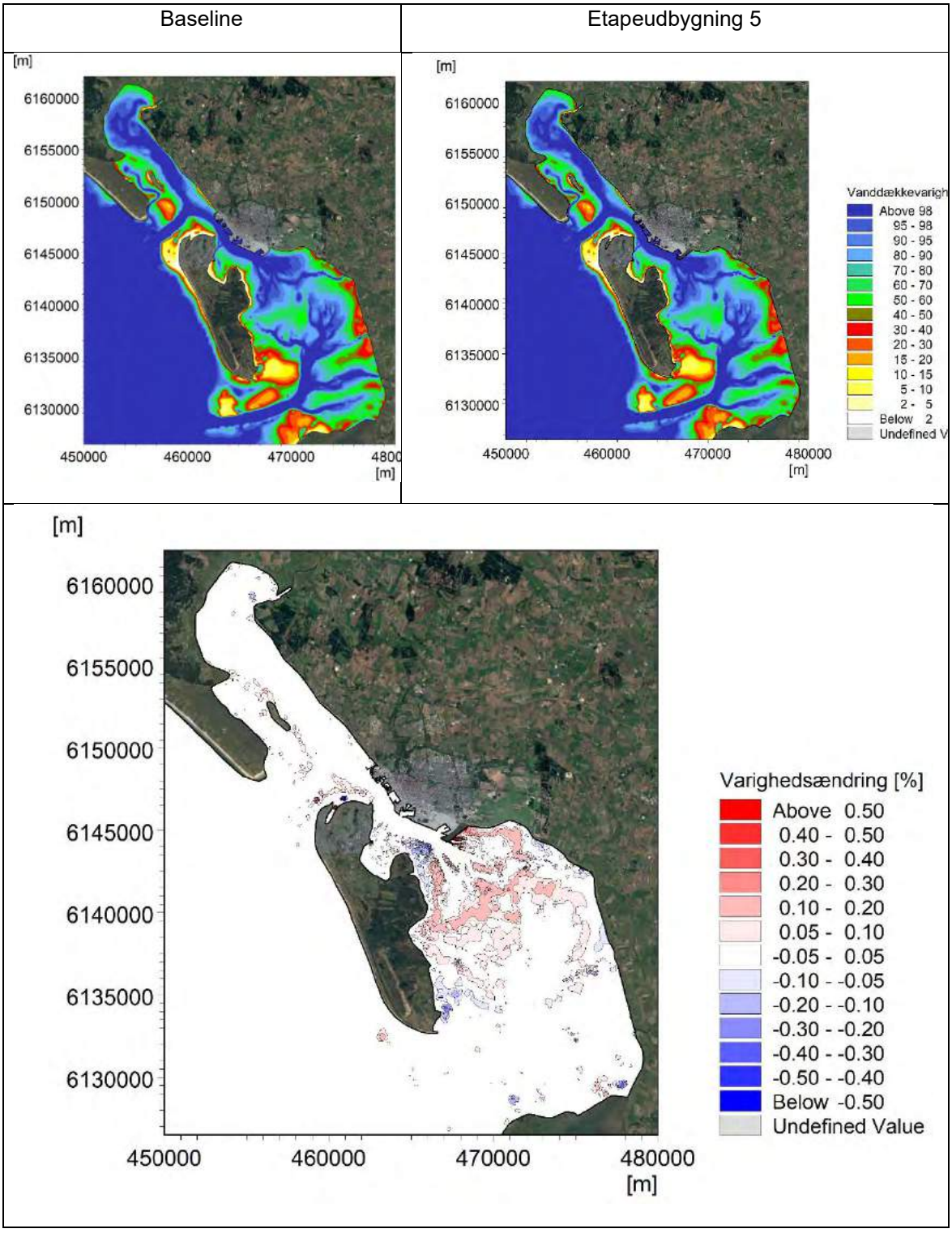
Vinterperiode

Brutto- og nettovandføringerne samt deres ændring som følge af Etape 5 udbygningen blev kvantificeret i forrige afsnit. Vandføringerne giver dog ikke et detaljeret billede af, hvordan påvirkningen er fordelt indenfor det enkelt tværsnit og i området i øvrigt. En viden om dette, kan opnås ved at se på årsmidlet felter af brutto- og nettostrømmen. Desuden kan ændringen i brutto- og nettostrømmen forårsaget af udbygningen identificere de områder som påvirkes.

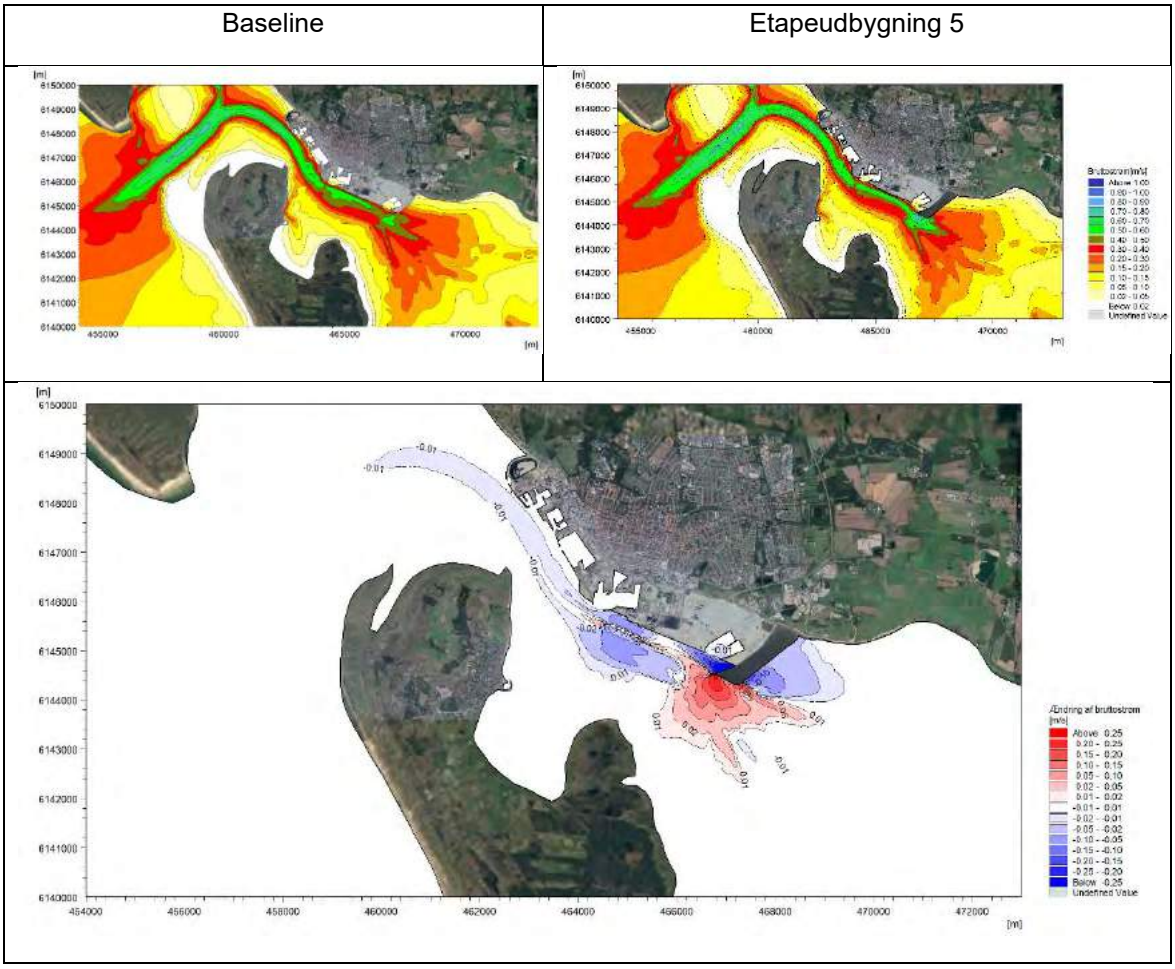
Udbygningen af Esbjerg Havn er beliggende i Grådyb tidevandsområde et godt stykke nord for tidevandsskellet og vil derfor primært have indvirkning på vandudvekslingen gennem Grådyb. Vadehavet øst for Fanø er sammensat af Grådyb og Knudedyb tidevandsområde. Udbygningen af Esbjerg Havn kan derfor potentielt føre til en mindre forskydning af tidevandskellet. Påvirkning kan kvantificeres ved at se på varigheden af vanddække for baseline forhold og udbygning, samt ændringen heraf, i kombination med påvirkningen af brutto- og nettostrømning. Figur 9-20 viser den relative varighed af et områdes vanddække i løbet af vinterperioden for baseline og efter udbygningen samt ændringen i forhold til baseline. Vanddækkevarigheden er angivet i procent. Tidevandsløbene (Grådyb og Knudedyb), har en vanddækkevarighed på 100%, mens den på vaderne er mindre, idet disse kun er vanddækket i en del af hver tidevandsperiode. En umiddelbar sammenligning af de to felter afslører ikke nogen identificerbar forskel, kun på det beregnede differenskort er det muligt at identificere ændringerne som er ganske små. De røde farver på differenskortet indikerer områder som vil opleve en svagt forøget varighed med vanddække, mens den i de blå områder er svagt faldende. Den hvide farver angiver områder med ingen eller negligerbar effekt. Det ses, at den reducerede tidevandsudveksling (bruttovandføring) gennem Grådyb medfører, at tidevandet bliver hængende lidt længere på vaderne i den nordlige del af Grådyb tidevandsområde. På årsbasis svarer ændringen typisk til mellem 0,03-0,1% (2-9 timer per år). I løbet af et kalenderår optræder der cirka 700 tidevandscykler. Påvirkningen vil derfor blive, at varigheden med vanddække forøges med mindre end et minut per tidevandscyklus. I området omkring tidevandskellet forøges vanddækkevarigheden. Størst påvirkning er der i den del som er tilknyttet Grådyb tidevandsområde. Her finder man ændringer på op mod 0,2% (18 timer per år). Den øgede varighed med vanddække betyder potentielt en svag forøget aflejringstendens i området omkring tidevandsskellet, idet perioden hvori sediment kan udfældes fra vandsøjlen vil blive svagt forøget. På den højest beliggende del af vaderne, beliggende ind mod land, er der en tendens til en svag reduktion af varigheden med vanddække. Ændringen er typisk med 0,03-0,1% (2-9 timer per år).

Den årsmidlede bruttostrøm har ingen retning, men angiver et godt samlet mål for et områdes dynamik. Jo kraftigere bruttostrøm, des kraftigere påvirkning og dynamik. Da Grådyb leder tidevandet ind og ud af området, ser man derfor at dynamikken er størst her. Bruttostrømmen er et udtryk for middelstrømmen i vinterperioden. I områder, som ikke er vanddækket gennem hele tidevandscyklusen, vil der være perioder, hvor strømmen er nul, hvilket selvfølgelig har en indvirkning på middelstrømmen. Figur 9-21 viser den midlede bruttostrøm i vinterperioden for henholdsvis baseline og Etape 5 udbygningen, samt ændringen af denne. Det ses, at bruttostrømmen svækkes i den inderste del af Grådyb, som følge af udbygningen. Denne påvirkning relaterer til det reducerede tidevandsprisme. Den øvrige påvirkning er mere lokal og relaterer til et øget strømningstværsnit mellem Fanø og Esbjerg på strækningen med uddybning. I dette område er der en svækkelse af bruttostrømmen. I området ud for Etape 5 opfyldningen er strømningstværsnittet indsnævret og der finder derfor en forstærkning af bruttostrømmen sted. De røde farver i plottet angiver en forstærkning, blå en svækkelse og hvid ingen effekt af betydning. Syd for opfyldningen er der en omfordeling af bruttostrømmen. I sejlrendens forlængelse (løbet) forstærkes bruttostrømmen, mens den svækkes i læ-zonen bag etape 5 opfyldningen. Influensområdet er primært tilknyttet løbene og kun i meget begrænset omfang vaderne. Hvordan området mellem opfyldningen og Fanø påvirkes morfologisk, afhænger af bundsedimentets sammensætning og modstandsdygtighed over for de forøgede erosive

kræfter. Bruttostrømmens forstærkning er aftagende i retning fra opfyldningen ind mod Fanø. Påvirkninger af vaden er derfor lille og begrænset til den yderst del.

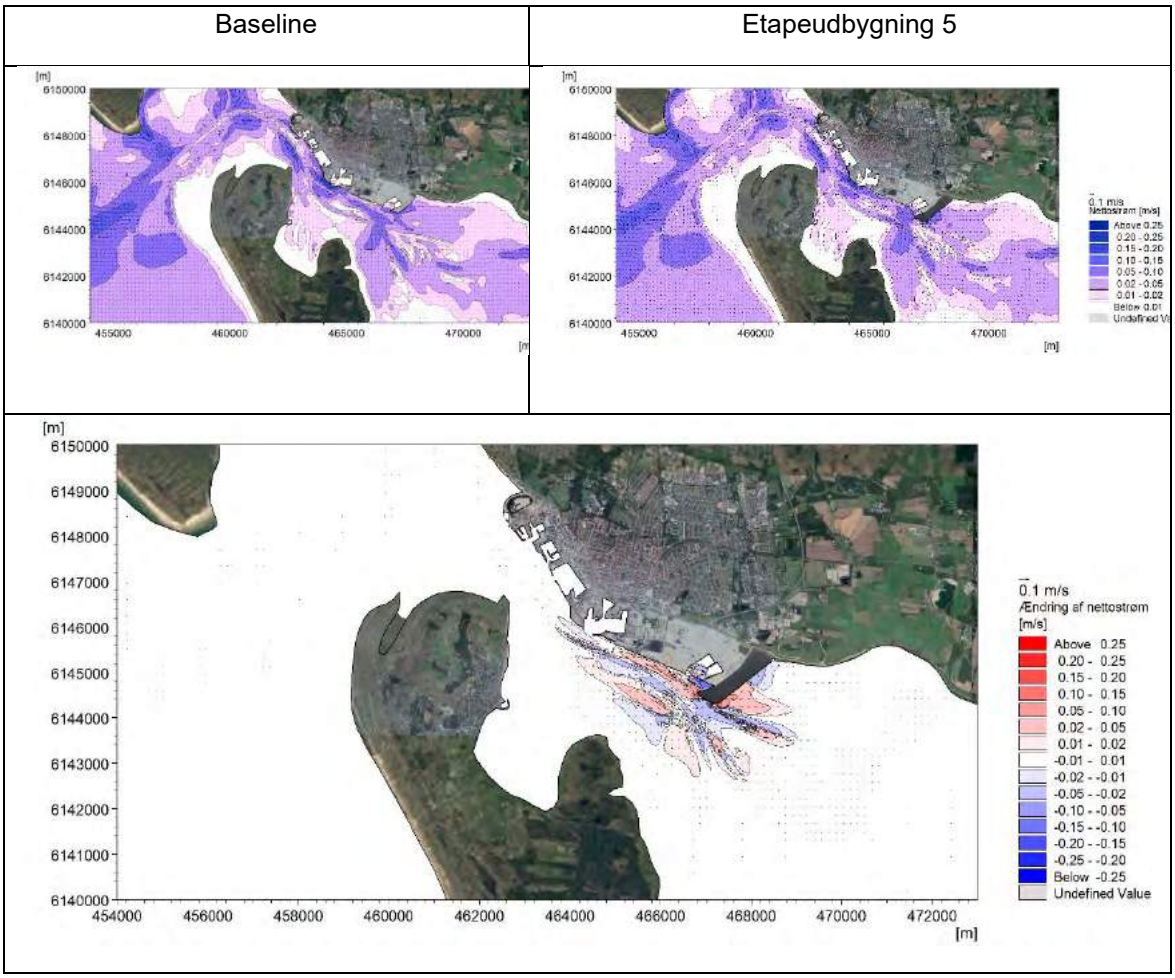


Figur 9-20 Relativ varighed af vanddække for vinterperioden samt ændring heraf.



Figur 9-21 Bruttostrøm (middel) for vinterperioden samt ændring heraf.

Nettostrømmen er middelstrømmen, regnet med fortegn og retning (vektorielt). Med andre ord bliver den beregnet med udgangspunkt i de to strømhastighedskomposanter u og v. Nettostrømmen er for tidevandspåvirkede områder langt svagere end bruttostrømmen, men den er til gengæld karakteriseret ved en retning og nettodrift, som fortæller noget om nettocirkulationen i systemet. I Figur 9-22 er middel af nettostrømning for vinterperioden vist for henholdsvis baseline og Etape 5 udbygningen. Desuden er ændringen beregnet vektorielt i forhold til baseline vist. Det ses, at der foran mundingen til Trafikhavnen er en sydgående nettostrømning, mens den ved Sønderhavn er nordgående. Ved Østhavns munding er nettostrømmen igen sydgående. Tendenserne foran bassinmundingerne er ens både for baseline og Etape 5 udbygningen. Ændringerne i nettostrømmen optræder kun i nærområdet af udbygningen og relaterer primært til en drejning af strømfeltet i forbindelse med at det løber udenom den udkragede del af opfyldningen.

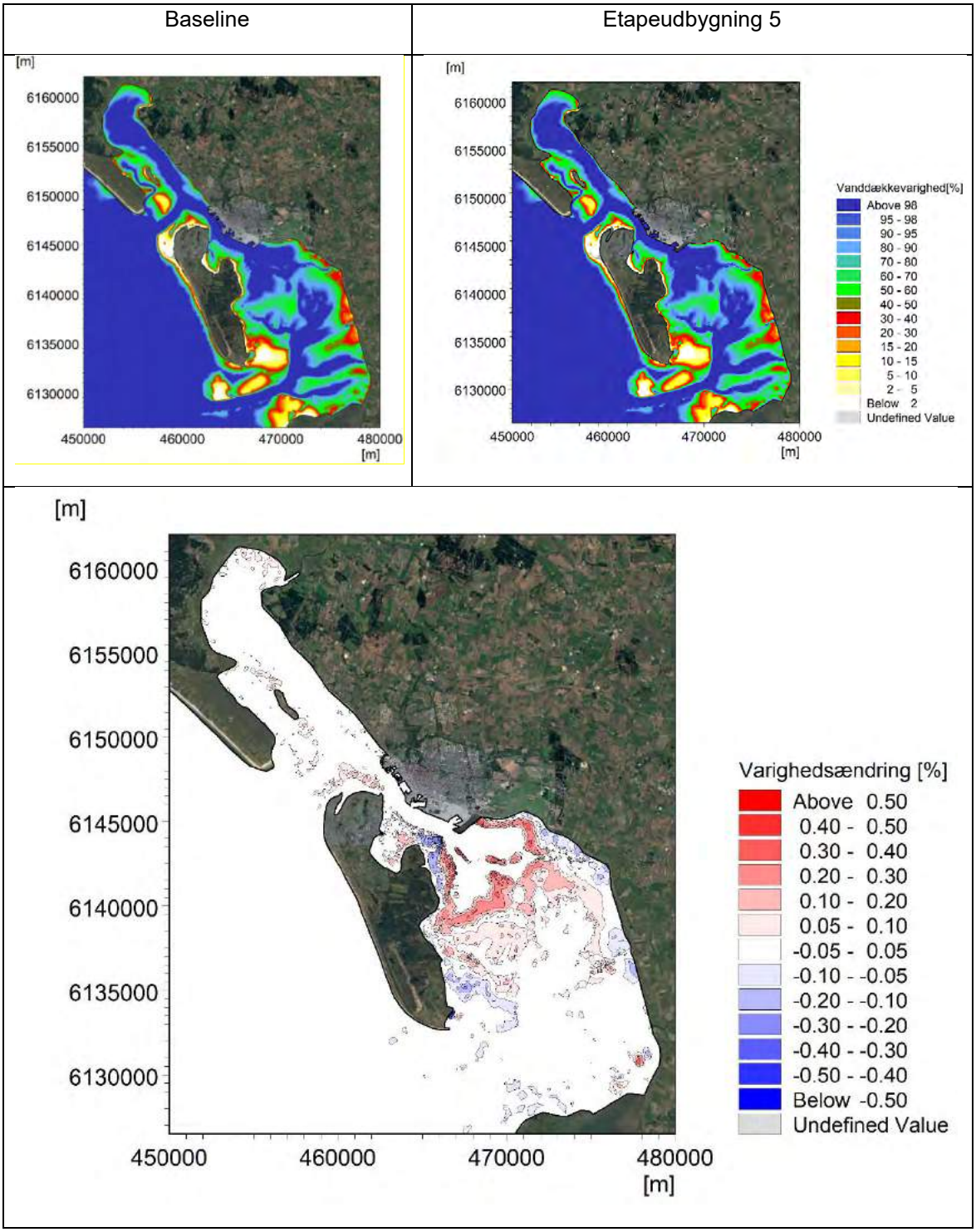


Figur 9-22 Nettostrøm (middel) for vinterperioden samt ændring heraf.

Sommerperiode

For den modellerede sommerperiode er der udført en analyse helt analog til den for vinterperioden udførte. I sommerperioden finder man lidt større ændringer i vanddække-varigheden, set i forhold til vinterperioden, hvor tidevandet er overlejret af større niveauspring skabt af vindstuvninger og vindsænkninger i Nordsøen.

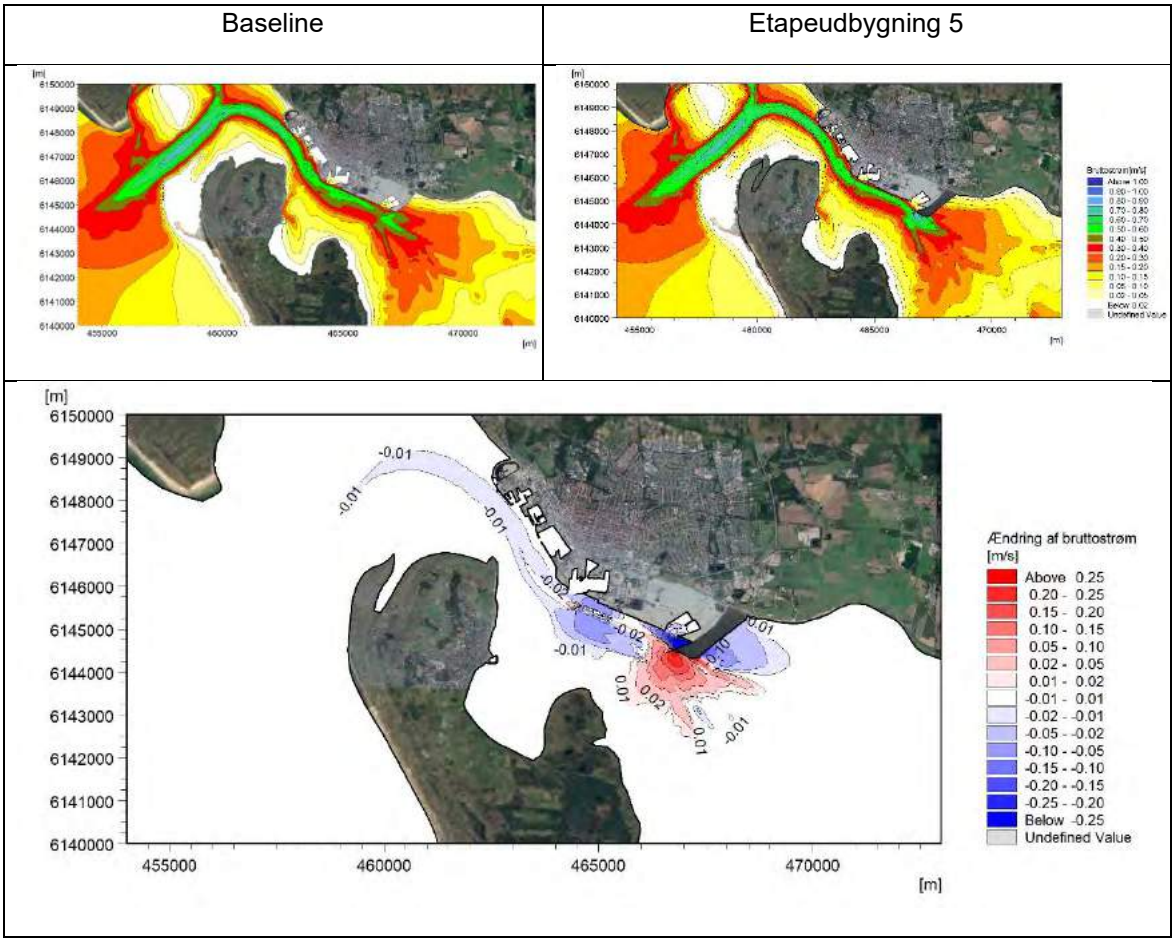
Det ses af Figur 9-23, at den reducerede tidevandsudveksling (bruttovandføring) gennem Grådyb medfører, at tidevandet bliver hængende lidt længere på vaderne i den nordlige del af Grådyb tidevandsområde. På årsbasis svarer ændringen typisk til mellem 0,03-0,1% (2-9 timer per år). I løbet af et kalenderår optræder der cirka 700 tidevandscykler. Påvirkningen vil derfor blive, at varigheden med vanddække forøges med mindre end et minut per tidevandscyklus. I området omkring tidevandskellet forøges vanddækkevarigheden mere signifikant. Størst påvirkning er der i den del som er tilknyttet Grådyb tidevandsområde. Her finder man ændringer på op mod 0,35% (31 timer per år). Den øgede varighed med vanddække betyder potentielt en svag forøget aflejringstendens i området omkring tidevandsskellet, idet perioden hvori sediment kan udfældes fra vandsøjlen vil blive svagt forøget. På den højest beliggende del af vaderne, beliggende ind mod land, er der en tendens til en svag reduktion af varigheden med vanddække. Ændringen er typisk med 0,05-0,15% (4-13 timer per år).



Figur 9-23 Relativ varighed af vanddække for sommerperioden samt ændring heraf.

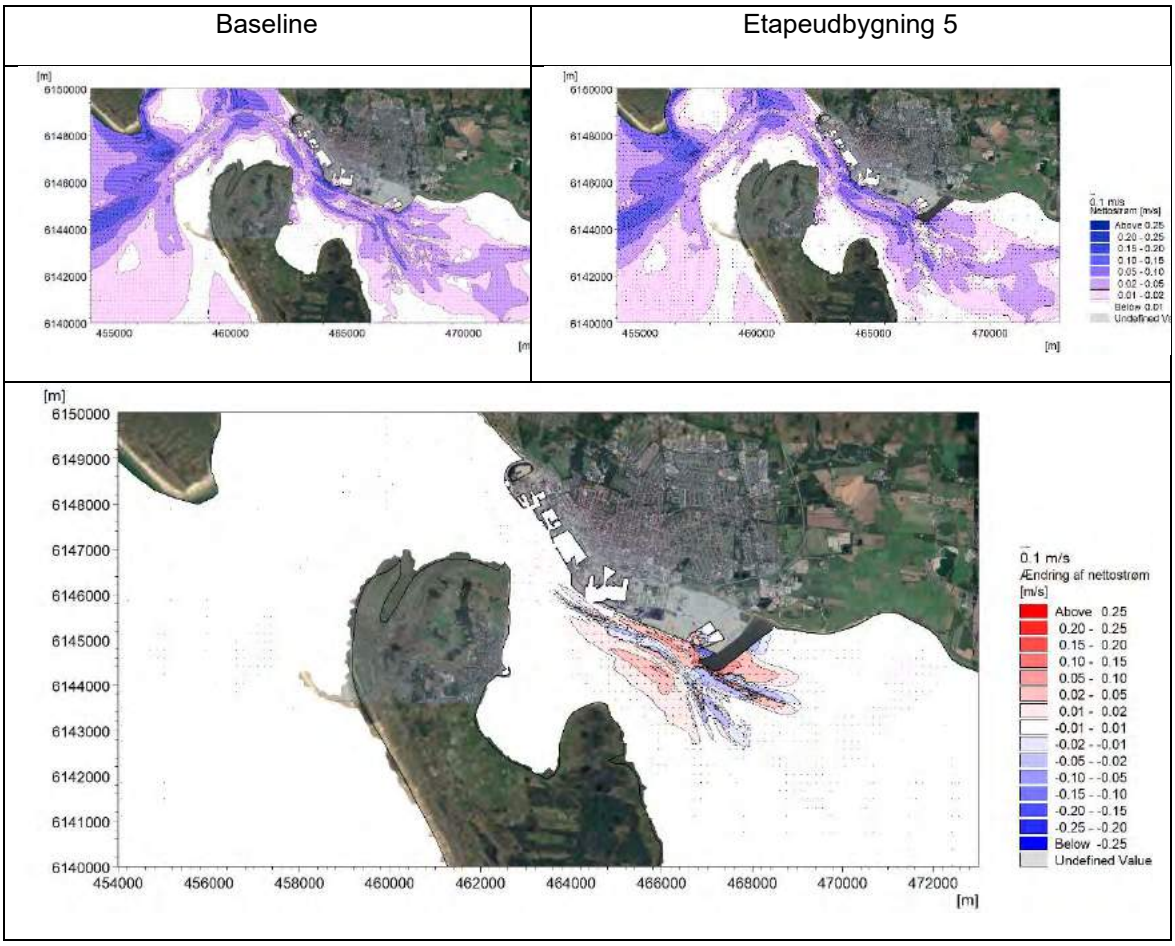
Påvirkningen af bruttostrømmen i sommerperioden er stort set identisk med det som blev fundet for vinterperioden. Figur 9-24 viser den midlede bruttostrøm i sommerperioden for henholdsvis baseline og Etape 5 udbygningen, samt ændringen af denne. Det ses, at bruttostrømmen svækkes i den inderste del af Grådyb, som følge af udbygningen. Denne påvirkning relaterer til det reducerede tidevandsprisme. Den øvrige påvirkning er mere lokal og relaterer til et øget strømningstværsnit mellem Fanø og Esbjerg på strækningen med uddybning. I dette område er der en svækkelse af bruttostrømmen. I området ud for Etape 5 opfyldningen er strømningstværsnittet indsnævret og der finder derfor en forstærkning af bruttostrømmen sted.

De røde farver i plottet angiver en forstærkning, blå en svækkelse og hvid ingen effekt af betydning. Syd for opfyldningen er der en omfordeling af bruttostrømmen. I sejlrendens forlængelse (løbet) forstærkes bruttostrømmen, mens den svækkes i læ-zonen bag Etape 5 opfyldningen. Influensområdet er primært tilknyttet løbene og kun i meget begrænset omfang vaderne. Hvordan området mellem opfyldningen og Fanø påvirkes morfologisk, afhænger af bundsedimentets sammensætning og modstandsdygtighed over for de forøgede erosive kræfter. Bruttostrømmens forstærkning er som i vinterperioden aftagende i retning fra opfyldningen ind mod Fanø. Påvirkninger af vaden er derfor lille og begrænset til den yderst del.



Figur 9-24 Bruttostrøm (middel) for sommerperioden samt ændring heraf.

Nettostrømmen er middelstrømmen, regnet med fortegn og retning (vektorielt). Med andre ord bliver den beregnet med udgangspunkt i de to strømhastighedskomposanter u og v. Nettostrømmen er for tidevandspåvirkede områder langt svagere end bruttostrømmen, men den er til gengæld karakteriseret ved en retning og nettodrift, som fortæller noget om nettocirkulationen i systemet. I Figur 9-24 er middel af nettostrømning for sommerperioden vist for henholdsvis baseline og Etape 5 udbygningen. Desuden er ændringen beregnet vektorielt i forhold til baseline vist. Ændringerne i nettostrømmen optræder kun i nærområdet af udbygningen og relaterer primært til en drejning af strømfeltet i forbindelse med at det løber udenom den udkragede del af opfyldningen. I sommerperioden er ændringsmønstret lidt mere regulært, set i forhold til vinterperioden. Årsagen til dette er at vandstandsniveauet i sommerperioden ikke er påvirket af betydende vindstuvninger eller vindsænkninger.



Figur 9-25 Nettostrøm (middel) for sommerperioden samt ændring heraf.

9.4 Påvirkning af saltholdighed

Saltholdigheden i Grådyb og Knudedyb tidevandsområde varierer betragteligt i tid og sted som følge af en permanent ferskvandtilførsel fra de forskellige kilder indikeret i Figur 4-1 i kombination med tidevandets flod og ebbe cyklus, som sikrer en dynamisk udveksling via Grådyb og Knudedyb. Ydermere er en del af afstrømningen reguleret via sluseporte, som kun åbner når vandtrykket er højere på indersiden (landsiden) end på ydersiden. Afstrømningen varierer derfor over en tidevandscyklus, men er i modellen repræsenteret ved en døgnværdi og konstant udledningsrate.

Etape 5 udbygningen (opfyldningen) mindsker Grådybs tidevandsvolumen i forhold til baseline. Der er derfor behov for at belyse, hvordan etapeudbygningen vil påvirke saltholdigheden i hele Grådyb og Knudedyb tidevandsområde. Til vurdering og belysning af dette er den permanente påvirkning (langtidspåvirkningen) beregnet i form af ændringer i saltholdighed angivet som 3 måneders middel i henholdsvis vinter- og sommerperioden. Desuden er der beregnet en lokal korttidspåvirkning på baggrund af tidsserier udtrukket i den mest påvirkede del af tidevandsområderne. Vurderingen er lavet med udgangspunkt i en dybdemidlet model og vil derfor ikke beskrive den dynamiske udveksling af salt i havnebassinerne korrekt. Ligeledes vil der være en vertikal udveksling foran sluseportene, som heller ikke kan beskrives. I den øvrige del af tidevandsområdet vurderes det at en dybdemidlet modelbeskrivelse er tilstrækkelig til at vurdere udbygningens påvirkning af Grådyb og Knudedyb tidevandsområde.

9.4.1 Langtidseffekter vinterperiode

I vinterhalvåret er der en større tilførsel af ferskvand til tidevandsområdet end i sommerhalvåret, og saltholdigheden er derfor generelt lavere end i sommerhalvåret.

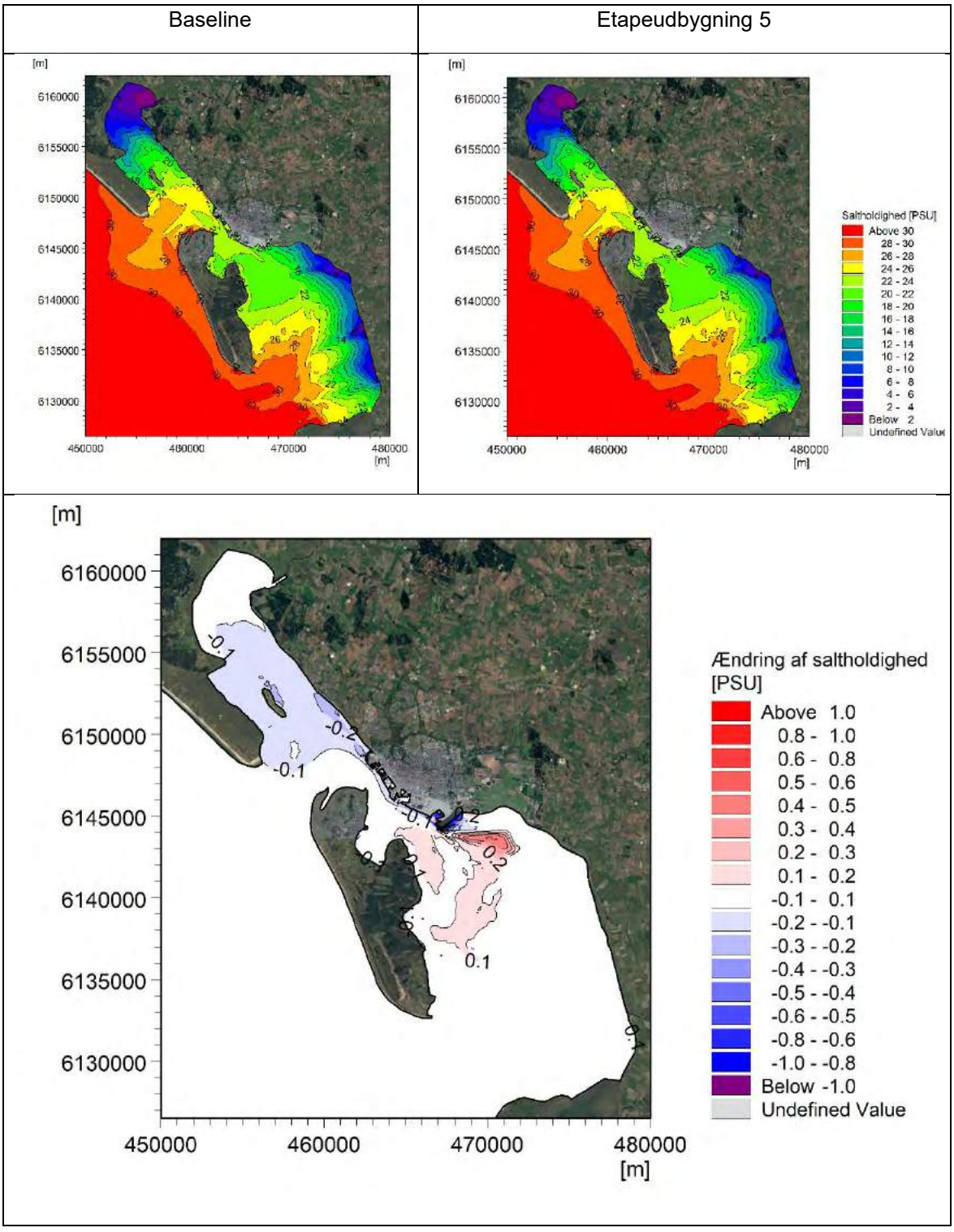
Det initiale felt for saltholdigheden er fundet gennem en cyklisk gennemregning af modelperiode og afspejler dermed et godt gæt på de faktiske saltholdighedsforhold i vinterhalvåret. Saltholdighedens fordeling i Grådyb og Knudedyb tidevandsområde er derfor indtrådt i en kvasi-stationær ligevægt ved analyseperiodens begyndelse (18. december 2017). Modellen er afviklet for baseline og Etape 5 udbygningen. Der er anvendt samme initialfelt for saltholdigheden i de to beregninger. Ligeledes er afstrømningen fra de kendte ferskvandskilder inkluderet i begge modeller. Forceringen af modellen er også identisk, det vil sige at der anvendes samme vandstandsvariation langs modellens ydre åbne rande og samme vindfelt. De eneste forskelle er knyttet til ændringen af geometrien og batymetrien i udbygningsområdet. Fundne ændringer i saltholdigheden relaterer derfor alene til etapeudbygningens påvirkning. Som randbetingelse langs modellens åbne rande er der antaget en saltholdighed på 32 PSU for det indstrømmende havvand. For ferskvandskilderne er det antaget at afstrømningen er fersk med en saltholdighed på 0 PSU.

3 måneders middel af saltholdigheden i vinterperioden er beregnet for baseline og Etape 5 udbygningen og illustreret ved hjælp af konturplot vist i Figur 9-26. Ligeledes er ændringerne i forhold til baseline vist. Det ses, at saltholdigheden i middel er meget lav omkring udløbene af Varde Å, Sneum Å, Konge Å og Ribe Å, mens den udenfor vadehavet overstiger 30 PSU. Anlæggets påvirkning af saltholdigheden er angivet som 3 måneders middelændring. Det ses, at der er en klar trend for påvirkningen. Saltholdigheden forøges generelt i området syd for Esbjerg med 0,1-0,2 PSU, mens den falder 0,1-0,2 i området nord for. I det kystnære område sydøst for Østhavn er der ligeledes en tendens til en lidt kraftigere reduktion af saltholdigheden, mens den stiger lige syd for. Årsagen til dette er en ændret tidevandscirkulation, som ved flod skubber saltholdigt vand lidt dybere ind i tidevandsområdet og ved ebbe trækker det mere ferske vand langs med opfyldningens sydlige kant. Ændringerne i saltholdighed er små i forhold til de absolutte niveauer og deres variation i løbet af en tidevandscyklus.

3 måneders dagsmiddel, samt mindste og største afstrømning i vinterperioden i området nord og syd for etapeudbygningen er angivet i Tabel 9-7. Det ses, at ferskvandstilførslen er størst i den sydlige del, men at saltholdigheden er lavest i den nordlige del (Ho Bugt), idet dette område kun udveksler med Grådyb, mens det sydlige område udveksler med både Knudedyb og Grådyb.

Tabel 9-7 Tre måneders dagsmiddel samt mindste og største dagsmiddel af samlet afstrømning [m^3/s] fra ferskvandskilder i vinterperioden i tidevandsområdet nord og syd for etapeudbygningen.

Område	Middel [m^3/s]	Mindste afstrømning[m^3/s]	Største afstrømning[m^3/s]
Nord for opfyldning	27,10	17,26	51,04
Syd for opfyldning	48,48	25,98	95,04



Figur 9-26 Middel saltholdighed over vinterperioden samt ændring heraf.

9.4.2 Langtidseffekter sommerperiode

I sommerhalvåret er nettonedbøren lille og der tilføres derfor mindre mængder af ferskvand til tidevandsområdet end i vinterhalvåret. Saltholdigheden er derfor generelt højere end i vinterhalvåret.

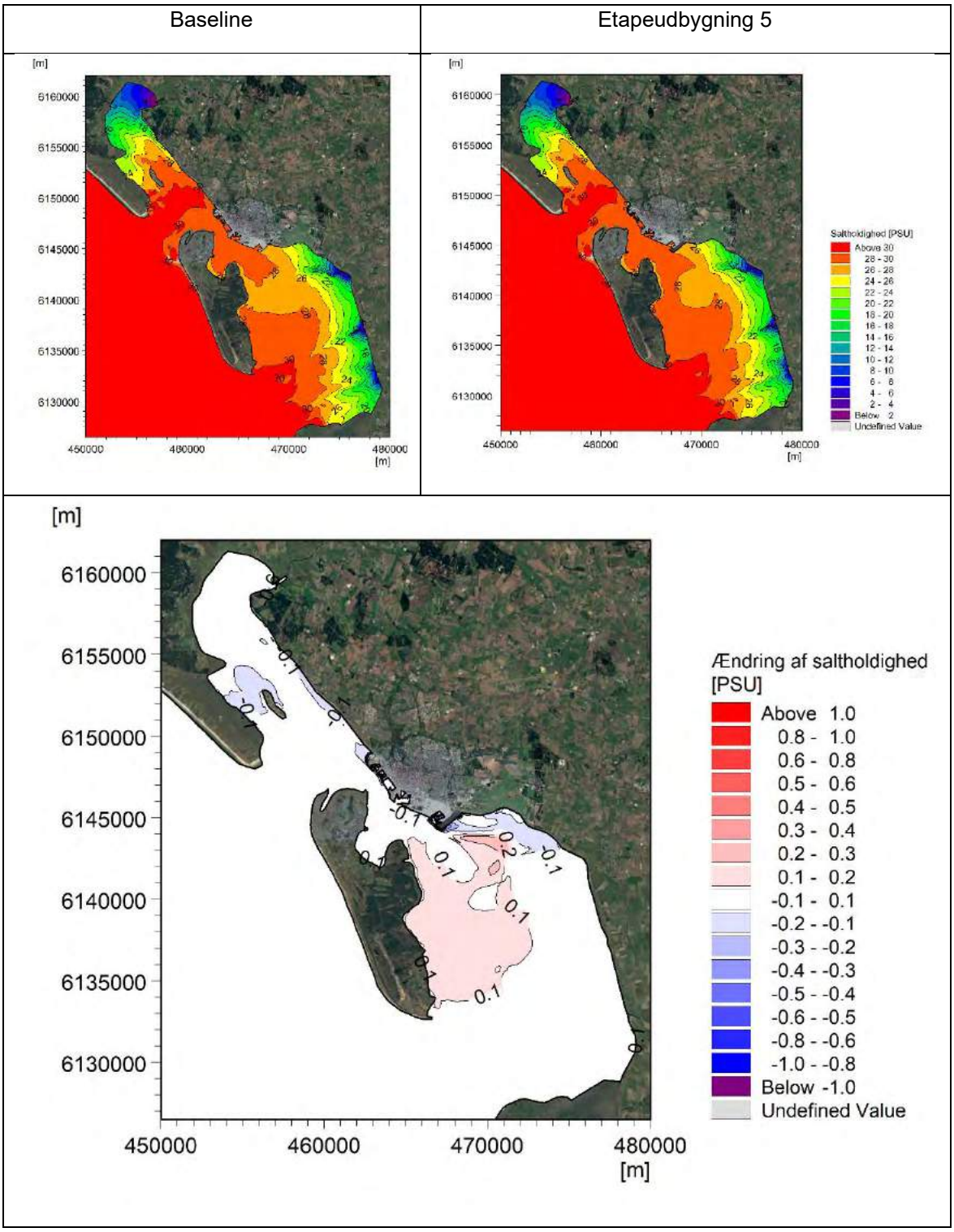
Det initiale felt for saltholdigheden er fundet gennem en modelkalibrering mod målinger og cyklisk gennemregning af modelperiode og afspejler dermed et godt gæt på de faktiske saltholdighedsforhold i sommerhalvåret. Saltholdighedens fordeling i Grådyb og Knudedyb tidevandsområde er derfor indtrådt i en kvasi-stationær ligevægt ved analyseperiodens begyndelse (15. juni 2018).

3 måneders middel af saltholdigheden i sommerperioden er beregnet for baseline og Etape 5 udbygningen og illustreret ved hjælp af konturplot vist i Figur 9-27. Ligeledes er ændringerne i forhold til baseline vist. Det ses, at saltholdigheden i middel er højere end i vinterperioden og kun meget lav omkring udløbene af Varde Å, Sneum Å, Konge Å og Ribe Å, mens den udenfor vadehavet overstiger 30 PSU. Anlæggets påvirkning af saltholdigheden er angivet som 3 måneders middelændring. Det ses, at der er en noget svagere påvirkning end i vinterperioden. Saltholdigheden forøges generelt i området syd for Esbjerg med omring 0,1 PSU, mens den falder 0,1 PSU i området nord for. I det kystnære område sydøst for Østhavn er der ligeledes en tendens til en lidt kraftigere reduktion af saltholdigheden, mens den stiger lige syd for. Årsagen til dette er en ændret tidevandscirkulation, som ved flod skubber saltholdigt vand lidt dybere ind i tidevandsområdet og ved ebbe trækker det mere ferske vand langs med opfyldningens sydlige kant. Ændringerne i saltholdighed er små i forhold til de absolutte niveauer og deres variation i løbet af en tidevandscyklus.

3 måneders dagsmiddel, samt mindste og største afstrømning i vinterperioden i området nord og syd for etapeudbygningen er angivet i Tabel 9-8. Det ses, at ferskvandstilførslen er lidt større i den sydlige del, men at saltholdigheden er lavest i den nordlige del (Ho Bugt), idet dette område kun udveksler med Grådyb, mens det sydlige område udveksler med både Knudedyb og Grådyb.

Tabel 9-8 3 måneders dagsmiddel samt mindste og største dagsmiddel af samlet afstrømning [m^3/s] fra ferskvandskilder i sommerperioden i tidevandsområdet nord og syd for etape-udbygningen.

Område	Middel [m^3/s]	Mindste afstrømning[m^3/s]	Største afstrømning[m^3/s]
Nord for opfyldning	9,27	7,65	16,04
Syd for opfyldning	13,27	9,11	28,79



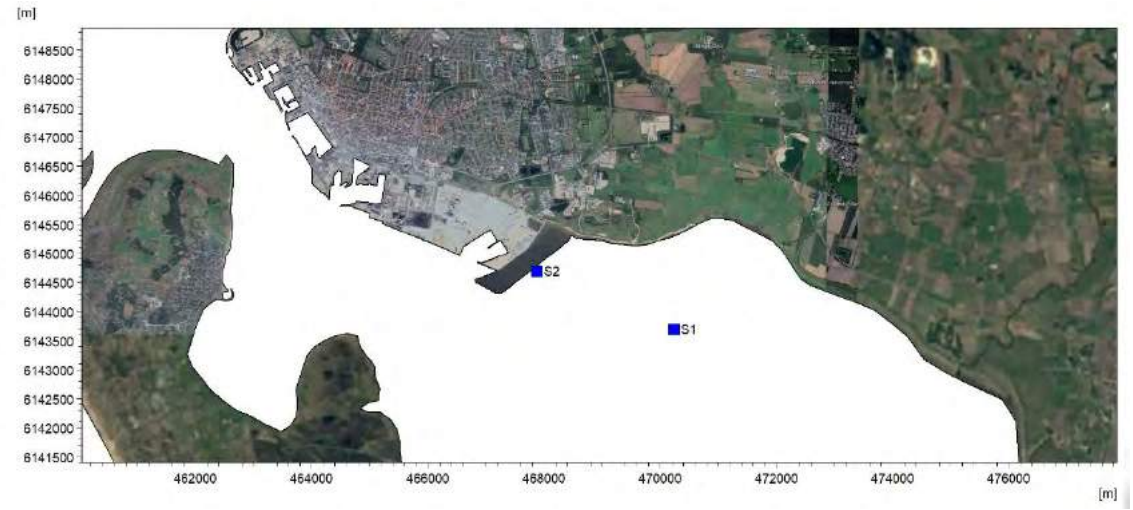
Figur 9-27 Middel saltholdighed over sommerperioden samt ændring heraf.

9.4.3 Kortidseffekter

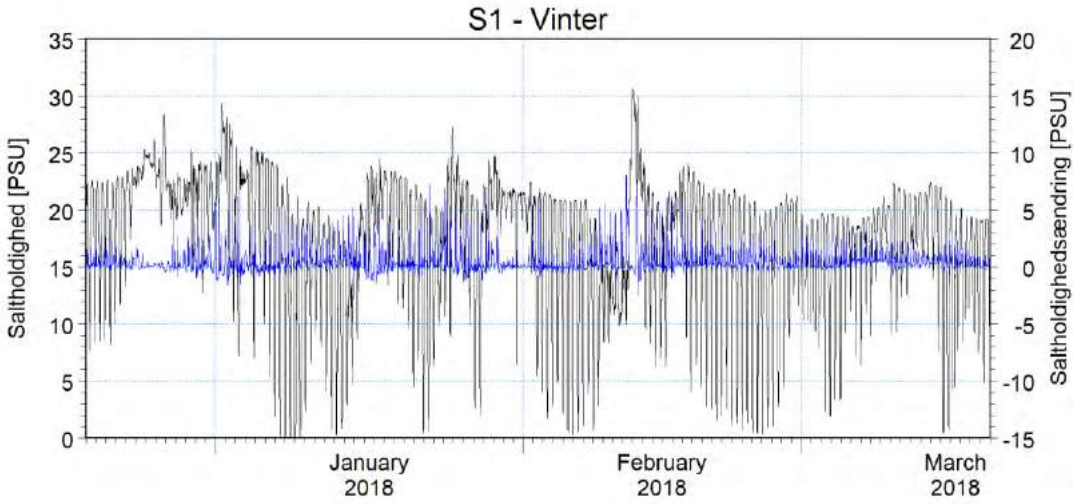
Ovenstående analyse fokuserede på langtidseffekter og ændringer i middel over en længere tidsskala. I dette afsnit, ses der på korttidseffekter ved hjælp af tidsserier for saltholdigheden i to

udvalgte punkter, hvor der er konstateret en langtidspåvirkning. Udtrækspunkterne er vist i Figur 9-28. Figur 9-29 - Figur 9-32 viser den tidslige variation af saltholdigheden i punkterne S1 og S2 i henholdsvis vinter- og sommerperioden. Punkterne er placeret i områder, hvor der er konstateret den største langtidspåvirkning. I S1 relaterer ændringerne til en forøget saltholdighed, mens de i S2 relaterer til en reduceret saltholdighed. I de fire figurer er ændringen af saltholdighed, som følge af etapeudbygningen vist med blå kurve. Negative ændringer angiver en fremtidig reduktion i saltholdighed og vice versa. Enkelte af de viste "spikes" i S2 vinterperioden, skyldes at punktet er udtørret i baseline modellen og vanddækket i etapeudbygningen.

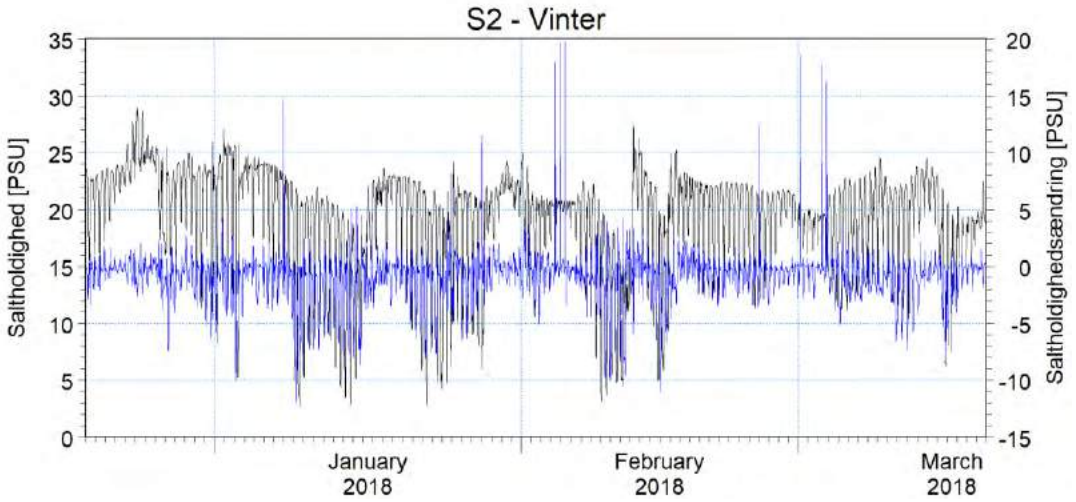
Tabel 9-9 og Tabel 9-10 angiver en række statistiske parametre for de to beregningsperioder i form af middel, spredningen, højeste og laveste forekomst af saltholdighed, samt ændringerne heraf. Alle de statistiske værdier angivet i sidste søjle er beregnet for tidsserien af ændringen. Maksimumændringer og minimumændringerne angiver de største momentane stigning/reduktion i stationen. Det ses, at der er stor variation i saltholdigheden i begge positioner, både for nuværende og fremtidige forhold. Området er derfor vant til at være påvirket af store udsving. Ændringerne vil derfor være uden betydning i praksis. Maksimum- og minimumændringerne angiver den største sammentidligt forekommende forskel. Da udbygningen skaber en mindre faseændring, som følge af den opstuvende effekt, er værdierne relativt høje, men uden at være udtryk for en egentlig ændring af saltforholdene.



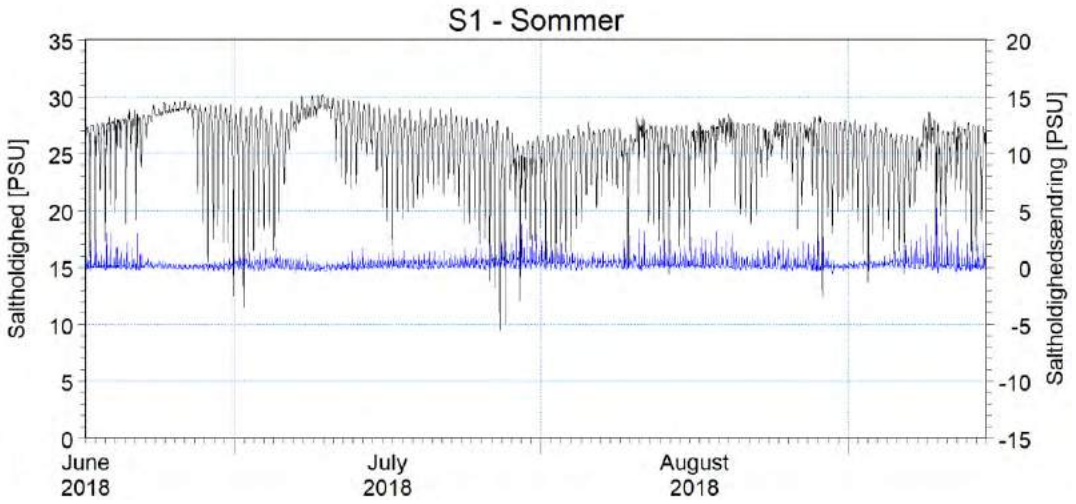
Figur 9-28 Punkterne S1 og S2 for udtræk af tidsserier af salinitet.



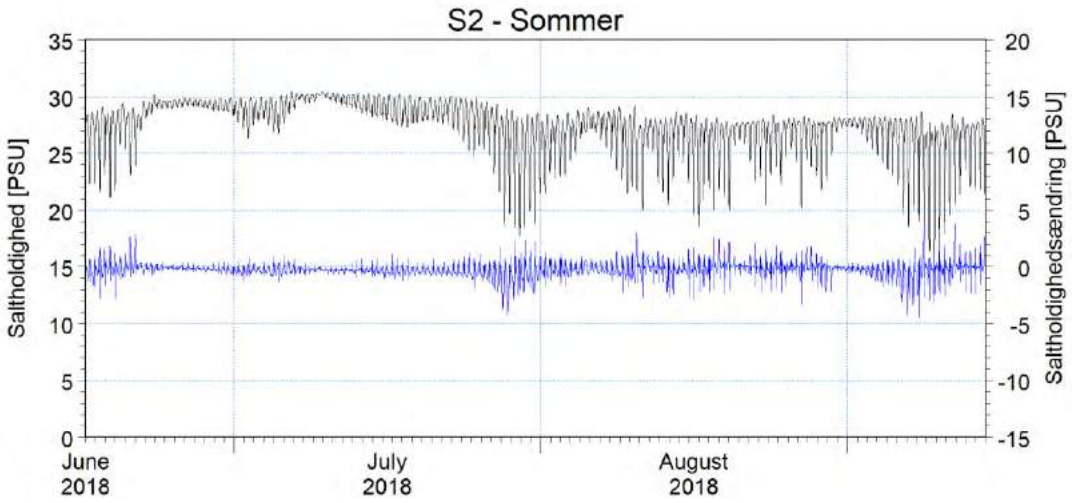
Figur 9-29 Saltholdighed i punktet S1 med baseline forhold (sort kurve) og etape 5 udbygningens ændring af saltholdighed i forhold til baseline (blå kurve), vinterperiode.



Figur 9-30 Saltholdighed i punktet S2 med baseline forhold (sort kurve) og etape 5 udbygningens ændring af saltholdighed i forhold til baseline (blå kurve), vinterperiode.



Figur 9-31 Saltholdighed i punktet S1 med baseline forhold (sort kurve) og etape 5 udbygningens ændring af saltholdighed i forhold til baseline (blå kurve), sommerperiode.



Figur 9-32 Saltholdighed i punktet S2 med baseline forhold (sort kurve) og etape 5 udbygningens ændring af saltholdighed i forhold til baseline (blå kurve), sommerperiode.

Tabel 9-9 Saltholdighed i S1 og S2 angivet i PSU for baseline, etapeudbygning 5 og ændringen (etapeudbygning 5 – baseline) udtrykt ved statiske mål.
De statistiske mål er beregnet selvstændigt for saltholdighed og ændring, vinterperiode.

Parameter	Punkt	Baseline	Etapeudbygning 5	Ændring
Middelværdi	S1	17.68	18.18	0.49
Spredning	S1	5.58	5.59	0.98
Maksimum	S1	30.57	31.00	8.09
Minimum	S1	0.01	0.01	-2.47
Middelværdi	S2	19.46	18.62	-0.78
Spredning	S2	4.34	4.62	2.04
Maksimum	S2	28.91	26.63	19.78
Minimum	S2	2.72	2.49	-12.02

Tabel 9-10 Saltholdighed i S1 og S2 angivet i PSU for baseline, etapeudbygning 5 og ændringen (etapeudbygning 5 – baseline) udtrykt ved statiske mål.
De statistiske mål er beregnet selvstændigt for saltholdighed og ændring, sommerperiode.

Parameter	Punkt	Baseline	Etapeudbygning 5	Ændring
Middelværdi	S1	25.99	26.26	0.28
Spredning	S1	2.76	2.78	0.44
Maksimum	S1	30.19	30.14	5.19
Minimum	S1	9.48	9.75	-0.55
Middelværdi	S2	27.52	27.34	-0.18
Spredning	S2	2.21	2.03	0.71
Maksimum	S2	30.46	30.26	3.83
Minimum	S2	15.27	16.69	-4.51

9.5 Påvirkning af bølgeforhold

Bølgernes påvirkning i Grådyb og Knudedyb tidevandsområde er relativt beskeden i forhold til de tidevandsgenererede strømme, da området ligger i læ af Skallingen og Fanø. Desuden er en stor del af området lavvandet og de frie stræk beskedne, hvilket sætter en kraftig begrænsning på opvæksten og højden af de vindgenererede bølger. De små bølger har dog en betydende effekt på de lavvandede dele af tidevandsfladerne, hvor de kan medvirke til opslæmning af bundsedimentet eller medvirke til at opretholde sedimentet i suspension. Det er derfor nødvendigt at medtage effekten af bølger, når der ses på erosion, aflejring og transport af finkornet sediment i tidevandsområdet.

9.6 Generel påvirkning af bølgeklimaet

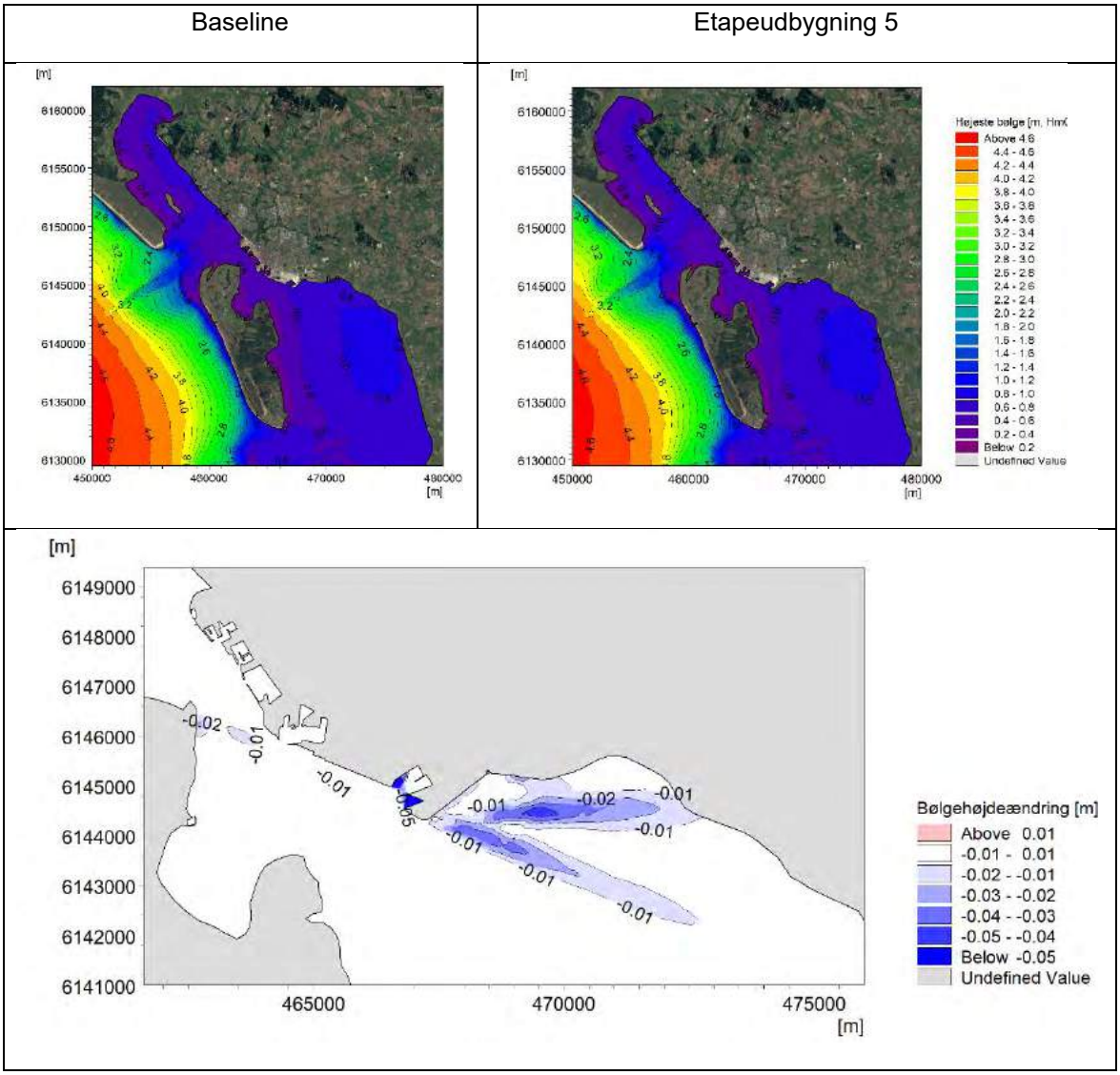
Grådyb og Knudedyb tidevandsområder ligger så afskærmet og beskyttet, at bølgehøjderne i Nordsøen kun er af betydning ved de to mundinger. Inde i tidevandsområdet er det udelukkende vindens styrke, retning og vanddybderne som er bestemmende for bølgehøjden. Ved havnen kan typen af kajkonstruktion også have en betydning, idet denne vil kunne virke reflekterende eller absorberende. De modellerede bølgehøjder er derfor fundet med udgangspunkt i en kvasi-stationær antagelse, idet tidsskalaen for at opnå en fuldt udviklet sø-tilstand er kort på grund af områdets beskedne udstrækning. På havsiden er der anvendt målte bølgehøjder fra indsejlingen til Grådyb som randbetingelse. Denne er dog som nævnt uden betydning for de opnåede bølgehøjder inde i tidevandsområdet. Bølgemodelleringen er udført med en standardopsætning, hvor det antages at alle afgrænsninger til land virker fuldt absorberende. Strækninger med lodrette spunsvægge vil reelt virke reflekterende, men dette er der set bort fra i den generelle denne analyse.

Der er modelleret vindgenererede bølger for både vinter- og sommerperioden. I vinterperioden varierer den målte vind ved Esbjerg mellem 0-19 m/s, mens den i sommerperioden varierer mellem 0-16 m/s. Vindens variation i de to modelperioder er beskrevet i afsnit 7.6.3 (sommer) og afsnit 7.6.4 (vinter).

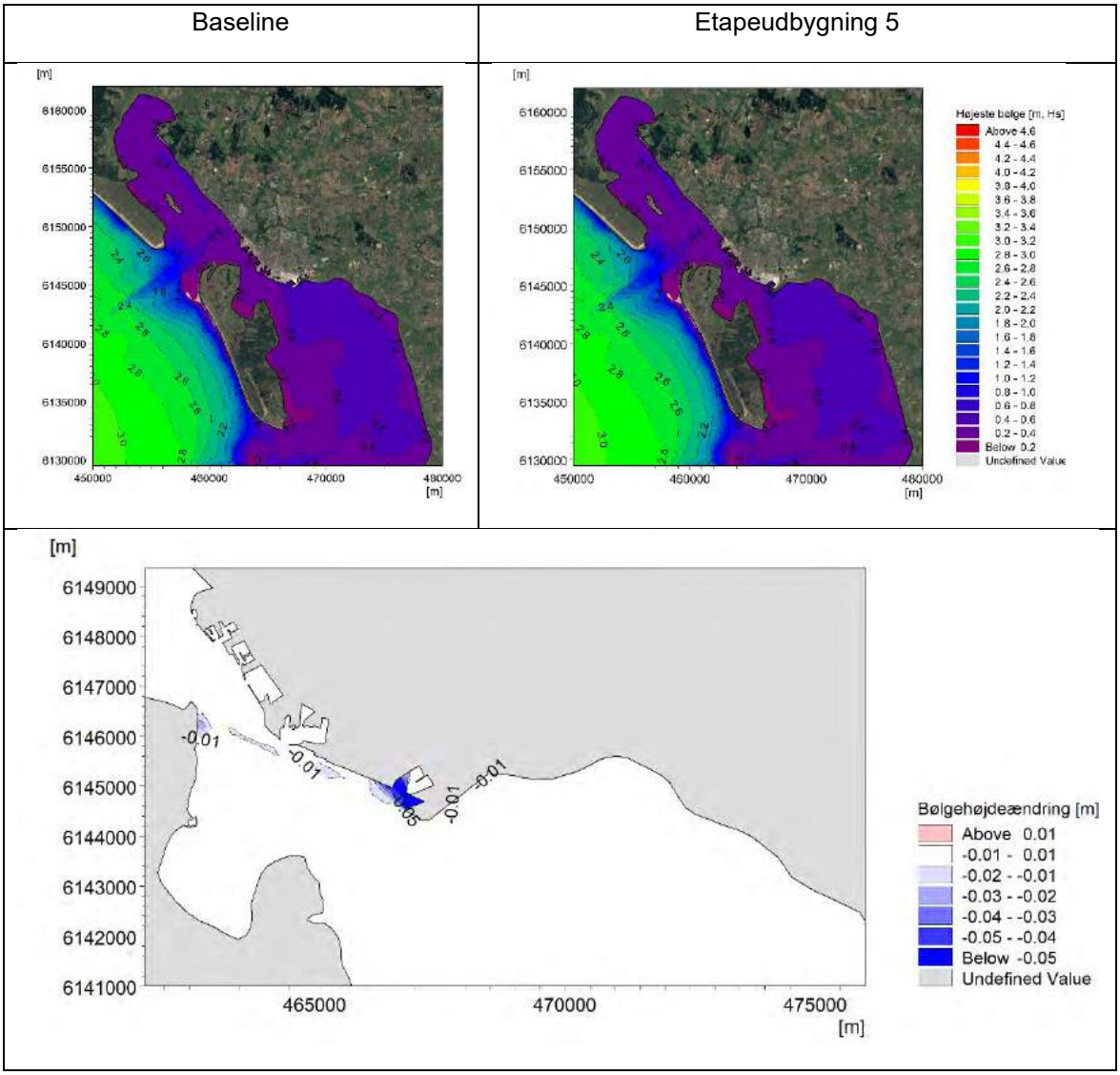
De udførte bølgesimuleringer er primært lavet til brug for beskrivelsen af erosion, aflejring og transport af det finkornede sediment i tidevandsområdet for baseline og Etape 5 udbygningen. Da det med udgangspunkt i de modellerede bølger er muligt at identificere og kvantificere etapeudbygningens effekt på bølgeforholdene, er det her valgt at lave en række supplerende analyser.

De beregnede højeste bølger (Hm0) er vist i Figur 9-33 for vinterperioden og Figur 9-34 for sommerperioden. Figurerne viser højeste bølgehøjde for baseline of etapeudbygning 5 samt ændringen af bølgehøjden.

De største ændringer ses at forekomme i vinterperioden i det afskærmede område sydøst for udbygningen hvor bølgehøjden reduceres op til 5 cm – hvis man ser bort fra selve Østhavn.



Figur 9-33 Største forekommende bølgehøjde (H_{m0}) i vinterperioden samt ændring heraf.

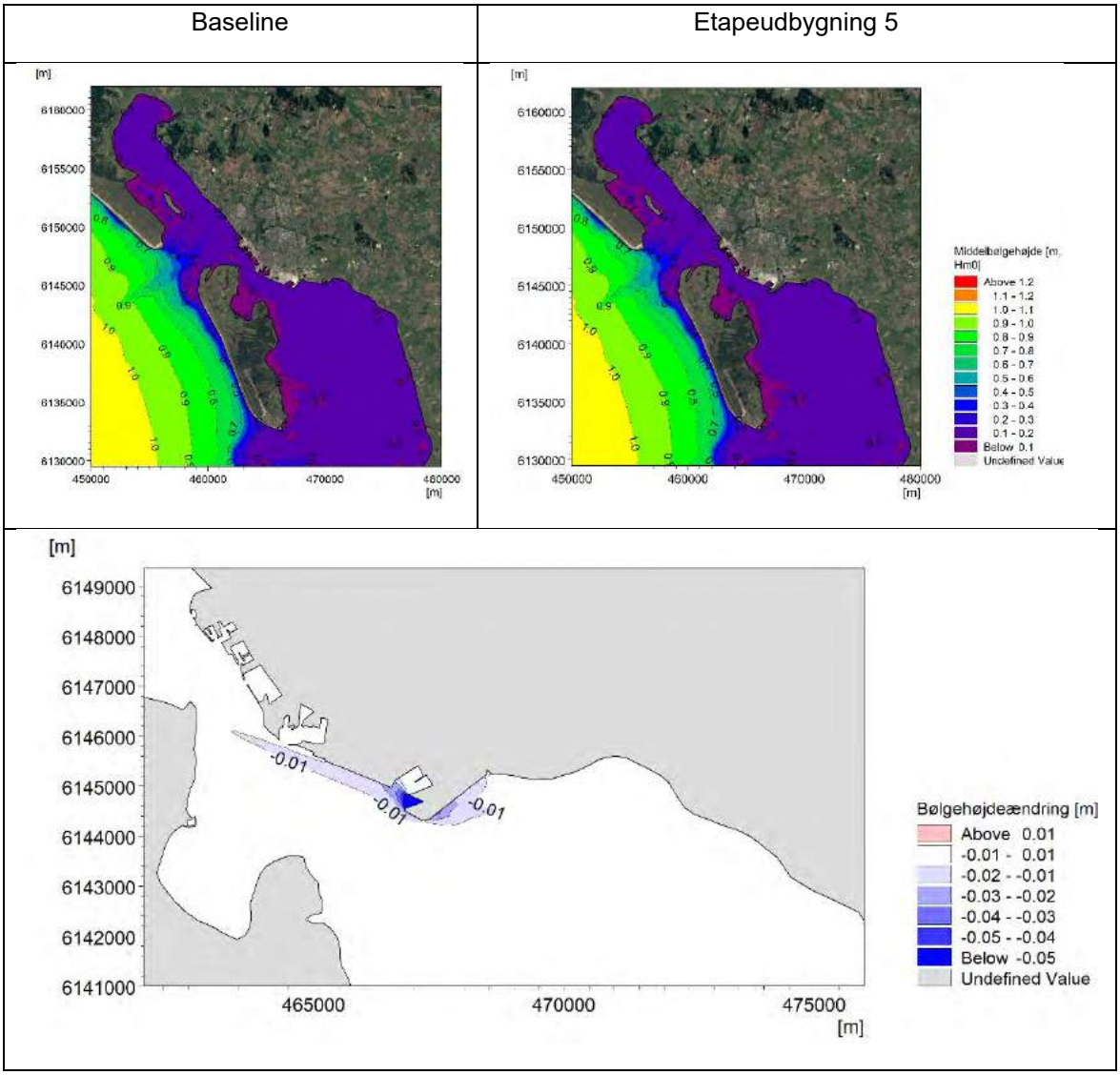


Figur 9-34 Største forekommende bølgehøjde (H_{m0}) i sommerperioden samt ændring heraf.

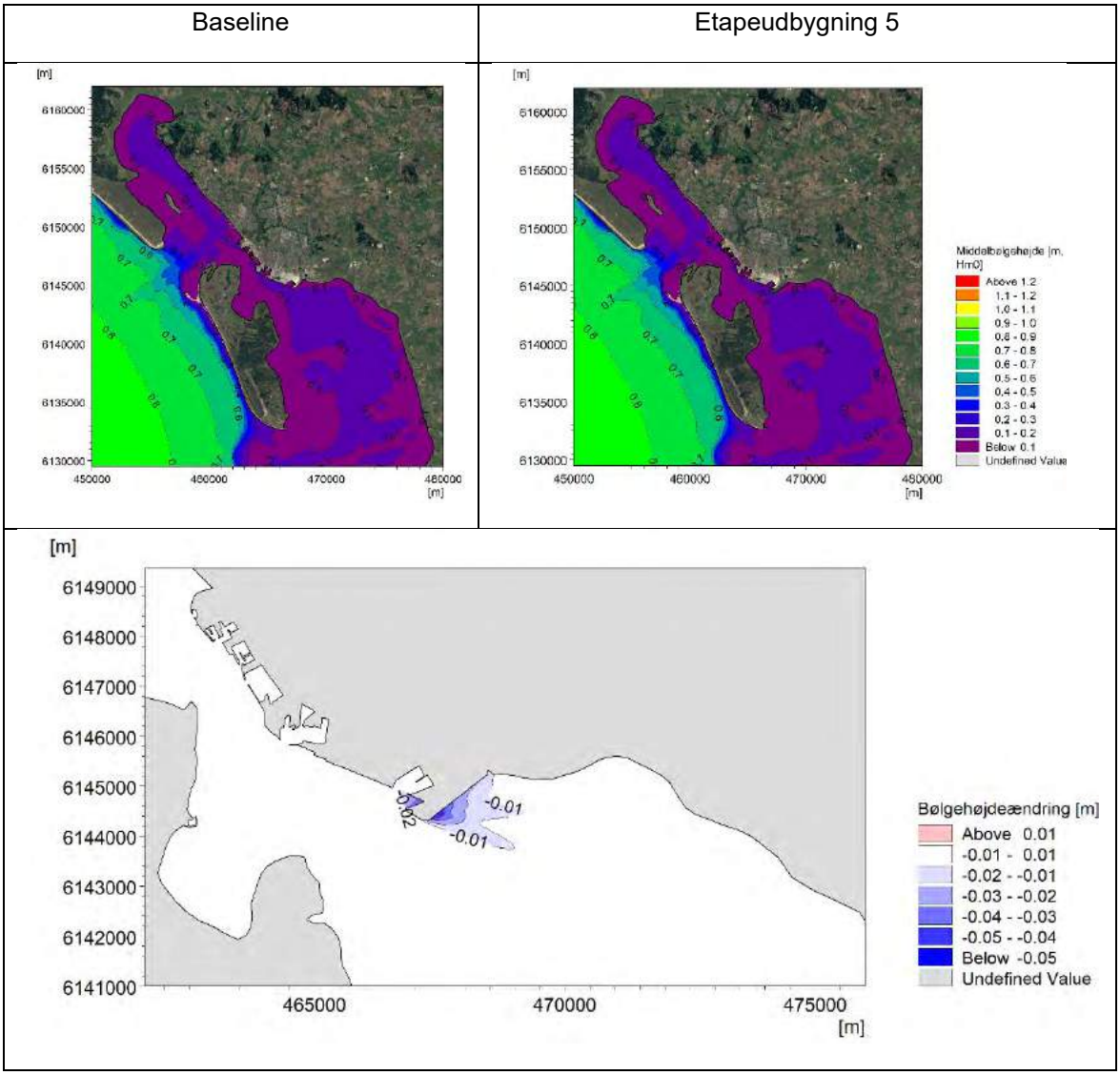
Tilsvarende ændringer for middelbølgehøjden er vist i Figur 9-35 og Figur 9-36, hvor det fremgår, at de største ændringer på op til 5 cm forekommer på hver side af udbygningen.

Beregnede bølgeroser for baseline og etapeudbygning 5 er vist Figur 9-38 og Figur 9-39 i fire udvalgte punkter, P1-P4 (se Figur 9-37), som repræsenterer områder med størst påvirkning af bølgehøjden.

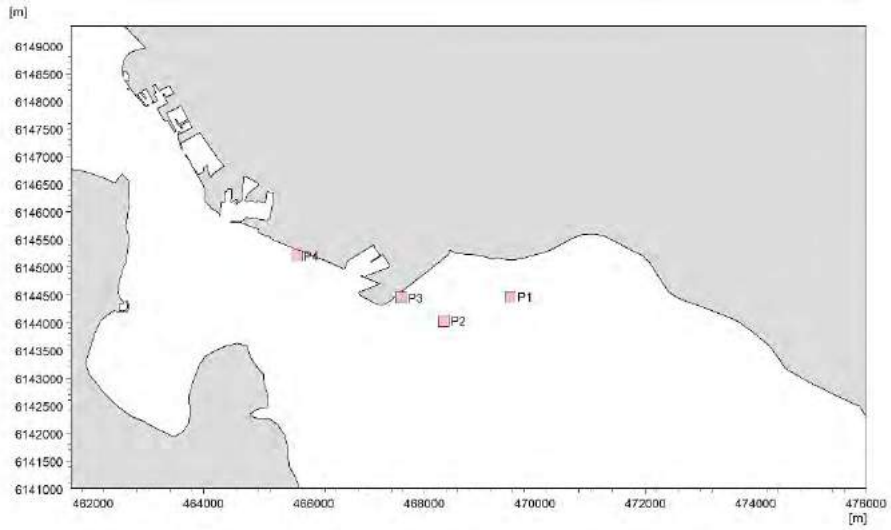
På grund af udbygningen ses der signifikante ændringer i bølgeretningen, specielt i P3, som ligger lige op ad udbygningen.



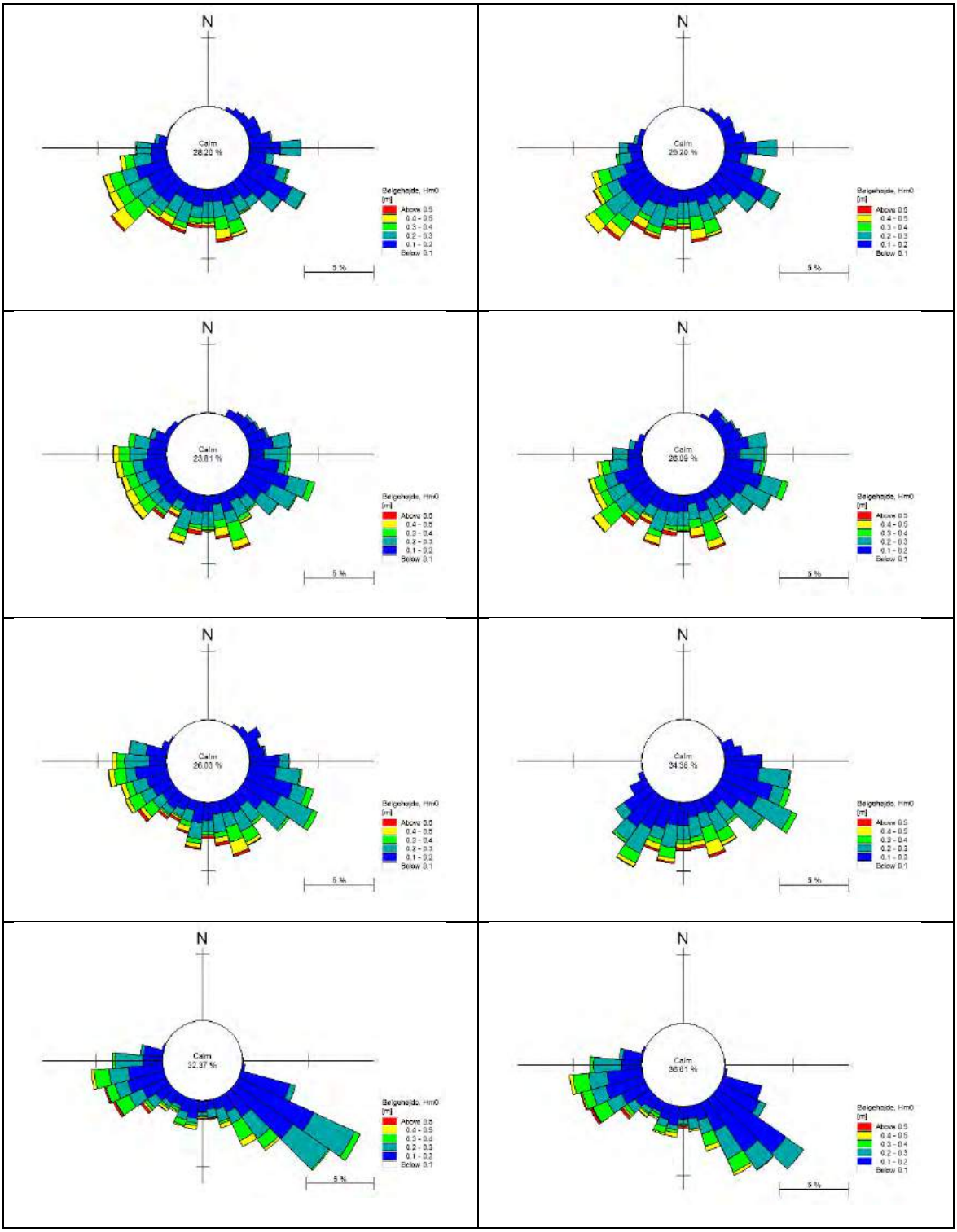
Figur 9-35 Middelbølgehøjde (H_{m0}) i vinterperioden samt ændring heraf.



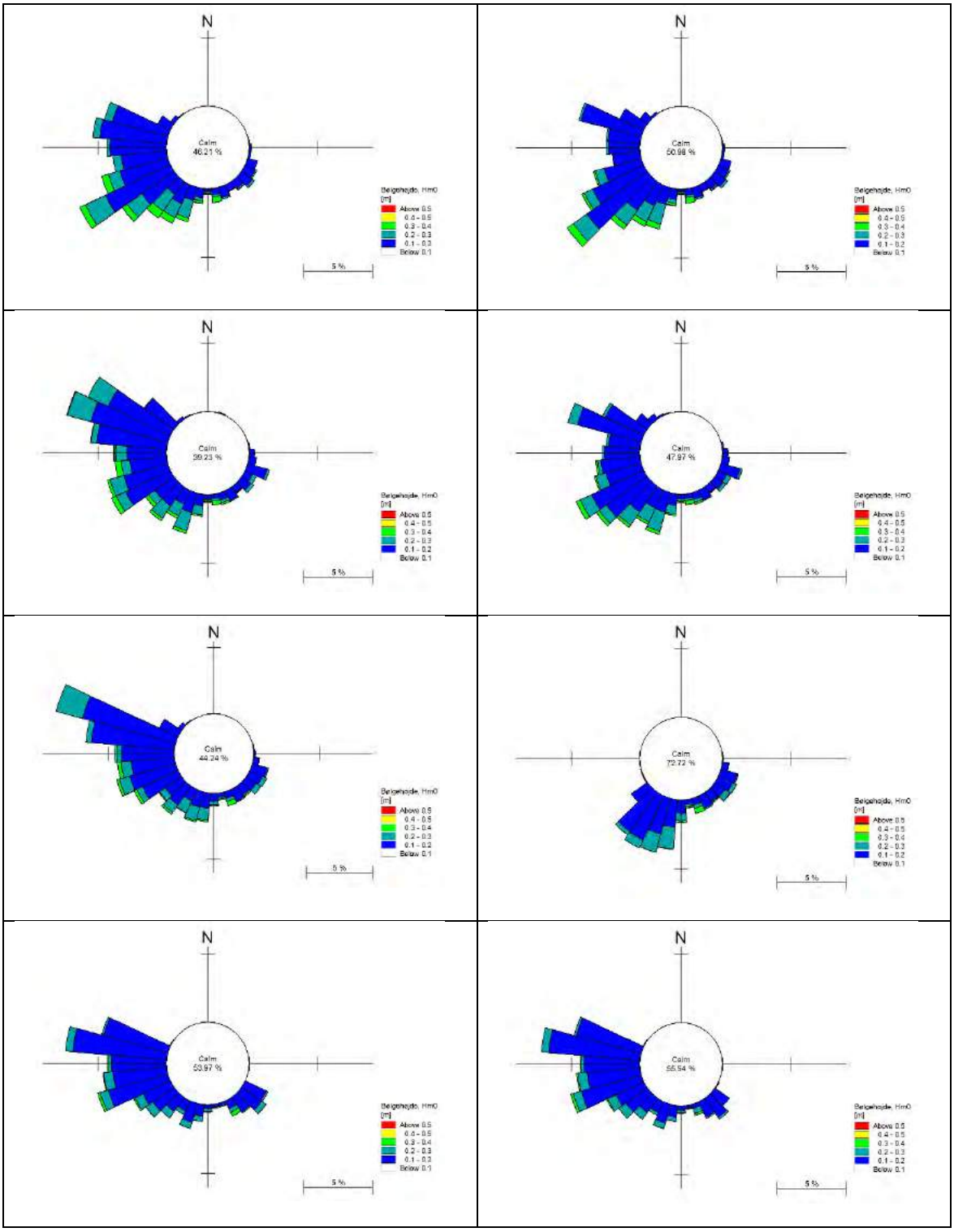
Figur 9-36 Middelbølgehøjde (H_{m0}) i sommerperioden samt ændring heraf.



Figur 9-37 Punkterne P1-P4 for udtræk af bølgeroser.



Figur 9-38 Bølgeroser i punkterne P1 (øverst), P2, P3 og P4 (nederst) for vinterperioden. Venstre side: Baseline, højre side: Etapeudvidelse 5.

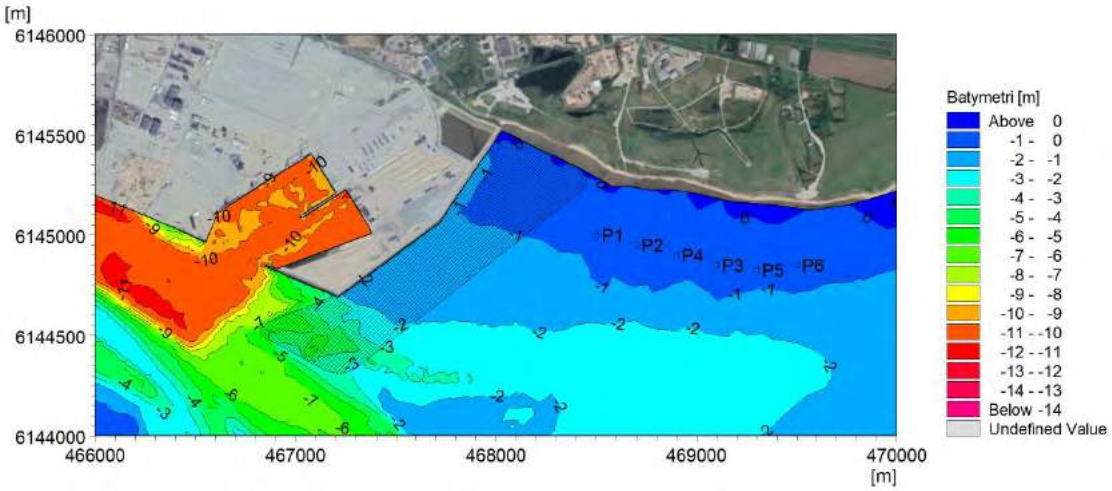


Figur 9-39 Bølgeroser i punkterne P1 (øverst), P2, P3 og P4 (nederst) for sommerperioden. Venstre side: Baseline, højre side: Etapeudvidelse 5.

9.6.1 Vurdering af læsideeffekter

Etapeudbygningen påvirker kun middelbølgehøjden i beskedent omfang og kun helt lokalt, men den blænder af for de vestfra kommende bølger i området øst for opfyldningen, som ville bidrage til en svag østgående litoral transport. Den vægtede bølgeenergis hovedretning, vil

derfor med udbygningen drejes lidt i retning mod uret. Til vurdering af påvirkningen er der udtrukket informationer om bølgehøjde og retning i de seks punkter P1-P6 vist i Figur 9-40 for henholdsvis baseline og udbygning.



Figur 9-40 Bølgeudtrækspunkter til vurdering af læside effekt på bølgeenergi og retning.

Tabel 9-11 angiver påvirkningen af den indkommende bølgeenergi i de seks udtrækspunkter for vinterperioden. Det ses, at der er en svækkelse af bølgeenergien på 12 % og en drejning af hovedretningen mod uret på 8˚ i P1, som gradvist aftager i retning mod P6, hvor bølgeenergien er svække med 3% og hovedretningen drejet 2˚ mod uret.

Tabel 9-11 Påvirkning af indkommende bølgeenergi i vinterperioden.

Station	Bølgeenergireduktion [%]	Hovedretning Baseline [˚]	Hovedretning Udbygning [˚]	Drejning mod uret [˚]
P1	12	193	185	8
P2	8	194	189	5
P4	5	193	189	4
P3	4	194	191	3
P5	4	195	192	3
P6	3	194	192	2

Tabel 9-12 angiver påvirkningen af den indkommende bølgeenergi i de seks udtrækspunkter for sommerperioden. Det ses, at der er en svækkelse af bølgeenergien på 19 % og en drejning af hovedretningen mod uret på 12˚ i P1, som gradvist aftager i retning mod P6, hvor bølgeenergien er svække med 5% og hovedretningen drejet 2˚ mod uret.

Den indkommende bølgeenergi i vinterperioden er for baseline 2,5-2,7 gange større end i sommerperioden, mens den for udbygningen er 2,6-3 gange større. Da bølgeenergien både svækkes og drejes i retning mod uret, vil ændringerne i den litorale transport, som udbygningen skaber, ikke kunne føre til en forøget kysterosion. Ydermere er en eventuel kyst/klit erosion relateret til akut erosion, som opstår i forbindelse med ekstreme højvande, hvor de indkommende bølger slår imod selve klitfoden. Da udbygningen ikke influerer på de ekstreme højvande, vil der forsat kunne opstå akut erosion af klitfoden.

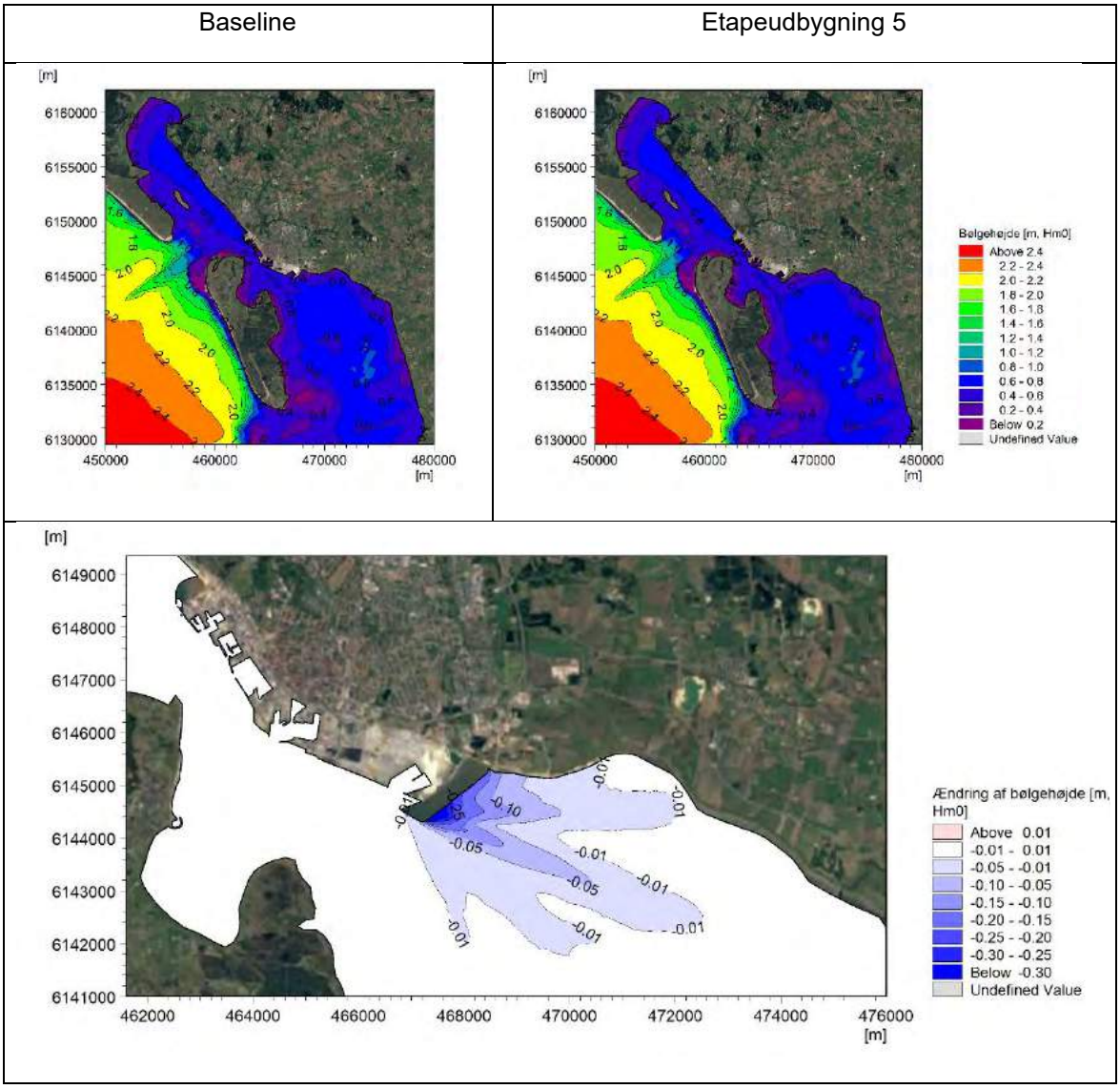
Tabel 9-12 Påvirkning af indkommende bølgeenergi i sommerperioden.

Station	Bølgeenergireduktion [%]	Hovedretning Baseline [˚]	Hovedretning Udbygning [˚]	Drejning mod uret [˚]
P1	19	215	203	12
P2	13	216	209	7
P4	9	215	211	4
P3	7	216	213	3
P5	7	216	213	3
P6	5	215	213	2

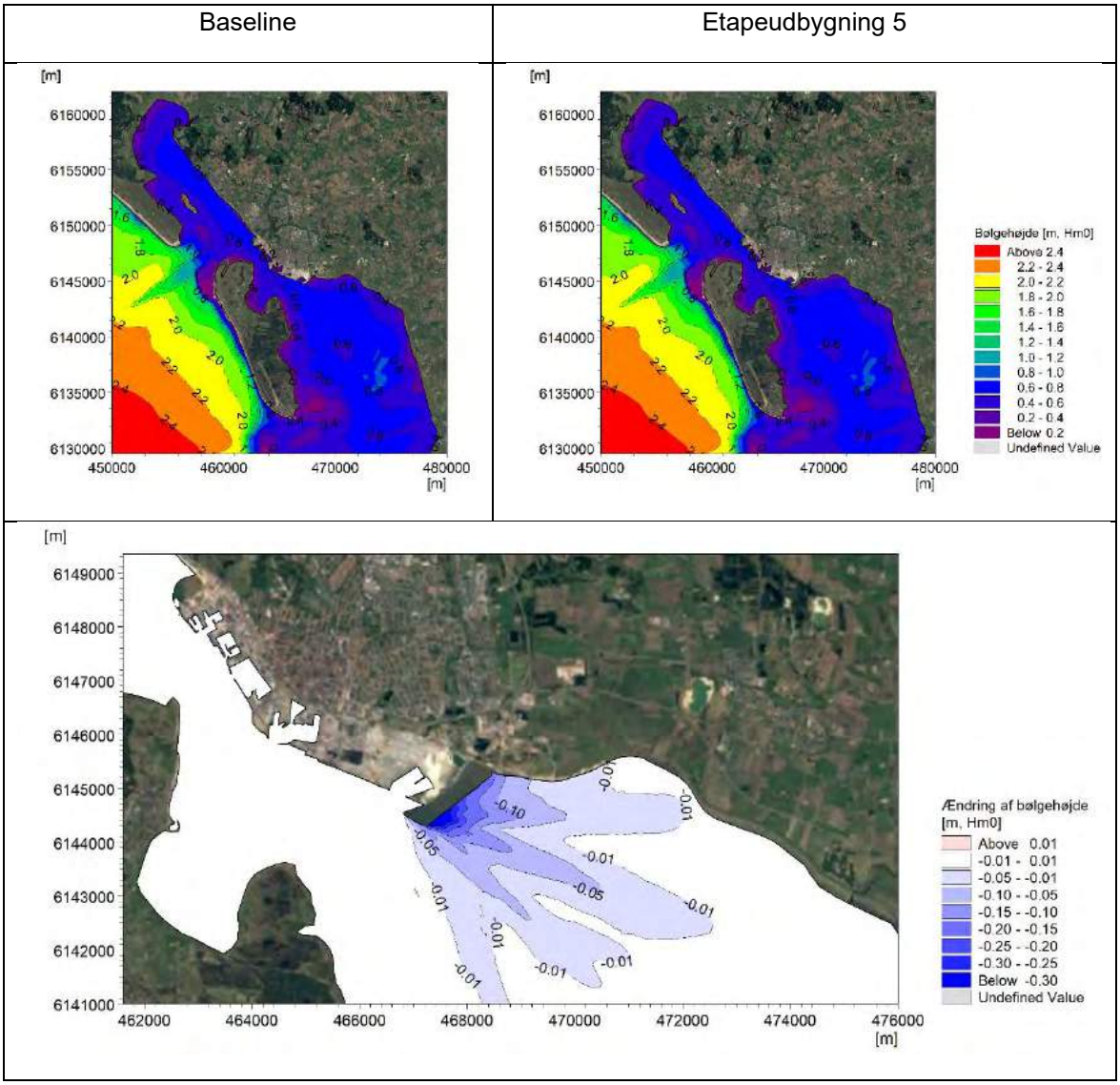
9.7 Påvirkning af bølger under ekstreme forhold

Store dele af den ydre del af Sønderhavn er lavet med lodret spuns og tilsvarende for Østhavn. Atlantkaj, Australienkaj, Arieskaj, Tauruskaj, Orientkaj og Capricornkaj er alle opført med lodretstående spuns. En lodret spuns virker reflekterende på indkommende bølger, mens en stenkastning virker delvist absorberende. Det er derfor relevant at få vurderet, hvilken påvirkning opfyldningen får i en situation med ekstreme bølgeforhold og under hensyntagen til reflekterende og absorberende konstruktioner. Til undersøgelsen er der antaget en middelvind på 20 m/s med retningen 300˚, hvilket tilnærmelsesvis svarer til en vind fra nordvest-vest (NVV). Vinden fastholdes med en tilstrækkelig varighed og retning til at kunne opbygge en fuldt udviklet sø-tilstand. Desuden er der benyttet en vandstand på 1,5 m DVR90, svarende til højvande med vindstuvning og således, at der er vanddække af tidevandsområdet.

Modelberegningerne er udført med og uden hensyntagen til refleksion fra de lodretstående kajer således at betydningen heraf lettere kan vurderes. Figur 9-41 viser de estimerede bølgehøjder uden bølgerefleksion, mens Figur 9-42 de tilsvarende bølgefelter med refleksion. Det ses ved sammenligning at bølgehøjderne ud for Østhavn og Sønderhavn er højere, som følge af bølgerefleksion. Tilsvarende ses effekten af bølgereflekterende konstruktioner i et område mellem Trafikhavnen og Sønderhavn. På vaderne og i området lidt væk fra havnen kan der ikke identificeres nogen effekt. Her ses bølgerefleksionen at forøge bølgehøjderne mellem opfyldningen og havnen, samt i en del af læ-zonen sydøst for opfyldningen.



Figur 9-41 Bølgehøjde (H_{m0}) under ekstreme forhold (middelvind på 20 m/s, vindretning 300°N og vandstand på 1.5m DVR90) samt ændring heraf uden refleksion.



Figur 9-42 Bølgehøjde (H_{m0}) under ekstreme forhold (middelvind på 20 m/s, vindretning 300°N og vandstand på 1.5m DVR90) samt ændring heraf med refleksion.

9.8 Påvirkning af finkornet sediment som følge af udbygning

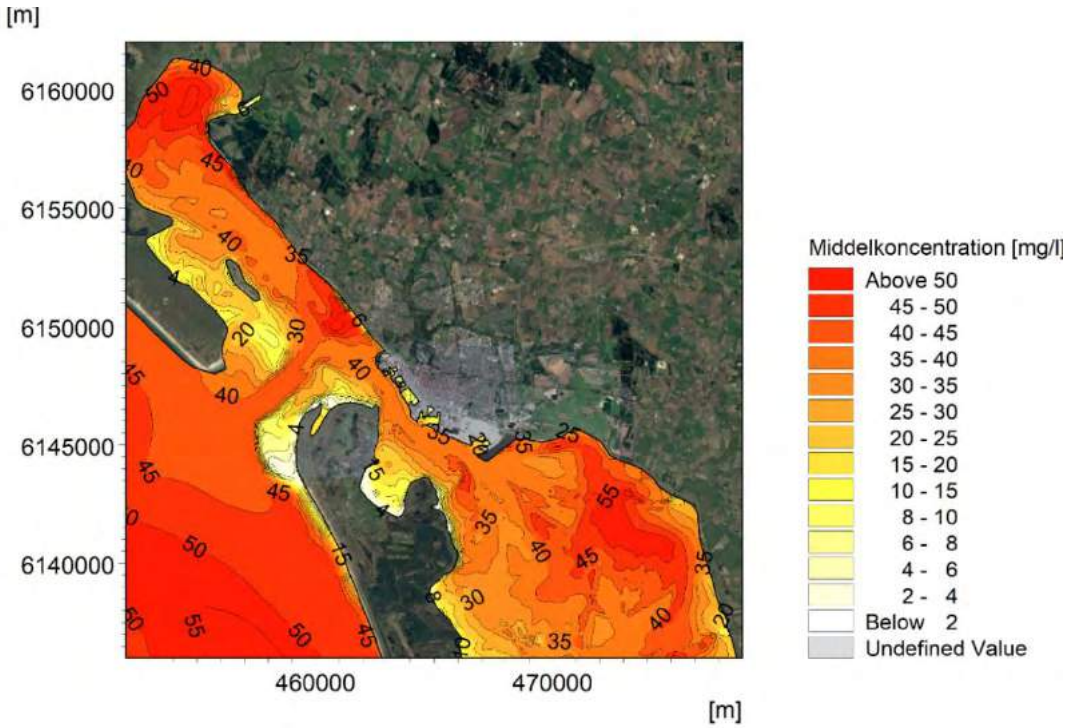
I driftsfasen vil der fortsat klappes materiale i forbindelse med oprensning af sejlrende og havnebassiner. Turbidetsniveauet inde i tidevandsområdet er derfor bestemt af opslæmning af finkornet sediment og bidrag fra klapninger. I dette afsnit ses der på hvordan udbygningen og de ændrede strømforhold vil påvirke det finkornede sediment.

9.8.1 Påvirkning af sedimentkoncentrationer

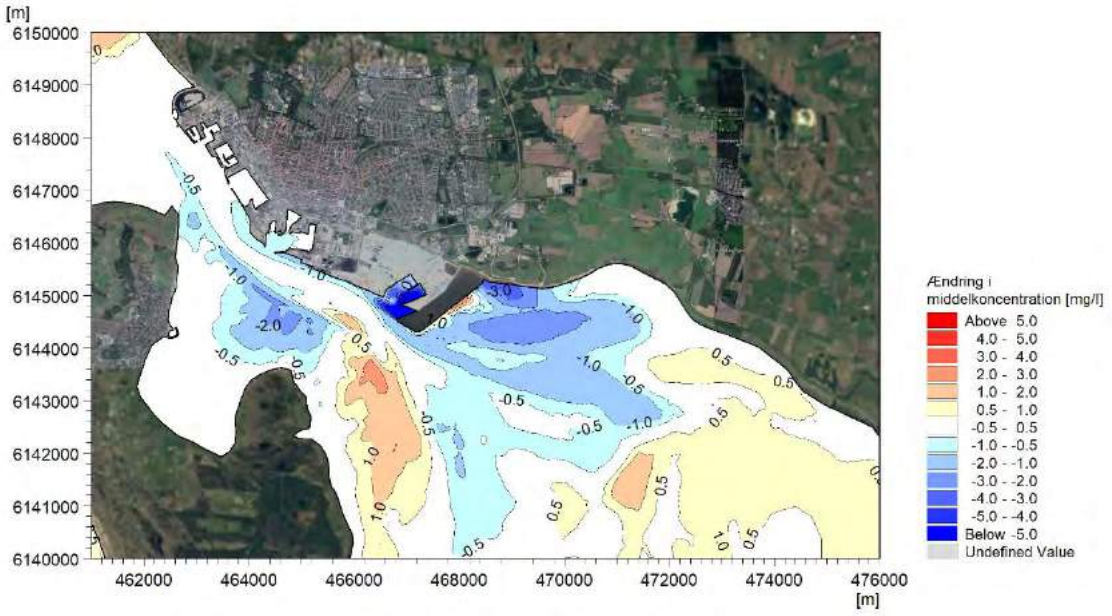
Til at give et mere overordnet overblik af hvordan de fremtidige typiske niveauer vil blive inde i tidevandsområdet, samt ændringer i forhold til baseline er der for hver af de modellerede sæsonperioder beregnet en middelkoncentration og overskridelseshyppigheder af henholdsvis 50 mg/l og 100 mg/l.

9.8.1.1 Vinterperiode

Figur 9-43 viser middelkoncentrationen i den modellerede vinterperiode, hvor påvirkninger fra vind og bølger generelt er større end i sommerperioden. Det ses, som for baseline, at turbiditetsniveauet generelt er højt i hele området, men særlig højt i Ho Bugt og området ved tidevandsskellet.



Figur 9-43 Modelleret middelkoncentration for layout og faktiske klapninger i vinterperioden.



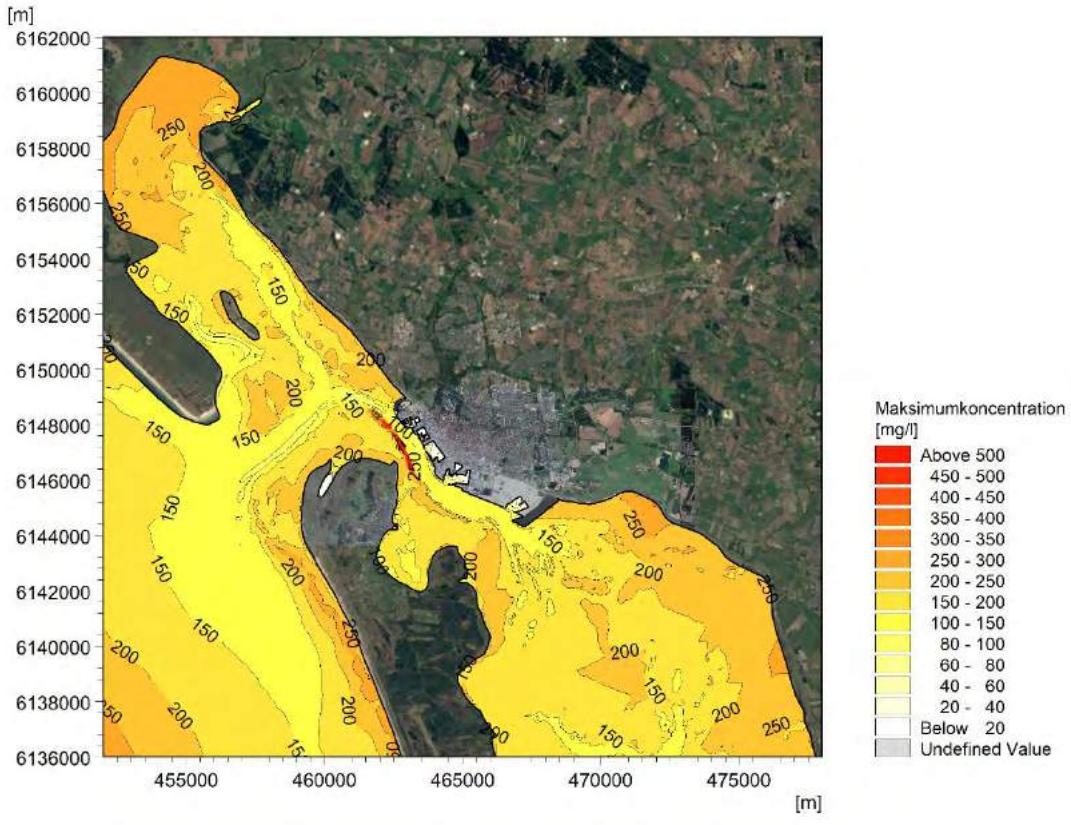
Figur 9-44 Ændringer i middelkoncentration i vinterperioden i forhold til baseline.

Der kan ikke identificeres betydende ændringer af turbiditetniveauet ved sammenligning med baselineforholdene vist i Figur 7-52. Til at identificere og visualisere påvirkningen er ændringen af middelkoncentrationen i forhold til baseline beregnet og plottet i Figur 9-44. Det ses, at niveauet falder med op til 3 mg/l i området øst for udbygningen, som følge af den større

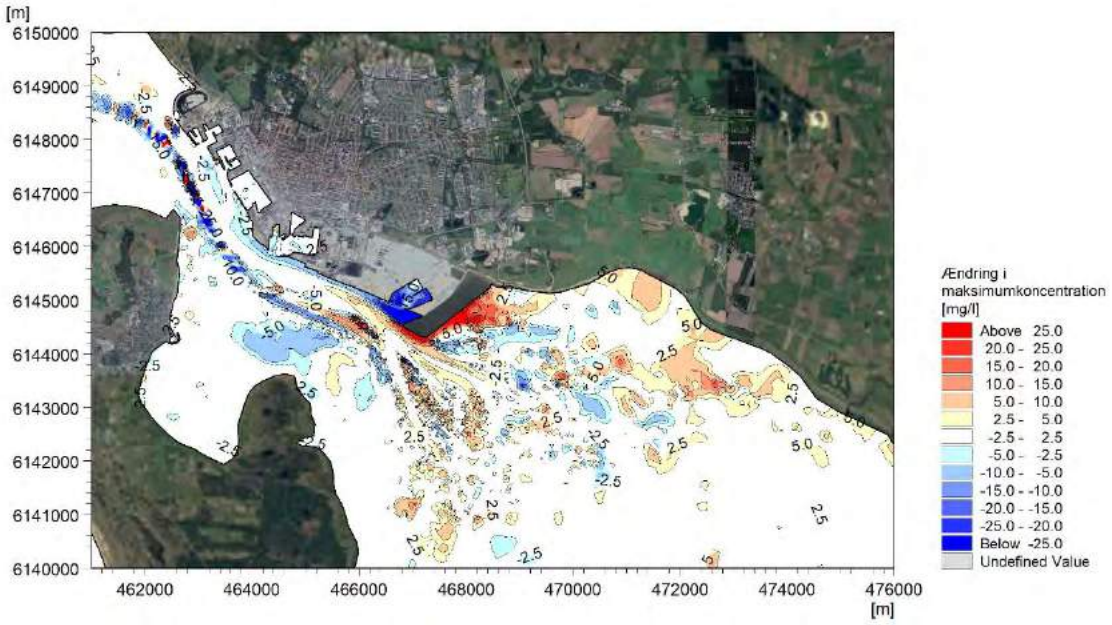
lævirkning. Ligeledes falder middelkoncentrationen med omkring 1 mg/l på vaden nord for Halen. I området ved tidevandsskellet og i den nordlige del af Grådyb tidevandsområde stiger middelkoncentrationen med omkring 0,5 mg/l, hvilket er en beskeden påvirkning af det faktiske niveau. I området lige øst for Halen ses middelkoncentrationen at stige med omkring 1 mg/l.

Figur 9-45 viser maksimumkoncentrationen i løbet af den modellerede vinterperiode. Det ses, at niveauerne er særligt høje på klapplads N og E, hvor der klappes sediment. Der klappes ikke materiale på klapplads Ø i vinterperioden og maksimumniveauerne er derfor relativt lave i dette område i forhold til når der klappes. Ændringen i maksimumkoncentration i forhold til baseline er vist i Figur 9-46. Positive værdier angiver en forøgelse (røde farver), mens negative værdier (blå farver) angiver et fald. Maksimumkoncentrationen er kun væsentlig forøget i området sydøst for opfyldningen. På vaden nord for Halen er der en lille reduktion, som følge af en svagt forøget aflejring. Det lidt spættede mønster som ændringer udgør, relaterer til det ændrede strømcirkulationsmønster og det reducerede tidevandsvolumen i Grådyb tidevandsområde.

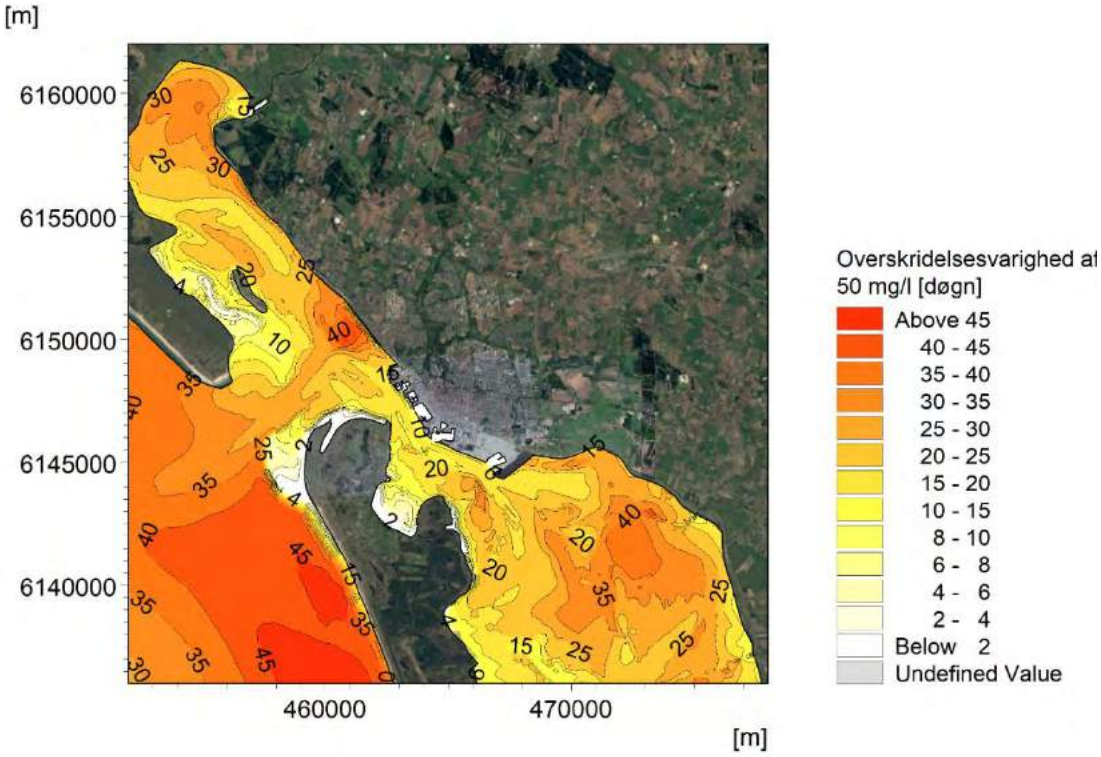
Varigheden med overskridelse af sedimentkoncentrationer større end 50 mg/l og 100 mg/l er vist i Figur 9-47 og Figur 9-49. De tilhørende ændringer i forhold til baseline er vist i Figur 9-48 og Figur 9-50. Det ses, at der for grænsen på 50 mg/l er en reduktion af overskridelsesvarigheden på omkring 2 døgn i vinterperioden i området øst for etapeudbygningen og på vaden nord for Halen. Ved tidevandsskellet forøges varigheden svagt, dvs. med lidt mindre end 1 døgn. I den nordlige del af tidevandsområdet samt i området ud for Grådyb forøges varigheden med omkring 1 døgn. For grænsen på 100 mg/l er påvirkningen inde i tidevandsområdet noget mindre. Ændringerne er med undtagelse af området helt lokalt øst for udbygningen mindre end 1 døgn. Uden for tidevandsområdet er koncentrationsniveauet svagt forøget i forhold til baseline, hvilket bevirker en ændring af overskridelsesvarigheden på mellem 0,5-4 døgn.



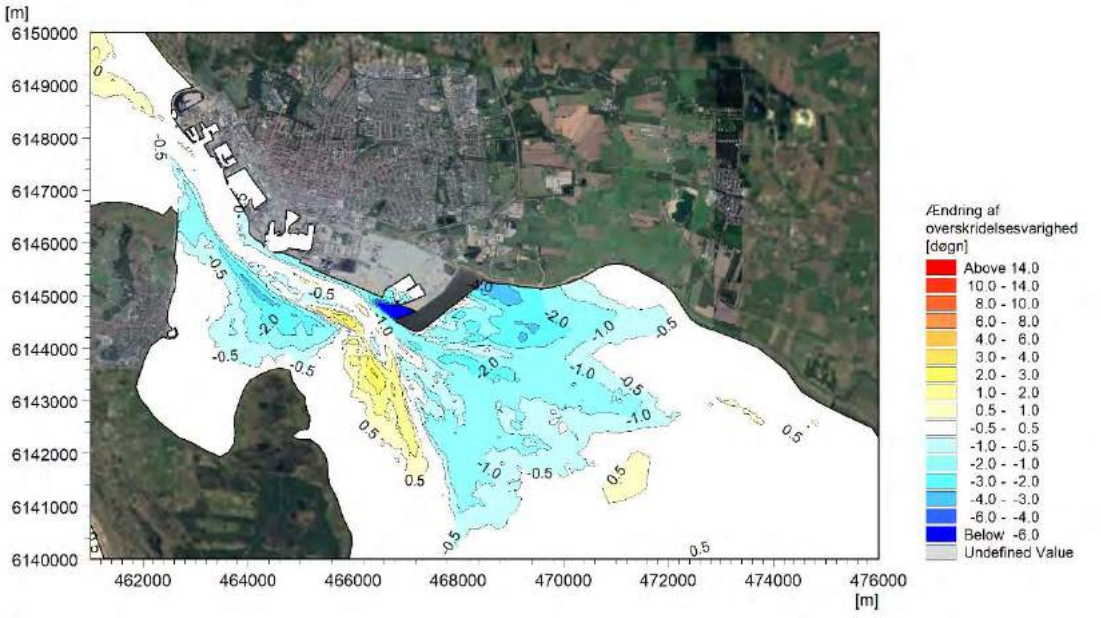
Figur 9-45 Maksimumkoncentration for layout og faktiske klapninger i vinterperioden.



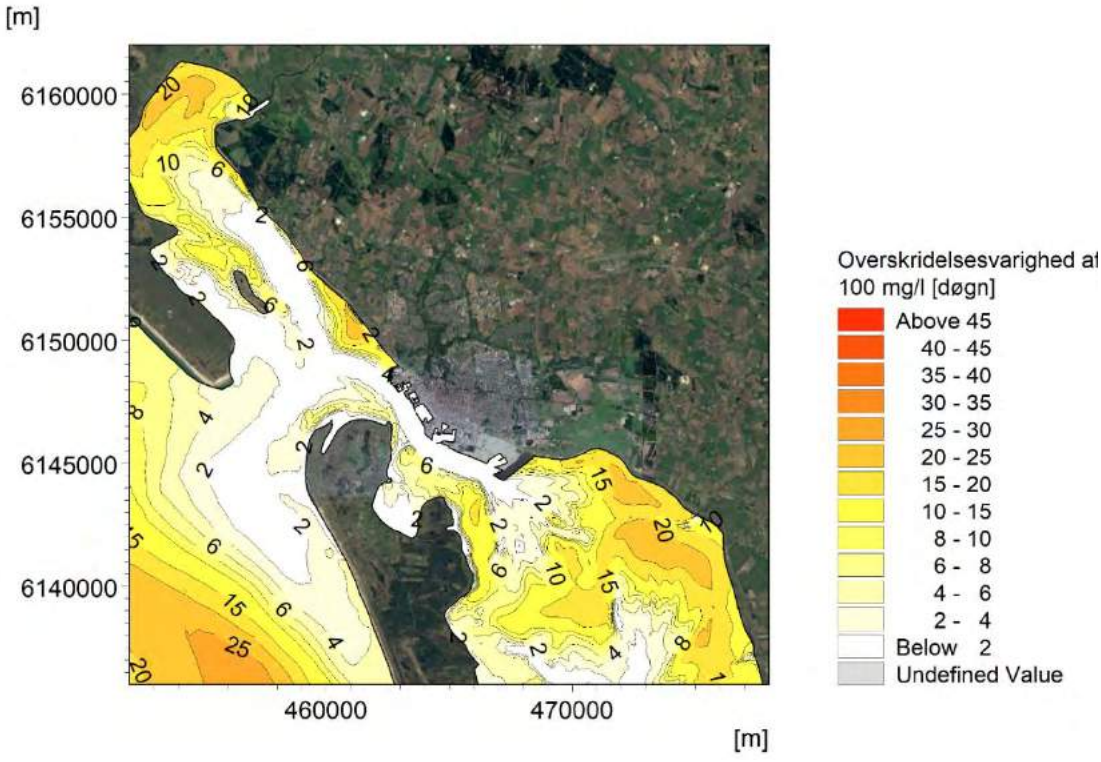
Figur 9-46 Ændring af maksimumkoncentrationer for layout i vinterperioden i forhold til baseline.



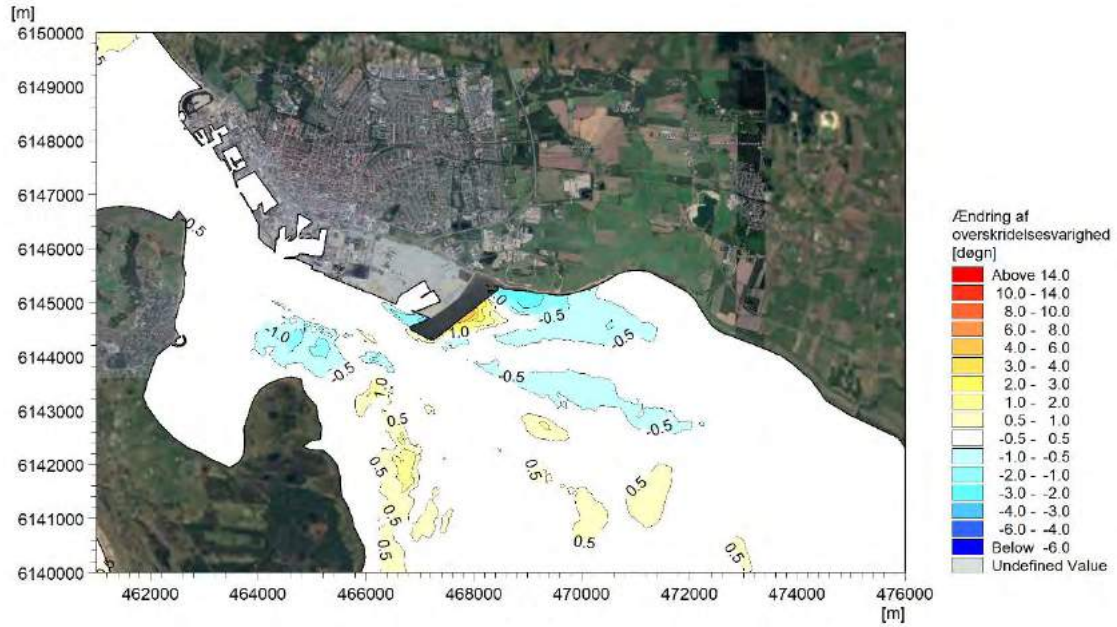
Figur 9-47 Overskridelsesvarigheder for layout med koncentrationer af finkornet sediment større end 50 mg/l.



Figur 9-48 Ændringer af overskridelsesvarighed med koncentrationer af finkornet sediment større end 50 mg/l i forhold til baseline.



Figur 9-49 Overskridelsesvarigheder for layout med koncentrationer af finkornet sediment større end 100 mg/l.



Figur 9-50 Ændringer af overskridelsesvarighed med koncentrationer af finkornet sediment større end 100 mg/l i forhold til baseline.

9.8.1.2 Sommerperiode

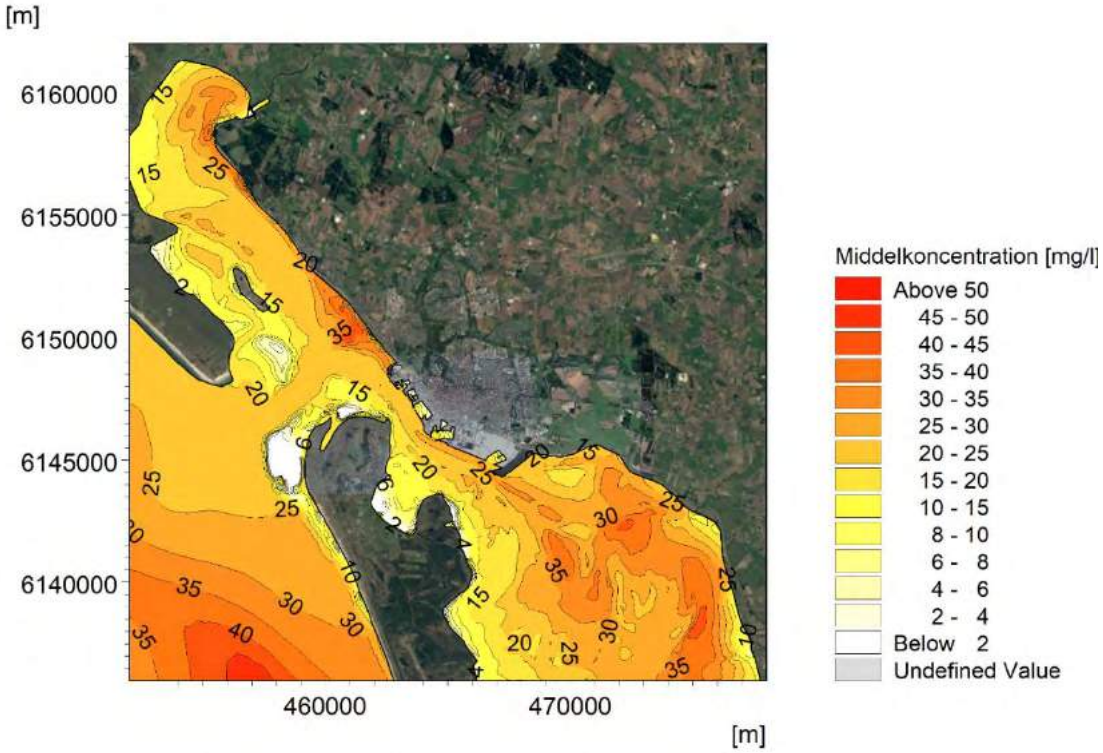
I sommerperioden er det generelle turbiditetsniveau lavere end i vinterhalvåret, grundet en svagere påvirkning fra vind. Til gengæld er bidraget fra klapninger væsentligt større end i vinterperioden. Figur 9-51 viser den beregnede middelkoncentration i sommerperioden. Det ses, at niveauerne er størst i Ho Bugt, nord for Esbjerg Marina og i området ved tidevandsskellet. Da der klappes større mængder på klapplads Ø i sommerperioden, er der ligeledes et lokalt forhøjet turbiditetsniveau i sejlrenden på strækningen fra Sønderhavn til Østhavn, samt i forlængelsen heraf.

Figur 9-52 viser ændringen af middelkoncentrationen i forhold til baseline. Det ses, at påvirkningen primært er tilknyttet klapningen af materiale på klapplads Ø, som spredes anderledes på grund af udbygningen og de ændrede strømforhold (strømforstærkningen). Strømforstærkningen bevirker at middelkoncentrationen forøges med 2-4 mg/l i sejlrenden og med omkring 5 mg/l i en kile sydøst for udbygningen. I områderne på hver side af kilen falder middelkoncentrationen med mellem 0,5-3 mg/l. Ændringerne er en konsekvens af det lokalt ændrede strømningsmønster. I den øvrige del af tidevandsområdet ses forøgelser af middelkoncentrationen på op til 1-2 mg/l.

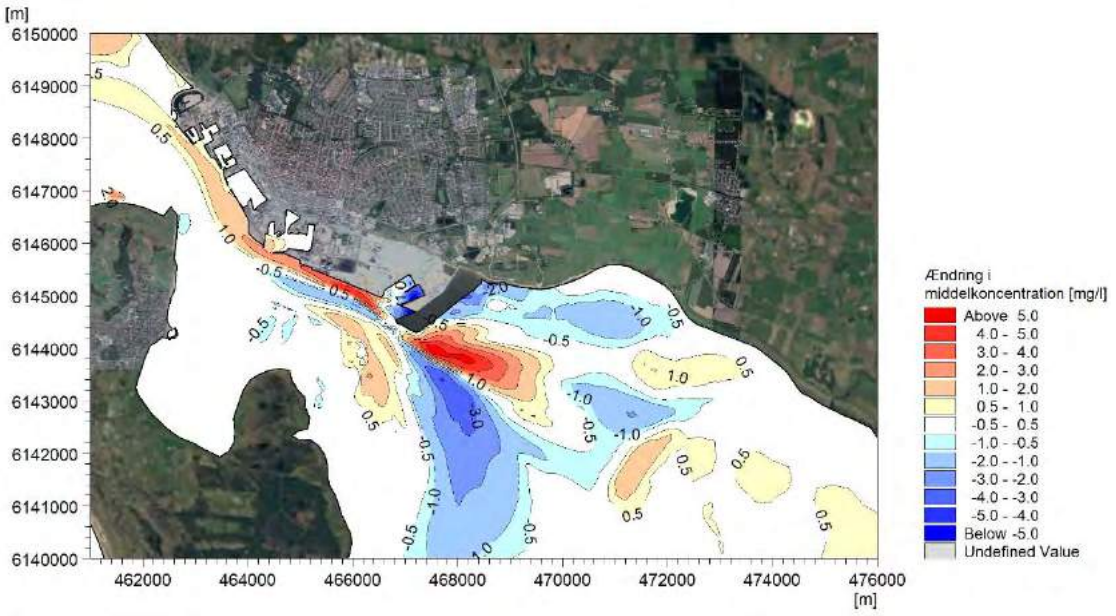
Figur 9-53 viser maksimumkoncentrationen i løbet af den modellerede sommerperiode. Maksimumkoncentrationerne er lavere end i vinterperioden, med undtagelse af klapplads Ø, hvor der klappes betydelige mængder. Det ses, at niveauerne er særligt høje på klapplads N og E, hvor der ligeledes klappes sediment. Ændringen i maksimumkoncentration i forhold til baseline er vist i Figur 9-54. Positive værdier angiver en forøgelse (røde farver), mens negative værdier (blå farver) angiver et fald. Maksimumkoncentrationen er væsentligt forøget i sejlrenden og forlængelsen heraf. Den primære årsag til det er en kraftigere ophvirvling af det materiale som klappes på klapplads Ø og kun i mindre grad en påvirkning fra uddybningen. Der klappes ikke på klapplads Ø i den resterende del af året, så stigningen er ikke udtryk for en generel tendens. I vinterperioden, hvor der ikke klappes på klapplads Ø finder man et fald i både middel- og maksimumkoncentration i sejlrenden langs med havnen.

Varigheden af overskridelse med sedimentkoncentrationer større end 50 mg/l og 100 mg/l er vist i Figur 9-55 og Figur 9-57, mens ændringerne i forhold til baseline er vist Figur 9-56 og Figur 9-58. Det ses, at ændringerne for overskridelse af 50 mg/l følger det samme mønster som

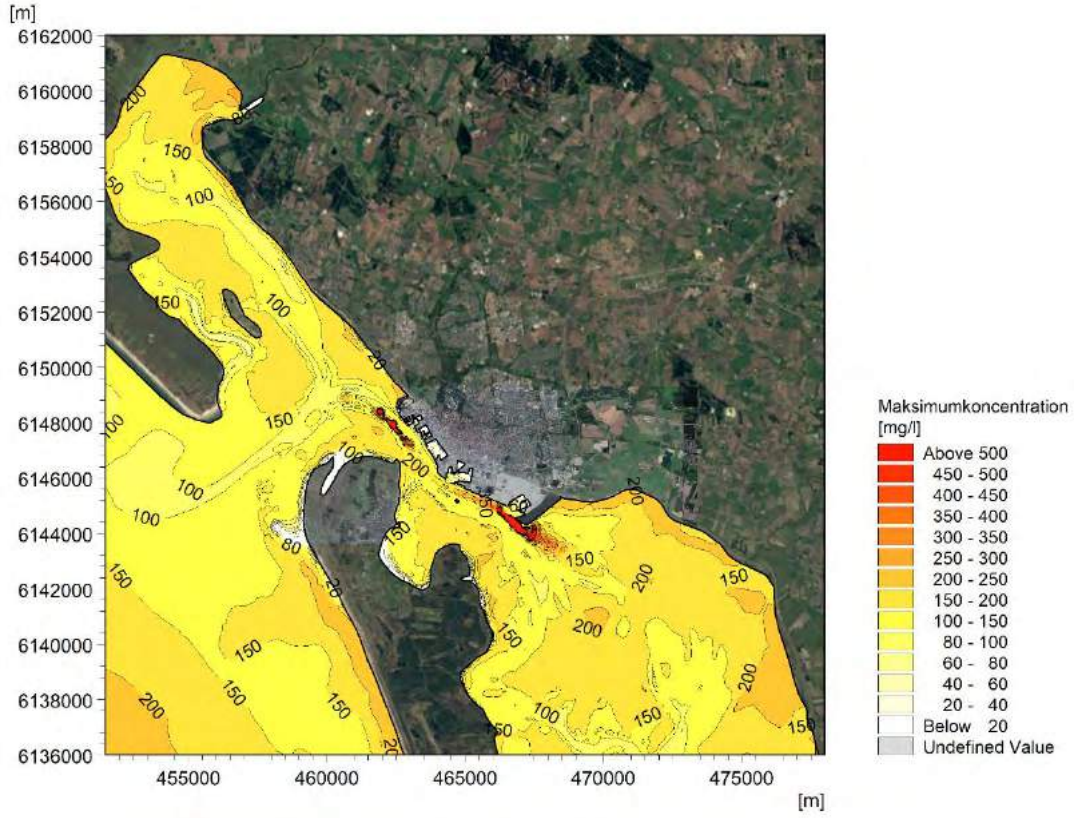
ændringerne i middelkoncentrationen. I sejlrenden langs med havnet er varigheden forøget med 2-5 døgn og ligeledes i en kile sydøst for udbygningen. For 100 mg/l er der kun mindre ændringer og primært helt lokalt sydøst for etapeudbygningen, hvor den generelle strømforstærkning og bidraget fra klapning virker forstærkende på turbiditetsniveauet.



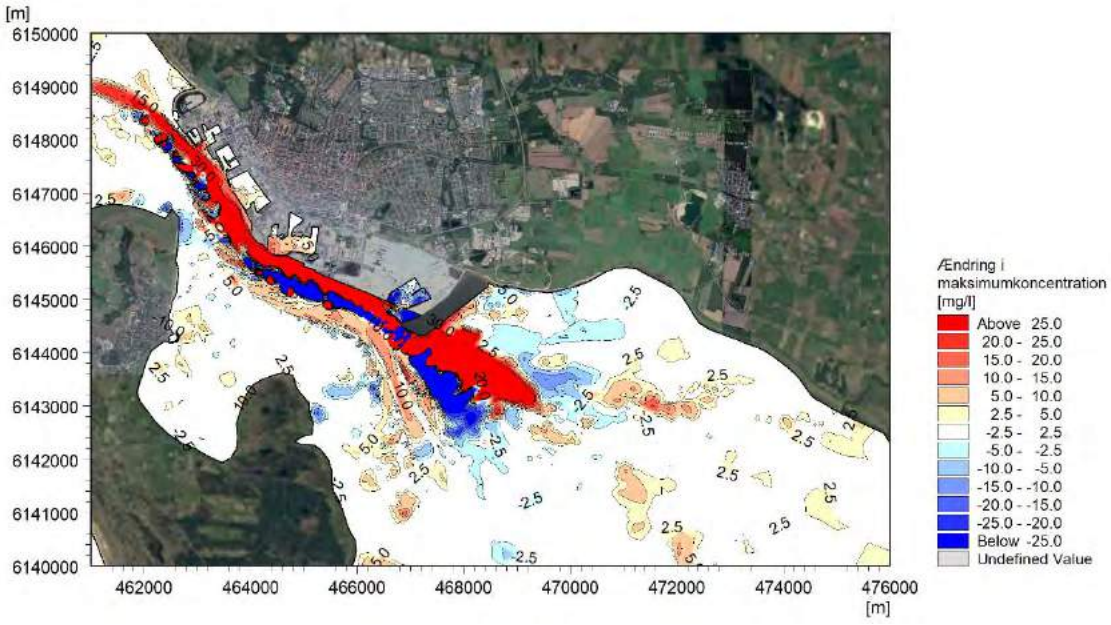
Figur 9-51 Modelleret middelkoncentration for layout og faktiske klapninger i sommerperioden.



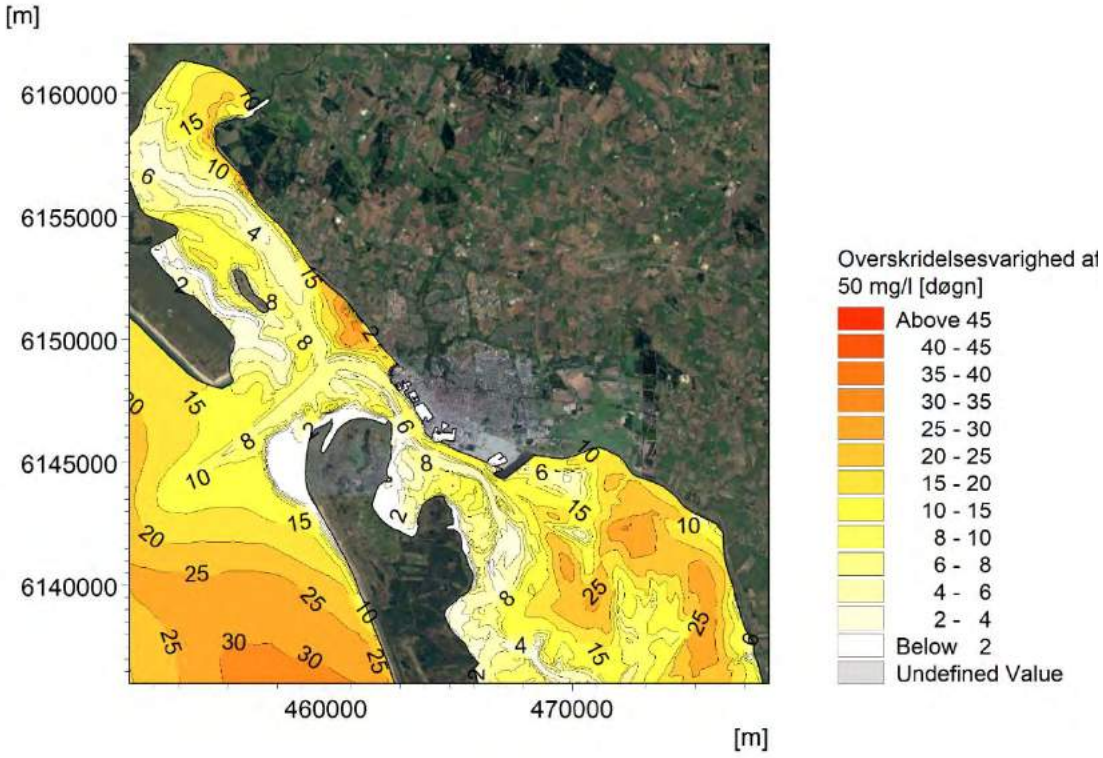
Figur 9-52 Ændringer i middelkoncentration i sommerperioden i forhold til baseline.



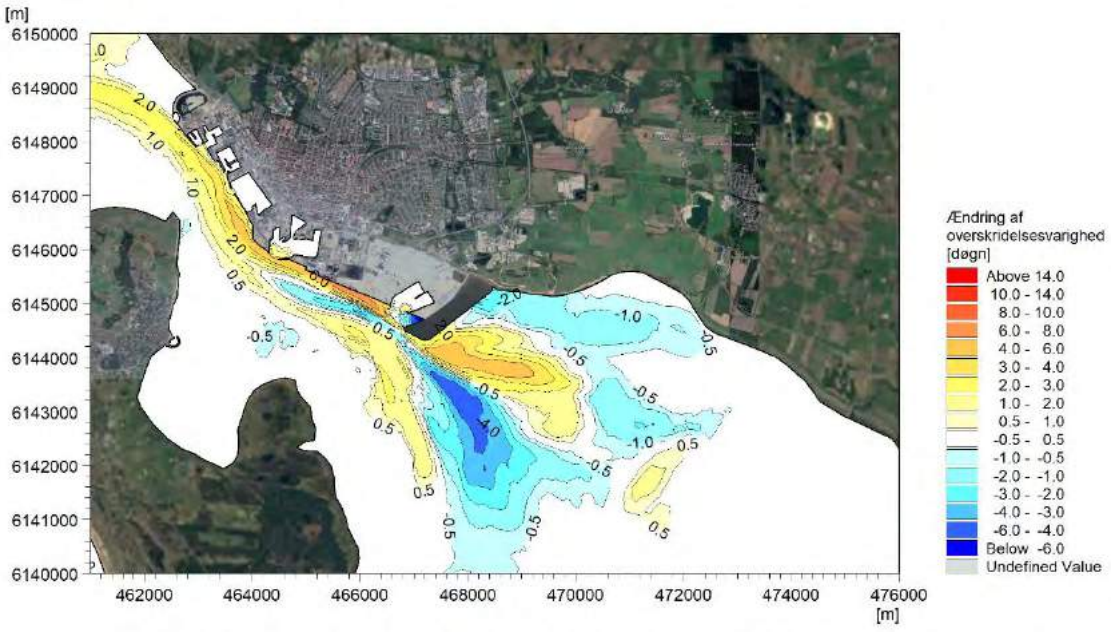
Figur 9-53 Maksimumkoncentration for layout og faktiske klapninger i vinterperioden.



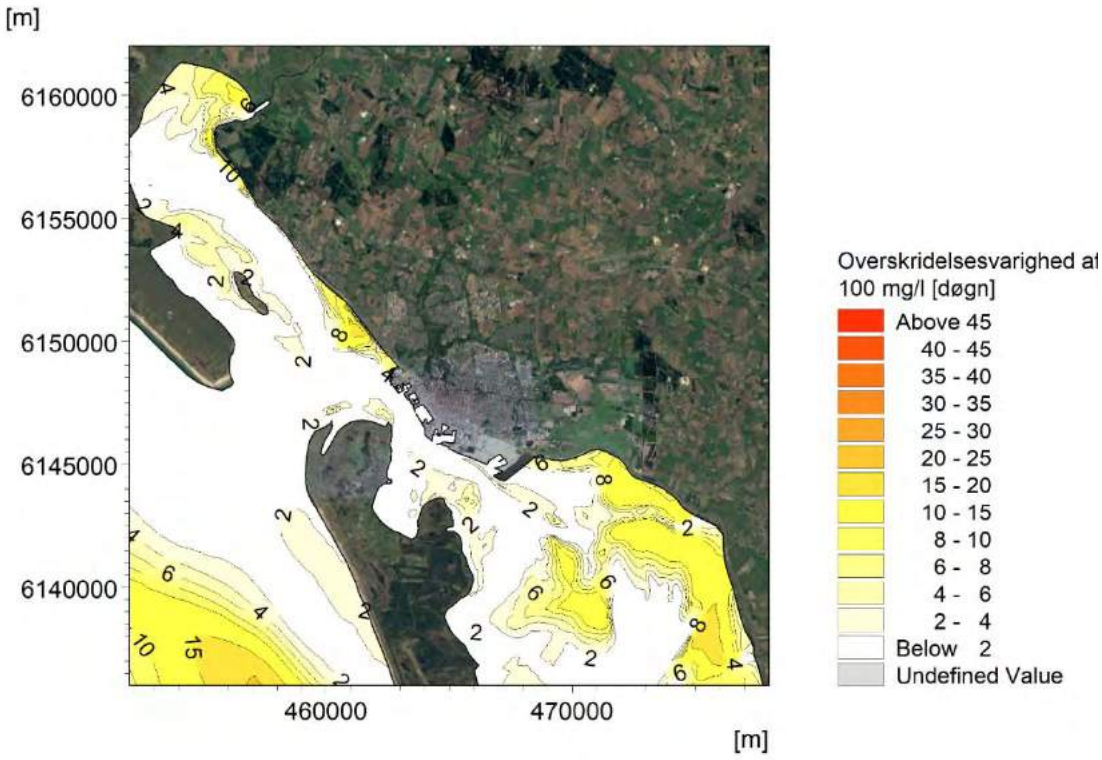
Figur 9-54 Ændring af maksimumkoncentrationer for layout i sommerperioden i forhold til baseline.



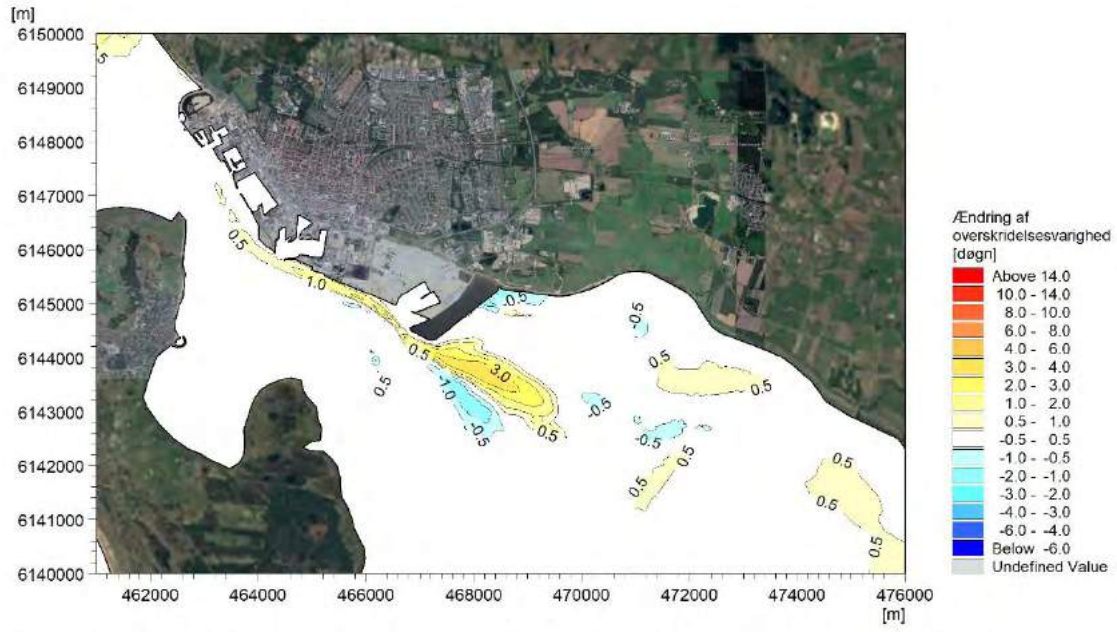
Figur 9-55 Overskridelsesvarigheder for layout med koncentrationer af finkornet sediment større end 50 mg/l.



Figur 9-56 Ændringer af overskridelsesvarighed med koncentrationer af finkornet sediment større end 50 mg/l i forhold til baseline.



Figur 9-57 Overskridelsesvarigheder for layout med koncentrationer af finkornet sediment større end 100 mg/l.



Figur 9-58 Ændringer af overskridelsesvarighed med koncentrationer af finkornet sediment større end 100 mg/l i forhold til baseline.

9.8.2 Påvirkning af erosions- og aflejringsmønstre

Med udgangspunkt i bundsammensætningskortet for det finkornede sediment kan modellen omfordele sedimentet som følge af erosion og en efterfølgende aflejring. Der tilføres dog også sediment med de definerede klapningsbidrag (som i modellen udgør et ekstra bidrag til

aflejringerne). Desuden er der den påtrykte randbetingelse langs de ydre offshore rande, som i perioder med indstrømning tilfører sediment og i perioder med udstrømning tapper sediment. Ved indstrømning er sedimentkoncentrationen bestemt af randbetingelsen, mens den ved udstrømning er bestemt af den lokale koncentration. Endelig er der effekten af initialbetingelsen. Ved tolkningen af aflejringskortene er det derfor mere vigtigt at se på erosions- og aflejringsmønstre fremfor at fokusere på den absolutte lagtykkelse.

Modellens sedimentation i havnebassinerne indeholder ikke effekten af den densitetsdrevne tunge bundstrøm, som forventeligt udgør den største bidrag til havnesedimentation. Den primære årsag til dette er at bundstrømmen forplanter sig helt ind i havnebassinet. Modellen beskriver kun bidraget fra den tidevandsinducerede aflejring, samt et bidrag fra det som føres ind af den horisontalt drevne hvirvel i bassinmundingen. Modellens tilførte mængder af sediment ved klapning (ikke mindst i sommerperioden), vil derfor forventeligt være større end det som modellen tilfører havnebassinerne. Som en følge af dette vil der derfor være en syntetisk nettotilførsel af sediment til modellens overordnede sedimentbudget, som gør at aflejringsmængderne på vaderne og omkring tidevandsskellet er overvurderede. Modellens estimerede aflejringstykkelser er derfor lettere overvurderede. Effekten af det ekstra bidrag sediment elimineres, når der i stedet ses på den relative forskel mellem driftsfasen og baseline.

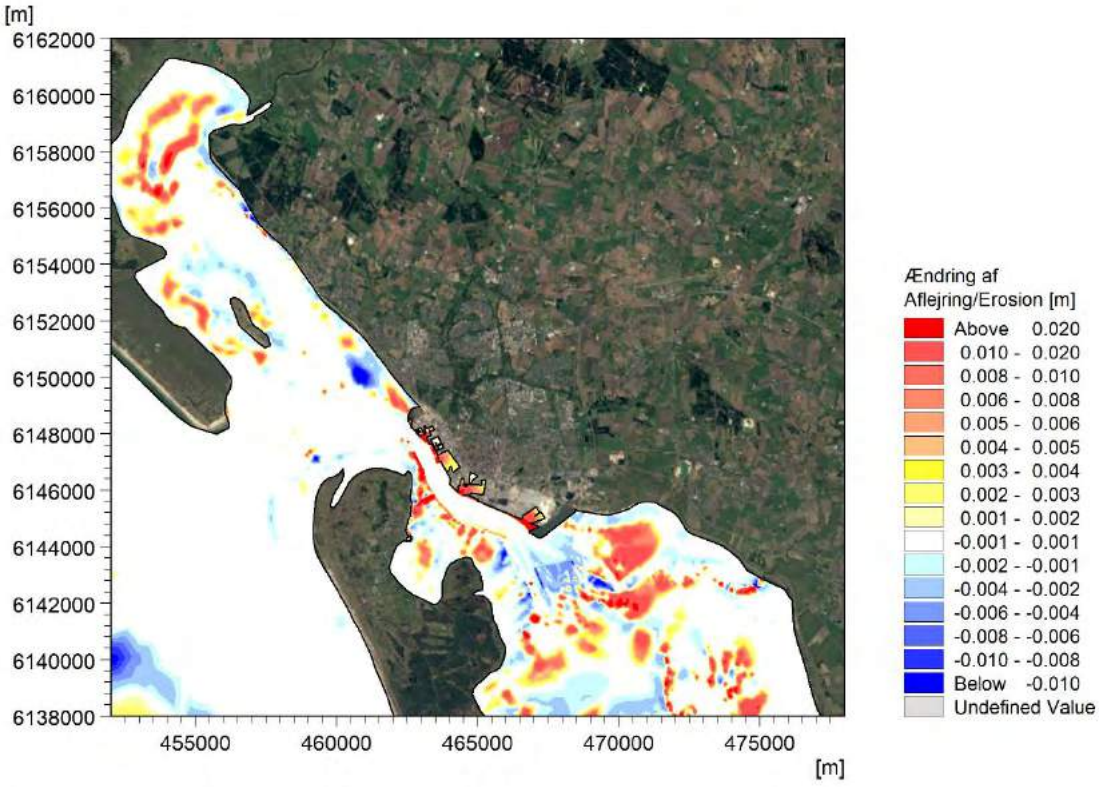
Med undtagelse af områderne i tidevandsområdet, hvor der optræder mudder er underlaget relativt fast, dvs. at det ikke synker mærkbart sammen når man går på det. Tørdensiteten af aflejret silt er derfor skønnet til 1.400 kg/m^3. I beregningerne af aflejringstykkelserne er der anvendt en densitet på 500 kg/m^3. Et mere reelt estimat for aflejringstykkelsen fås derfor ved at skalere de modelberegnede ændringer med en faktor 5/14 = 0,36. I de nedenfor viste aflejringskort er aflejringstykkelse blevet skaleret, svarende til en tørdensitet at materialet på 1.400 kg/m^3.

Figur 9-59 viser den modellerede aflejring/erosion i vinterperioden med en etapeudbygning. Det ses, at der er områder med signifikant tendens til aflejring og områder, hvor finkornet materiale vil have svært ved at aflejres i større mængder. Påvirkningen af udbygningen er vist i Figur 9-60. Det ses, at udbygningen fører til en aflejring på vaden nord for Halen, i et område sydøst for opfyldningen, i dele af området lige nord for tidevandsskellet og nord for Esbjerg Marina. Desuden er der mindre aflejringer i Ho Bugt og i området syd for tidevandsskellet.

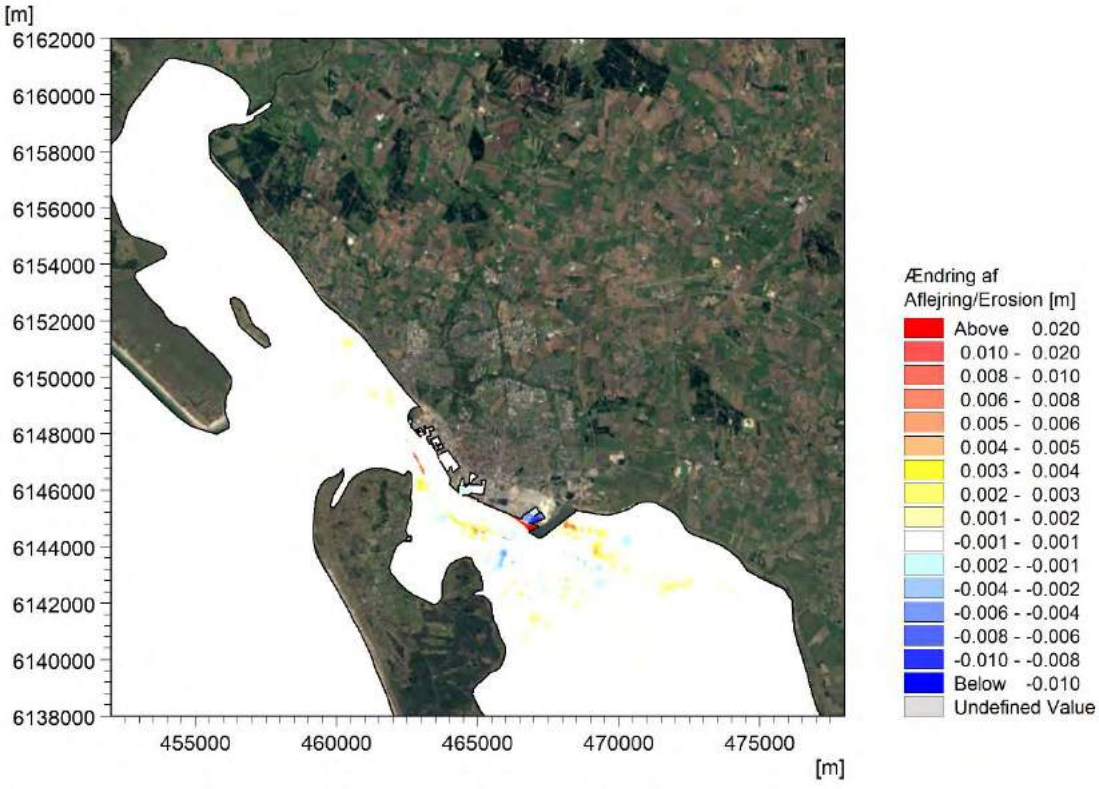
De tilsvarende plots er vist for sommerperioden i Figur 9-61 og Figur 9-62. I sommerperioden er der en markant aflejring sydøst for etapeudbygningen, som formentlig relaterer til klapning af materiale på klapplads Ø og en ændret strømningscirkulation. Der er ligeledes aflejring på vaden ind mod Fanø og i læ-zonen nord for udbygningen. I området mellem Fanø og udbygningen er der en mindre erosion og ligeledes i en kile syd herfor. I sommerperioden klappes der så store mængder af materiale på klapplads Ø, at der finder en mindre bundopbygning sted. I de beregnede relative ændringer af erosion finder man derfor en erosion på klapplads Ø, idet strømforstærkningen medfører en kraftigere påvirkning og hurtigere spredning af det klappede materiale.

Ved sammenligning af vinter og sommerperioden, ses det, at der er en mindre sedimentation af havnebassinerne i vinterperioden, mens den er større i sommerperioden. Udbygningen og den tilhørende strømforstærkning bevirker at havnesedimentationen øges i de perioder, hvor der klappes materiale på klapplads Ø, mens den mindskes i de perioder, hvor der ikke klappes. I 2018 blev der kun klappet materiale på klapplads Ø i sommerperioden. De øvrige 9 måneder lå den ubenyttet hen.

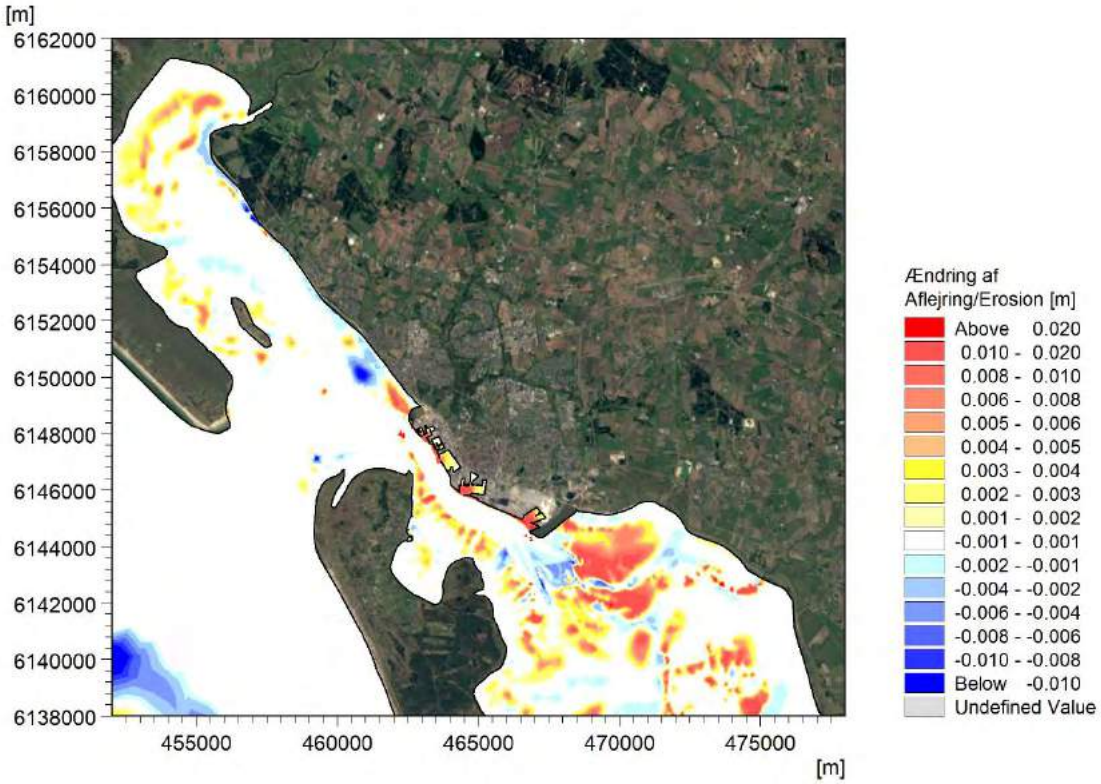
Udbygningen ændrer på sedimentationsforholdene ved Østhavn. Sedimentationen reduceres i det nuværende bassin, mens den forøges i den af udbygningen skabte læ-zone nordvest for den udkragede del af opfyldningen. Området med behov for oprensning vil derfor ændres.



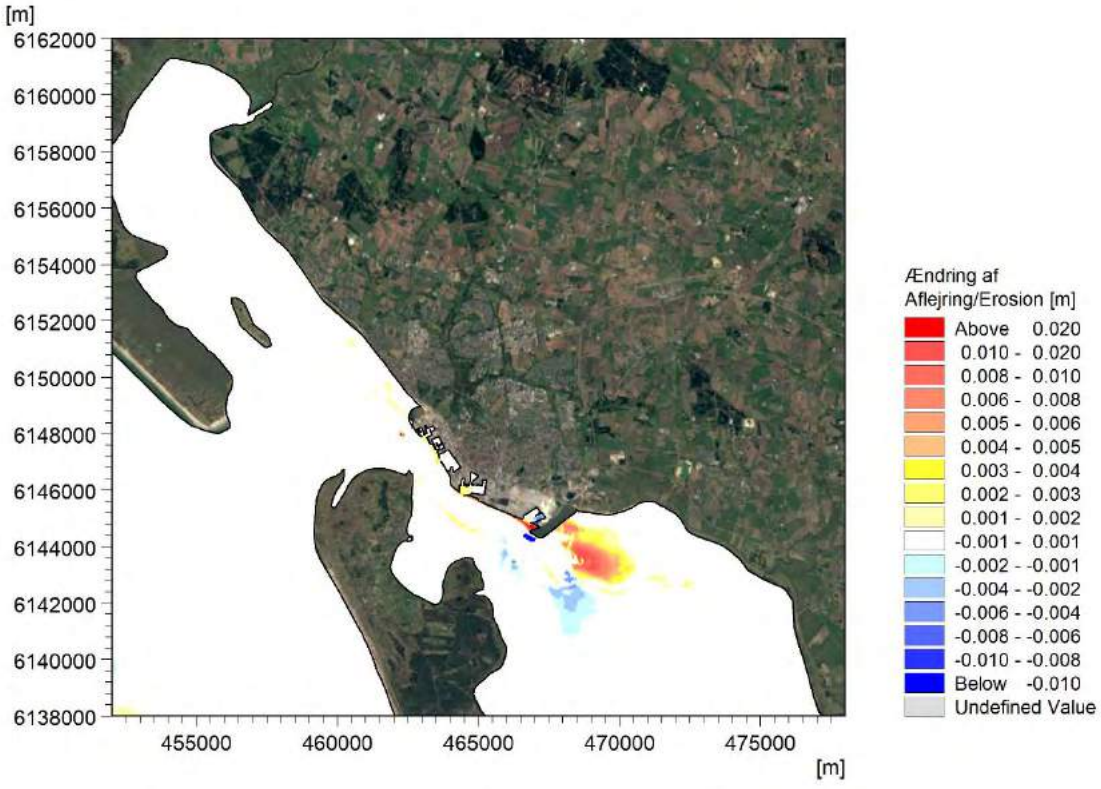
Figur 9-59 Aflejrings- og erosionsmønster i vinterperioden.



Figur 9-60 Ændringer i aflejring og erosion i vinterperioden set i forhold til baseline.



Figur 9-61 Aflejrings og erosionsmønster i sommerperioden.



Figur 9-62 Ændringer i aflejring og erosion i sommerperioden set i forhold til baseline.

9.9 Tidevandsområdets overordnede massebalance

Etapeudbygningen bevirker at tidevandsprismet og bruttovandføringen gennem Grådyb reduceres. Den svækkede dynamik i form af den mindskede udveksling af vand gennem Grådyb fortæller i sig selv ikke noget om, hvordan udbygningen vil påvirke den overordnede massebalance for det finkornede sediment, idet denne er bestemt af, hvor meget af det udefra kommende sediment (fra Nordsøen), der "tabes" inde i tidevandsområdet.

For at få svar på dette spørgsmål er det beregnet med udgangspunkt i de udførte simuleringer, hvor meget finkornet sediment, der akkumuleres inde i Grådyb og Knudedyb tidevandsområde i løbet af henholdsvis vinterperioden og sommerperioden. De beregnede mængder og den fremtidige ændring er angivet i Tabel 9-13 og Tabel 9-14.

Tabel 9-13 Nettoimport af finkornet sediment fra Nordsøen til Grådyb og Knudedyb tidevandsområde i vinterperioden.

Baseline	46.955 tons
Etapeudbygning	56.932 tons
Fremtidig ændring	9.977 tons

Tabel 9-14 Nettoimport af finkornet sediment fra Nordsøen til Grådyb og Knudedyb tidevandsområde i sommerperioden.

Baseline	36.689 tons
Etapeudbygning	44.715 tons
Fremtidig ændring	6.026 tons

Modelberegninger finder derfor, at udbygningen bidrager til en forøget nettoimport af finkornet sediment fra Nordsøen. En import som er vigtig for at opbygningen af vaderne i tidevandsområdet fortsat kan følge med effekterne fra accelererende havspejlsstigninger. Den øgede akkumulation af finkornet sediment må derfor tilskrives de ændrede cirkulationsforhold i området, som udbygningen skaber.

9.10 Påvirkning af havnesedimentation

Esbjerg Havns bassiner virker som en sedimentfælde for det suspenderede materiale, der aflejres under de rolige strømforhold inde i havnen. Havnebassinsedimentation er bestemt af tre fysiske mekanismer:

- Den tidvandsinducerede vandudveksling, hvor sedimentholdigt vand strømmer ind i havnen under stigende vandstand og udfældes som følge af de rolige strømforhold. Under faldende vandstand er sedimentkoncentrationen i havnebassinet lavere end ved stigende vandstand, hvorfor der opstår en nettoophobning af sediment. Tidevandsamplituderne påvirkes ikke mærkbart af udbygningen. En påvirkning af sedimentationen i bassinerne afhænger derfor kun af om etapeudbygningen påvirker turbiditetsniveauet foran havnemundingerne under stigende vandstand.

- Hvirveldannelse ved bassinets munding som drives af tidevandsstrømmen foran havnebassinet. Hvirvlen trækker sedimentholdigt vand ind i den ene side af mundingen og returnere vandet med et lidt lavere sedimentkoncentration når det løber ud i den

modsatte side af mundingen. Etape 5+6 udbygningen fører til en svag reduktion af den årsmidlede bruttostrøm foran havnebassinerne. Da den inducerende kraftpåvirkning svækkes med udbygningen, må man forvente at mundingshvirvlerne også svækkes. Dette bidrag til havnebassinsedimentationen, må derfor forventes at falde som følge af udbygningen.

- Vertikal udveksling forårsaget af densitetsdrevne strømme. Saltholdigheden varierer i sejlrenden foran havnebassinerne henover tidevandscyklus. Ved stigende vandstand presses havvand fra Nordsøen ind gennem Grådyb, således at niveauet af saltholdighed stiger foran havnen, mens det reduceres ved faldende vandstand i takt med at mindre saltholdigt vand fra området ved tidevandsskellet trækkes forbi. Når saltholdigheden i sejlrenden er højere end i havnebassinet, induceres der en densitetsdreven bundstrøm, som trækker sedimentholdigt vand ind i havnebassinet og skubber sedimentfattigt vand ud af havnebassinet ved overfladen. Denne vertikale cirkulation er i stand til at føre det opslæmmede sediment langt ind i havnebassinet. Den vertikale cirkulationsstrøm vender med en svag forsinkelse, når saltholdigheden i havnebassinet overstiger saltholdigheden i sejlrenden. Til dette tidspunkt er sedimentkoncentrationen i havnebassinet faldet, hvorfor der sker en nettotilførsel af sediment. I dybe havnebassiner er denne mekanisme ofte den største bidragsyder til havnesedimentationen.

Den valgte 2D modelbeskrivelse for erosion, aflejring og transport af finkornet sediment, indeholder ikke beskrivelsen af den tunge bundstrøm, som trækker sediment ind i havnebassinerne (idet det er en 3D-effekt), men beskrivelsen indeholder den tidevandsinducerede aflejring, samt bidrag fra hvirveldannelse i havnemundingerne. Da alle tre bidrag skalerer tilnærmelsesvis lineært med sedimentkoncentrationen ud for havnemundingen, kan det forventede forøgede oprensningsbehov estimeres ved en relativ sammenligning af de modelestimerede aflejringsmængder i de enkelte bassiner for henholdsvis baseline og etapeudbygningen. Dog med den lille finesse at de herved fundne mængder er en del mindre end de faktiske oprensningsmængder.

Esbjerg Havn står selv for oprensningen af Østhavn og klapper materialet på klapplads Ø og E, mens Kystdirektoratet står for oprensningen af de øvrige bassiner (Nordhavn, Trafikhavn og Sønderhavn). Kystdirektoratet klapper det finkornede materiale fra havnebassinerne på klapplads F og N. Modelberegningerne har vist at havnesedimentationen i høj grad hænger sammen med hvor der klappes materiale, særligt har klapninger på klapplads Ø en tendens til at øge sedimentkoncentrationen foran bassinmundingerne og derved også mængderne som sedimenteres i bassinerne. I vurderingen er der valgt at tage udgangspunkt i Sønderhavns bassinet, idet dette oprenses af Kystdirektoratet og er placeret tættest på udbygningen.

I den modellerede vinterperiode er der fundet en sedimentationsmængde på 9.907 tons for baseline forhold og 9.224 tons med udbygning, altså en reduktion på 6,9%. I den modellerede sommerperiode, hvor der klappes store mængder i den sidste del af modelperioden på klapplads Ø er der fundet en sedimentationsmængde på 5.613 tons for baseline forhold og 6.449 tons med udbygning, altså en forøgelse på 14,9%. En væsentlig forklaring på forøgelsen i sommerperioden hænger sammen med den strømforstærkning, som udbygningen skaber ved klapplads Ø. Strømforstærkningen medfører at responset fra klappladsen sker hurtigere end i dag. Dvs. at sporene fra klapninger, jf. Figur 7-31 med en etapeudbygning vil udvaskes hurtigere end i dag. Stigningen skyldes derfor til dels at klapningerne på klapplads Ø fandt sted i sidste del af modelperioden og at der derfor ligger et større ”reservoir” tilbage på klapplads Ø i baseline kørslen, som over en længere efterfølgende periode vil udjævne den fundne forøgelse.

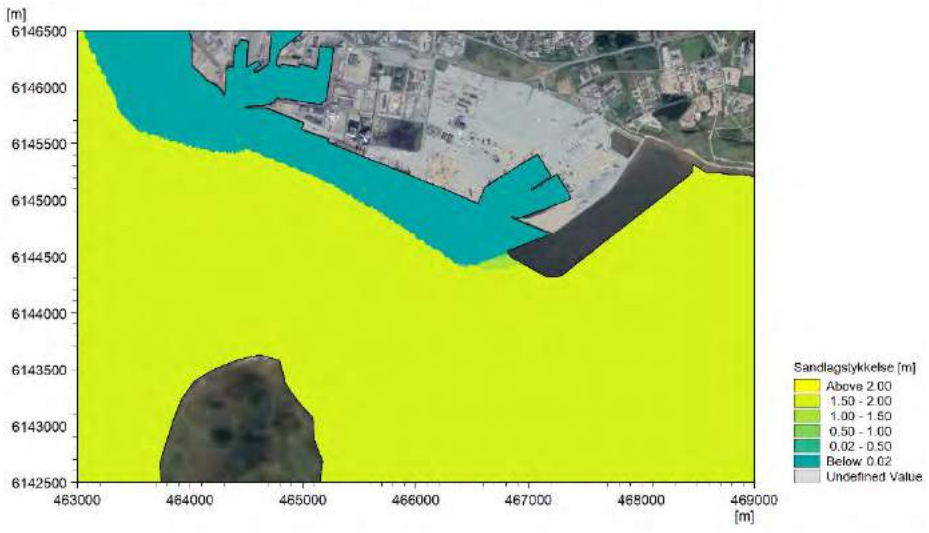
Ser vi et øjeblik bort fra denne effekt og vægter henholdsvis vinterperioden og sommerperioden med 75% og 25%, idet der ikke blev klappet på klapplads Ø på andre tidspunkter end i sommerperioden finder vi følgende nettoeffekt på havnesedimentationen i

Sønderhavnsbassinet: 0,75 x (9924/9907) + 0,25 x (6449/5613) = 0,9885, altså en svag reduktion på omkring 1%. Tager man hensyn til den forsinkelseseffekt der er fra klapningerne på klapplads Ø i sommerperioden, finder man blot en forstærket reduktion af sedimentationsmængden. Det kan derfor konkluderes at udbygningen i værste fald ikke har nogen påvirkning på havnesedimentationen i de bassiner hvor Kystdirektoratet står for oprensningen og i bedste fald vil man opleve en reduktion af oprensningsmængderne.

9.11 Etapeudbygningens morfologiske påvirkning

Batymetrien ændres som følge uddybningen og udvidelsen af sejlrenden, samt uddybningen i det nye bassin i forlængelse af sejlrenden. I tillæg til dette vil strømforstærkningen ud for Etape 5 opfyldningen skabet et øget erosionspres og over tid en mindre sideforskydning af løbet. Den faktiske udvikling vil i høj grad være styret af hvor meget alluvialt materiale, der kan eroderes før der stødes på et hårdt lerlag, som bremser en forsat udvikling. Endelig bliver der klappet materiale i eller meget tæt på de områder som ifølge den morfologiske model er udsat for erosion. Klapning af materiale vil virke dæmpende på en erosion (af det underliggende materiale) og kan derfor også være med til at forklare, hvorfor den modellerede morfologisk udvikling er kraftigere end det som kan observeres med udgangspunkt i historiske pejlinger.

Ved uddybningen af sejlrenden og i det nye bassin ved Etape 5 kommer man ned i det hårde lerlag som er modstandsdygtigt over for erosion. Det er derfor nødvendigt at bruge et opdateret kort for sandlagstykkelser anvendt i modellering af de eksisterende forhold. Det opdaterede kort er vist i Figur 9-63.

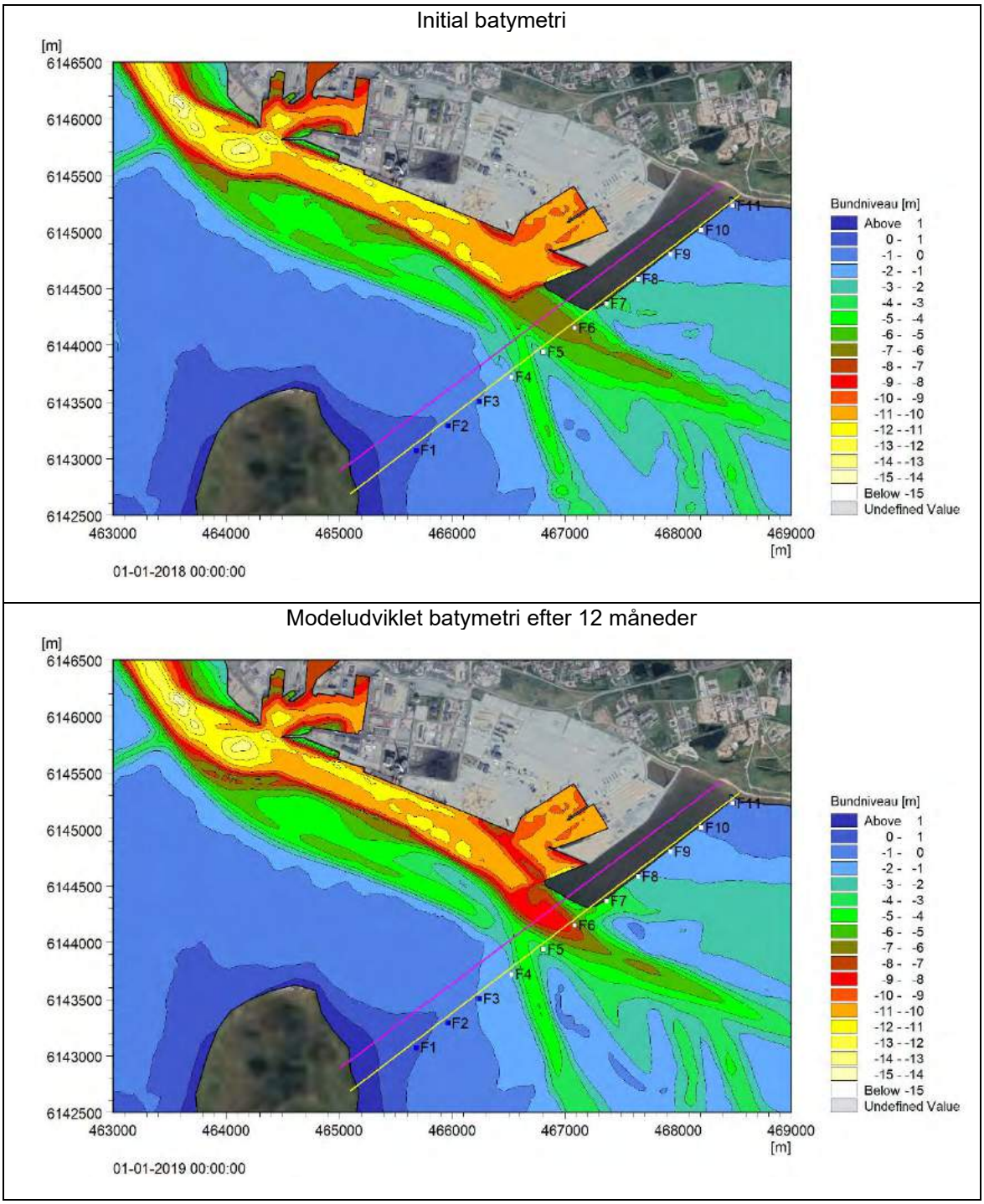


Figur 9-63 Initial sandlagstykkelse anvendt i modelleringen af layout.

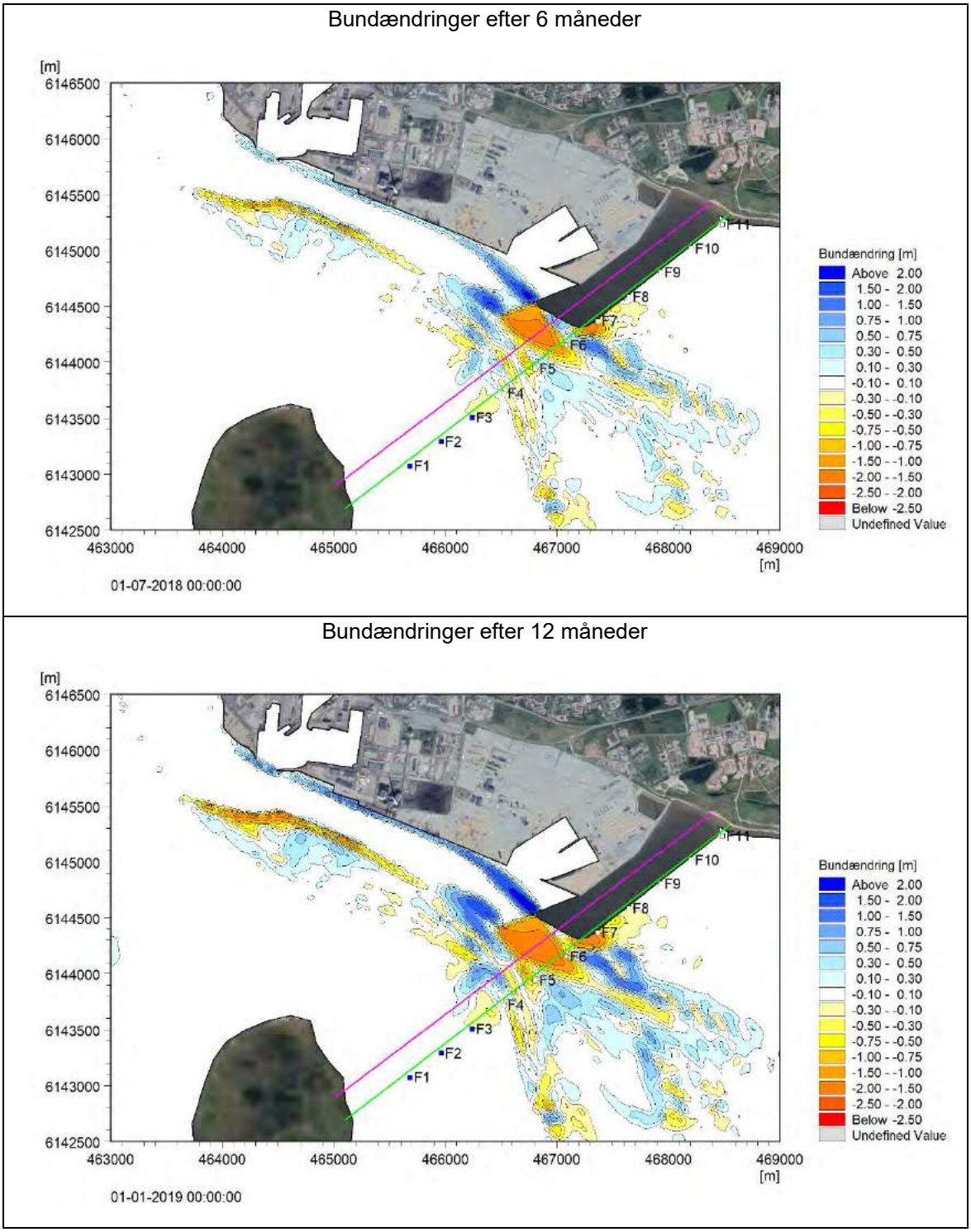
Den morfologiske beregning indeholder, som for baseline, ikke bidrag fra klapninger. Beregningen er udført med udgangspunkt i samme initialbatymetri som for baseline med undtagelse af de uddybede områder og opfyldningen som Etape 5 dækker. I Figur 9-64 er den modellerede morfologiske udvikling af systemet efter et års påvirkning angivet. Det ses, at strømforstærkningen ud for Etape 5 udbygningen forårsager en kraftigere erosion end hvad der blev fundet for baseline. Ydermere er der ligesom for baseline en glatning af initialbatymetrien og erosion på dele af sejlrendens sydlige side.

Samlet set er de morfologiske ændringer i den overordnede batymetri ret beskedne med undtagelse af erosionen i sejlrendens forlængelse ud for Etape 5 opfyldningen. De tilhørende bundændringer efter 6 og 12 måneder er vist i Figur 9-65. Som for baseline finder ændringerne primært sted i de områder, hvor bunden kan bestå af hårdt stift ler eller modvirkes af den løbende tilførsel af materiale fra klapninger. Ydermere er påvirkningerne knyttet til løbene og i

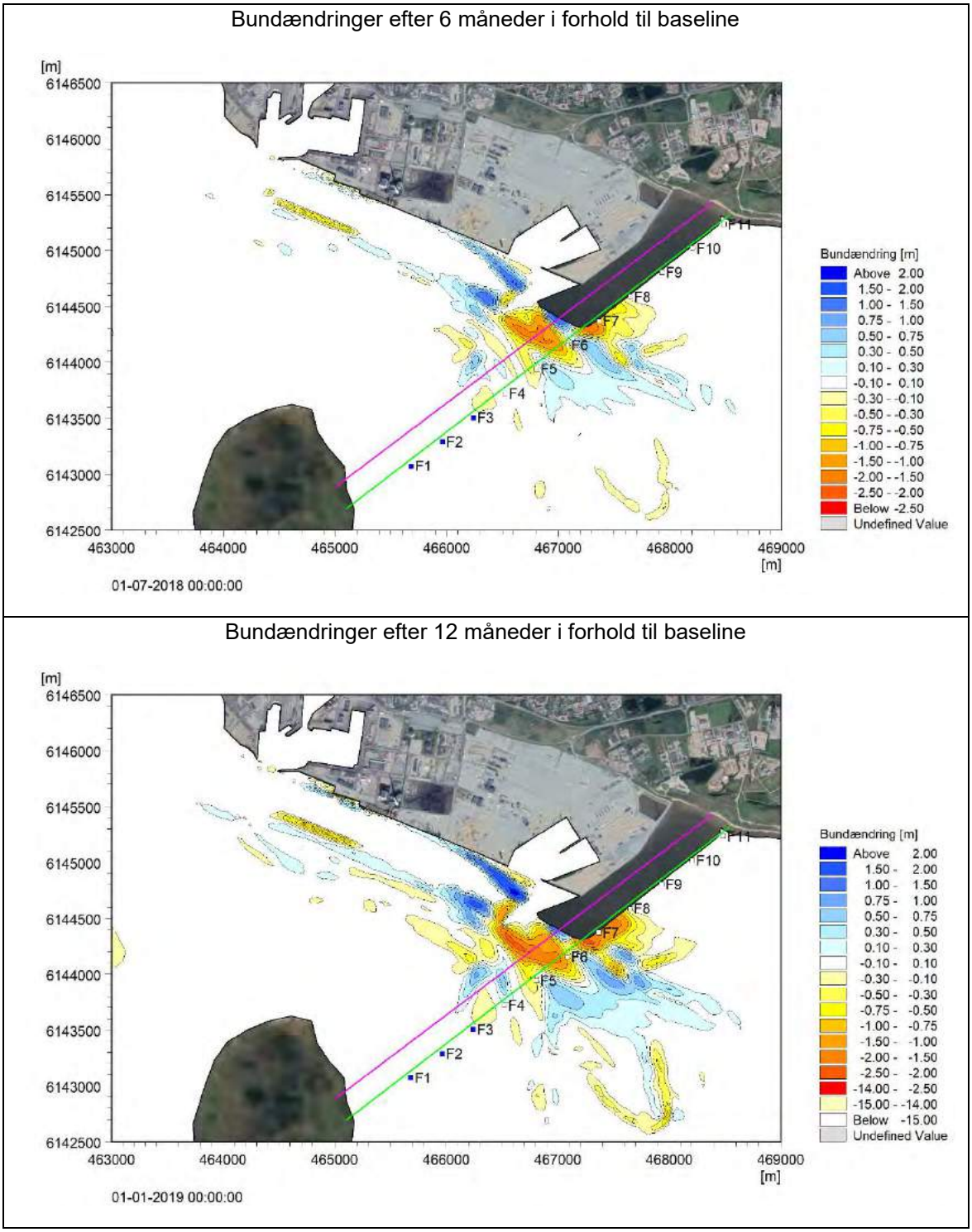
overgangen fra sejlrenden. Der ses ikke nogen egentlig påvirkning på vaderne relateret til en transport af sand. Modellen forudsiger en forøget erosion i området hvor trykledninger for fjernvarme og spildevandkrydser, samt i området hvor 60 KV jordkabel krydser. Pladefundamentet for højspændingsmasten FP6 er ligeledes placeret i dette område. Der er derfor en risiko for at disse ledninger blotlægges.



Figur 9-64 Modelestimeret udvikling af layoutbatymetrien efter hhv. 0 og 12 måneder under antagelse af fuld alluvial bund bestående af fint sand med en mediankorndiameter på 0,2 mm i alle områder med undtagelse af sejlrenden.
Lyserød linje: Trykledning fjernvarme og spildevand. Gul linje: Jordkabel. Højspændings-masters pladefundamenter er angivet med en markør og navngivet F1-F11.



Figur 9-65 Modelestimeret bundændring efter hhv. 6 og 12 måneder. Lyserød linje: Trykledning fjernvarme og spildevand. Grøn linje: Jordkabel. Højspændingsmasters pladefundamenter er angivet med en markør og navngivet F1-F11.



Figur 9-66 Modelestimeret bundændring efter henholdsvis. 6 og 12 måneder og set i forhold til baseline. Lyserød linje: Trykledning fjernvarme og spildevand. Grøn linje: Jordkabel. Højspændings-masters pladefundamenter er angivet med en markør og navngivet F1-F11.

Det skal bemærkes at omfanget af erosion og aflejring hænger sammen. Er omfanget af erosion overvurderet vil omfanget af aflejring ligeledes være overvurderet, idet aflejringer stammer fra det eroderede materiale. Ydermere oprenses der i dele af aflejringsområdet og dette materiale bringes tilbage til systemet ved oprensning og klapning i områder med stor strømpåvirkning. Da erosionen er kraftigere med layoutet end for baseline er der også større sandsynlighed for at erosionen blotlægger hårde lerlag, som vil bremse udviklingen, særligt hvis de er beliggende

højere end det for modelleringen antagne. Den modelestimerede morfologiske udvikling skønnes derfor at være konservativ.

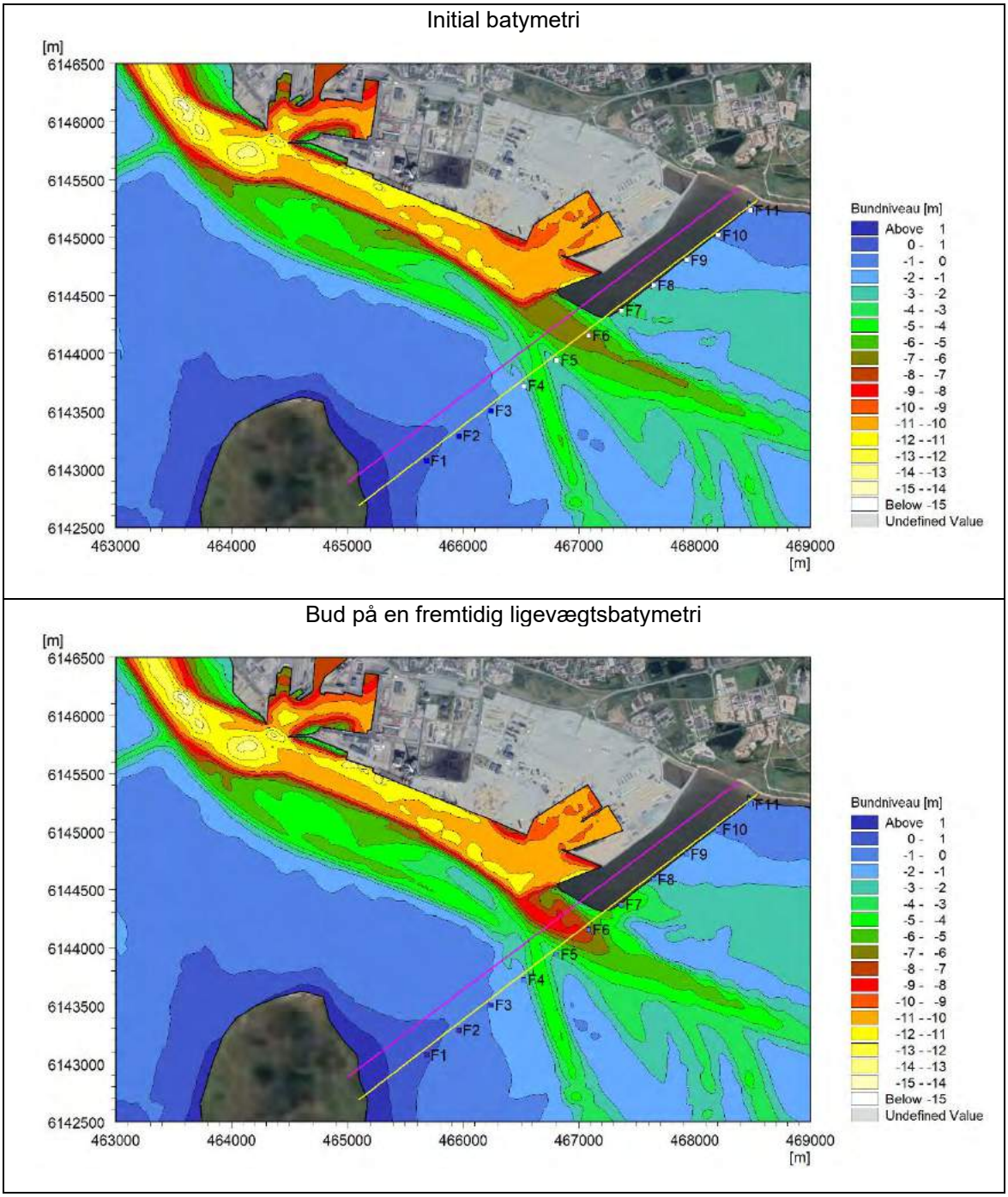
De historiske pejlinger indikerer ikke, at der har fundet nogen signifikant erosion sted i forlængelse af sejlrenden. Det kan derfor være relevant at se på hvor meget bunden ændrer sig i forhold til baseline. De med denne analyse fundne bundændringer efter henholdsvis 6 måneder og 1 år er vist i Figur 9-66. I de to områder, hvor der uddybes er ændringerne manuelt sat til nul (i plottet), da uddybningen i sig selv skaber en stor ændring. Det ses, at påvirkningsområdet skrumper ind ved denne analyse, samtidig med at plottene giver et mere rent billede af udbygningens påvirkning. Det ses blandt andet, at der vil være en tendens til en sideforskydning af løbet forbi Etape 5 udbygningen og erosion på den østlige side, hvor tidevandet dræner af til løbet og sejlrenden. De morfologiske ændringer finder primært sted i den permanent vanddækkede del og i relativt begrænset område. De morfologiske ændringer vil derfor have en beskeden påvirkning på tidevandsområdet, set i forhold til selve opfyldningen, som virker mindskende på det ud- og indstrømmende tidevandsvolumen.

9.11.1 Den fremtidige batymetri

Batymetrien vil tilpasse sig til de ændrede strømforhold relativt hurtigt, særligt i de områder, hvor bunden er alluvial og formbar. De geotekniske boringer og historiske pejlinger fortæller, at der er underliggende hårde lerlag, som er resistente over for ændrede strømforhold og som derfor vil bremse den morfologiske udvikling forudsagt at en fuldt alluvial model. Der er ikke en præcis information om hvor højt de hårde lerlag befinder sig sydøst for udbygningen, men de formodes at ligge relativ højt i den permanent vanddækkede del. Et godt konservativt bud på den morfologiske udviklede ligevægtsbatymetri i driftsfasen findes derfor ved at tage udgangspunkt i batymetrien efter et års alluvial udvikling modregnet udviklingen i baseline batymetrien og renset for aflejringer i sejlrenden, idet disse løbende fjernes i forbindelse med oprensning. Et bud på en sådan batymetri er vist i Figur 9-67.

Ændringerne vil primært være relateret til løbet ud for opfyldningen og syd herfor. Aflejringsmønstret på plateauet syd for sejlrenden ændres svagt, mens vaderne ikke er udsat for erosion af betydning. Der eroderede materiale vil typisk blive aflejret på vaderne lige i den centrale del lige syd for opfyldningen.

Den fremskrevne batymetri har morfologiske ændringer som er kritiske for de krydsende trykledninger og 60 KV jordkablet. De estimerede ændringer har et sådant omfang at ledningerne må forventes at blive blotlagt over en strækning på 200-300 meter, såfremt der ikke gøres noget aktivt for at forhindre dette. Til beskyttelse af ledningerne er der en række muligheder; for eksempel i form af et erosionsbeskyttende dæklag af sten eller geosyntetiske betonmadrasser. Hvad der egner sig bedst, afhænger af hvor dybt ledningerne er placeret under den nuværende bund og om der allerede er en delvis erosionsbeskyttelse af ledningerne.



Figur 9-67 Initial batymetri og bud på en fremtidig batymetri i kvasi-stationær ligevægt. Lyserød linje: Trykledning fjernvarme og spildevand. Gul linje: Jordkabel. Højspændingsmasters pladefundamenter er angivet med en markør og navngivet F1-F11.

10 Referencer

/1/ https://arealinformation.miljoeportal.dk/html5/index.html

/2/ Kystdirektoratet, 2006. Morfologisk udvikling i Vadehavet, Grådybs tidevandsområde og Skallingen. Kystdirektoratet, transport- og energiministeriet.

/3/ Sørensen T.H., Bartholdy J., Christiansen C., Pedersen, J.B.T, 2006. Intertidal surface type mapping in the Danish Wadden Sea. Marine Geology 236, 87-99.

/4/ Statsadministrationen Esbjerg under Kyst-Havnesamarbejdet August 1993. Miljømæssig vurdering af uddybning af Grådyb, Delrapport Nr. 7, Feltresultater. Dynamiske målinger, manuelle registreringer.

/5/ Statsadministrationen Esbjerg under Kyst-Havnesamarbejdet August 1993. Miljømæssig vurdering af uddybning af Grådyb, Delrapport Nr. 8, Sedimenttyper.

/6/ Fredsøe, J. og Deigaard R, 1992. Mechanics of coastal sediment transport. Advanced Series on Ocean Engineering – Volume 3, s. 188-200.

/7/ Rijn, L.C. van, 1984. Part 1: Bed load transport. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE no. 10.

/8/ Rijn, L.C. van, 1984. Part 2: Suspended load transport. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE no. 11.

/9/ DHI, 2005. Modelberegning af finkornet sedimenttransport i Grådybs tidevandsområde. Projektnummer 52755.

/10/ Miljø- og Fødevareministeriet, Kystdirektoratet, 2018. Højvandsstatistikker 2017, februar 2018.

Sedimentspredning ved klapning

Esbjerg Havn. Etape 5 - uddybning

ESBJERG HAVN

27. FEBRUAR 2020

Indhold

1	**Indledning**	**3**
2	**Forhold ved klappladsen**	**4**
3	**Uddybningsmængder**	**7**
4	**Sedimentkarakterisering**	**8**
5	**Spredning ved tidligere klapning**	**10**
6	**Spredning af det klappede materiale**	**12**
6.1	Antagelser ved klapberegninger	12
6.2	Klapplan	12
6.3	Præsentation af Klapmodel	13
6.3.1	Koncentration og spredning i nærfeltet	14
6.3.2	Spredning i fjernfeltet	16
6.4	Samlet spredning og sedimentation	17
6.4.1	Sedimentkoncentrationen midlet over klapperioden	17
6.4.2	Tidsserier med sedimentkoncentrationer	18
6.4.3	Dage med koncentrationer større end 10 mg/l	21
6.4.4	Samlet sedimentation efter endt klapning	23
6.5	Spredning af aflejret sediment	25
7	**Bibliografi**	**25**

Bilag A: Miljømæssig vurdering af uddybning af Grådyb. Delrapport 8 Sedimenttyper

Bilag B: Esbjerg Ny Sydhavn. Geoteknisk undersøgelse

Projekt nr.: 230188
Dokument nr.: 1231843430
Version 4
Revision

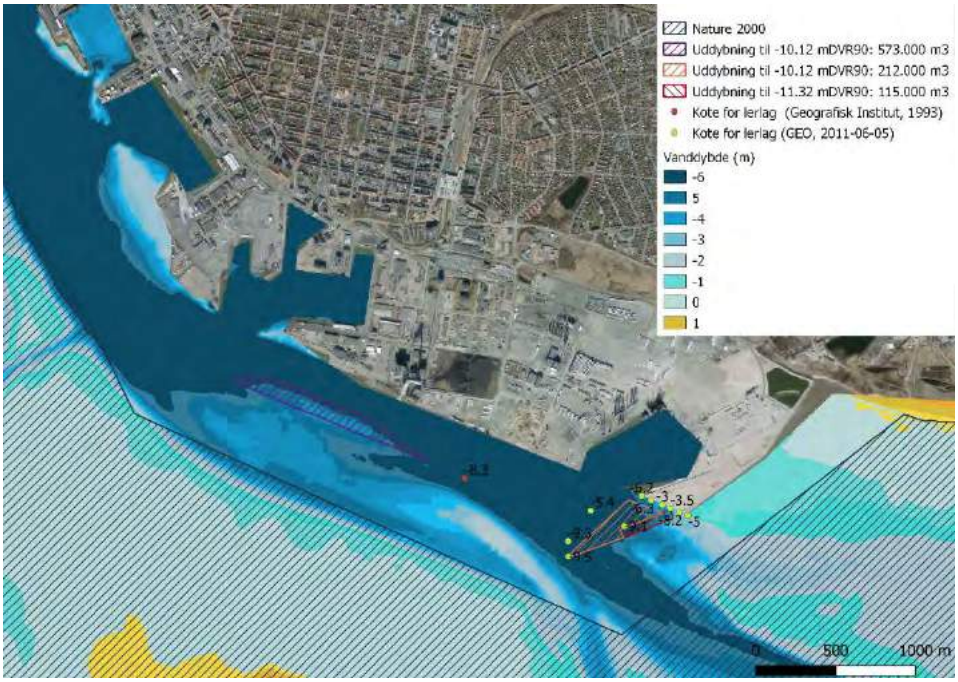
Udarbejdet af SSC
Kontrolleret af KLBU/JAD
Godkendt af JAD

1 Indledning

I forbindelse med udvidelsen af Esbjerg Havn med etape 5, skal der foretages uddybning henholdsvis langs sejlrenden på ca. 570.000 m^3 og langs de nye kajer på 330.000 m^3 som vist i Figur 1.1.

Denne rapport redegør for spredningen under klapningen af det afgravede materiale på 2 forskellige klappladser i Nordsøen: Klapplads 2B-Vesterhavet og Klapplads 3B-Vesterhavet, Figur 2.1.

Under afgravningen spredes der typisk 2-5 % af det afgravede sediment i vandsøjlen, dels i forbindelse med selve graveprocessen, og dels når det afgravede materiale bringes op gennem vandsøjlen til klapprammen. Den klappede mængde er derfor tilsvarende mindre svarende til ca. 865.000 m^3.



Figur 1.1: De tre uddybningsområder.

Ved klapningen tabes igen ca. 2-5 % af sedimentet til vandsøjlen, når klapprammen åbnes, og sedimentet falder ned gennem vandsøjlen. Den resterende del af klapmaterialet når havbunden på klappladsen, hvorfra den spredes med bølger og strøm.

Under klapningen vil sand- og grusfraktionerne (ikke-kohæsive fraktion) hurtigt sedimentere ud på klappladsen, mens de fine ler- og fint silt-fraktioner (kohæsive fraktioner) vil holde sig i suspension og blive ført længere væk af strømmen og væk fra klappladsen.

Spredning af det klappede materiale, der når bunden, afhænger af strømhastigheden og sedimenttype. Ved små strømhastigheder og ved groft sediment (sand, grus) eller fed sammenhængende ler vil sedimentet aflejres på klappladsen.

Ved store strømhastigheder og ved fint suspenderet eller flydende sediment (silt og ler) vil det klappede materiale blive transporteret væk fra klappladsen langs bunden i en sedimentpøl.

Vurderingen af spredningen af det klappede materiale i nærfeltet, der når klappladsens bund, sker ved hjælp af den af NIRAS og Flemming Bo Pedersen udviklede "Klapmodel" (Pedersen & Niras A/S, 2012). Til beskrivelse af spredningen af sedimentet udenfor nærfeltet, anvendes en partikelmodel som anvender strømhastigheder fra en MIKE21-HD-model. I denne model betragtes sedimentet som frie partikler, der langsomt falder til bunds som funktion af deres faldhastighed, mens partiklerne spredes med strømmen.

2 Forhold ved klappladsen

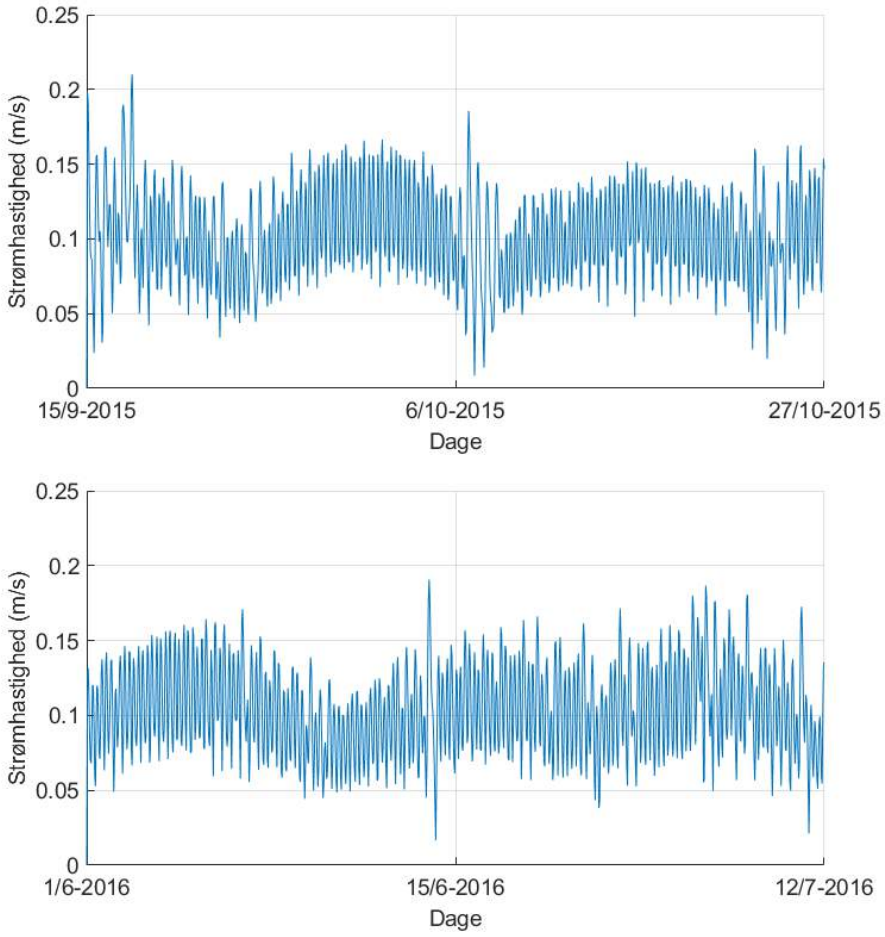
Klapplads 2B-Vesterhavet er beliggende cirka 5,7 km øst for Skallingen, mens Klapplads 3B-Vesterhavet er placeret 7,7 km øst for Fanø, som vist i Figur 2.1. Klappladsernes samlede areal udgør henholdsvis ca. 8,9 km^2 og 5,2 km^2, (Miljø og Fødevareministeriet, 2019). Vanddybden er ifølge søkort omkring 10 m, (Kort og Matrikelstyrelsen, 2007). Klappladsen ligger op ad Natura 2000 området *"Vadehavet med Ribe Å, Tved Å og Varde Å vest for Varde"*, Figur 2.1.

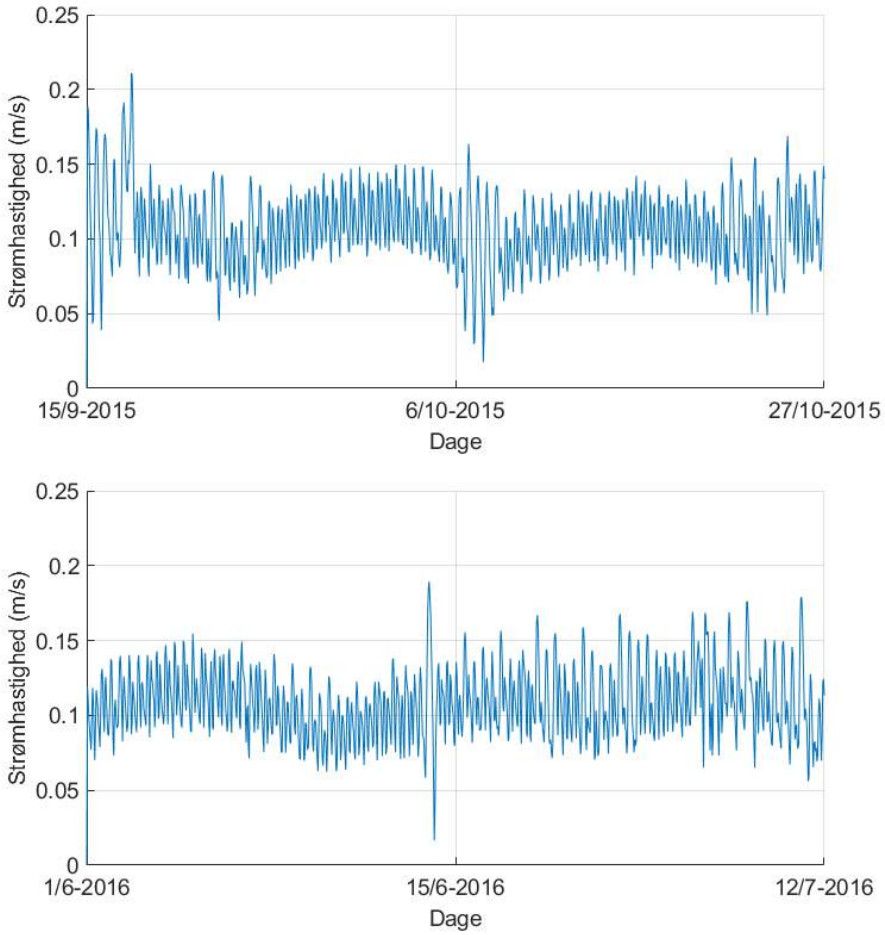
Figur 2.1: Klapplads 2B-Vesterhavet og 3B-Vesterhavet. Klappladsen ligger op ad et Natura 2000 område markeret med grøn skravering.

Strømmen ved klappladsen varierer med tidevandet, se Figur 2.2 og Figur 2.3, som viser strømhastigheden ved de to klappladser i en periode på 46 dage i september-november 2015 og i en periode med samme længde i juni-juli 2016. Strømhastigeden ved Klapplads 2B-Vesterhavet (Figur 2.2) er større end strømhastigheden ved Klapplads 3B-Vesterhavet (Figur 2.3).

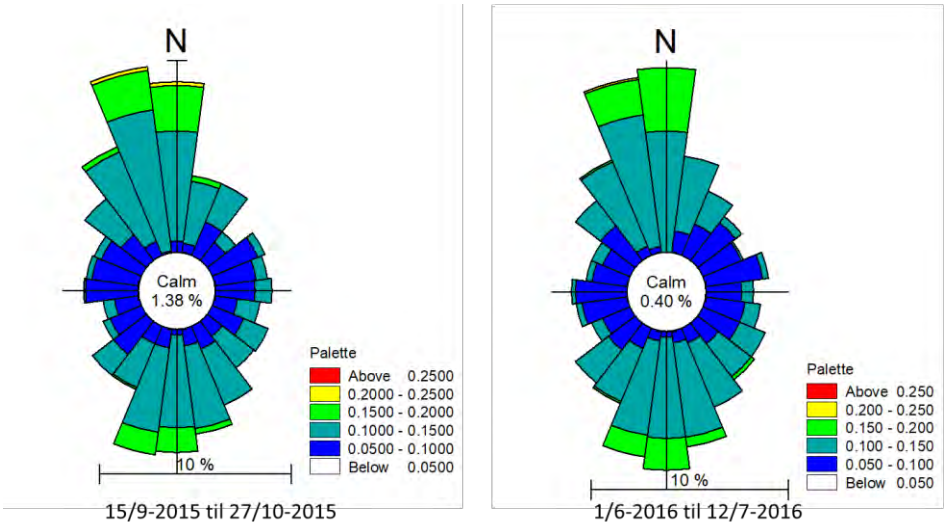
Af strømroserne fra Klapplads 2B-Vesterhavet vist i Figur 2.4, ses det, at strømretningen primært er nord-sydlig retning, og at strømhastigheden i nordlige retning er lidt kraftigere i vinterperioden.

Figur 2.2: Strømhastighed ved klapplads 2B-Vesterhavet i september-november 2015 og i juni-juli 2016





Figur 2.3: Strømhastighed ved klapplads 3B-Vesterhavet i september-november 2015 og i juni-juli 2016



Figur 2.4: Stømrose ved Klapplads 2B-Vesterhavet i september-november 2015 og i juni-juli 2016

3 Uddybningsmængder

Esbjerg Havn har oplyst en samlet uddybningsmængde på i alt 800.000 m^3, jf. Figur 1.1:

a) Sejlrende til kote -10,12 mDVR90: 550.000 m^3
b) Foran Etape 5 til kote -10,12 og -11,32 mDVR90: 250.000 m^3

I disse mængder indgår en overdybde på 0,2 m. Dvs. der uddybes til en kote 0,2 m lavere end de angivne koter ovenover.

NIRAS har ud fra pejlingerne fra 2019 beregnet uddybningsmængderne og får følgende mængder (se også Figur 1.1):

i) Sejlrende til kote -10,12 mDVR90: 474.000 m^3
ii) Foran Etape 5 til kote -10,12 mDVR90: 173.000 m^3
iii) Foran Etape 5 til kote -11,32 mDVR90: 96.000 m^3

I mængdeberegningen er der tilføjet 0,2 m i overdybde som sikkerhed. Desuden er der langs de "åbne" rande antaget en sikkerhedszone på 5 meters bredde, hvor der uddybes til de angivne koter plus 0,2 m i overdybde. Som det ses, er den af NIRAS beregnede uddybningsvolumen for sejlrenden 76.000 m^3 lavere end oplyst af Esbjerg Havn, mens uddybningsvolumenet foran Etape 5 er 19.000 m^3 højere end oplyst af Havnen.

Ud fra geotekniske boringer er det fundet, at der ligger et meget kompakt lerlag i kote ca. -8,3 m DVR90, (Geografisk Institut, Jesper Batholdy, 1993) langs grænsen til uddybningsområdet ved sejlrenden (se Figur 1.1 for placering af boringen). Over lerlaget ligger der sandaflejringer. I beregningerne af hvor meget sand og hvor meget kompakt ler der skal uddybes langs sejlrenden, forudsættes det, at lerlaget fortsætter ind under det planlagte uddybningsområde i samme dybde.

Foran etape 5 er der ud fra GEOs boreprofiler udført interpolation mellem lerlagets dybder inde i de to uddybningsområder foran Etape 5. Ud fra dette er det fundet, at lerlaget ligger fra kote -4,4 til -9,5 m DVR90.

Uddybningsmængderne fordelt på sand og ler er dermed fundet til:

a) Sejlrende til kote -10,12 mDVR90: 474.000 m^3
   i) Sand: 277.000 m^3
   ii) Ler: 197.000 m^3
b) Foran Etape 5 til kote -10,12 mDVR90: 173.000 m^3
   i) Sand: 47.000 m^3
   ii) Ler: 126.000 m^3
c) Foran Etape 5 til kote -11,12 mDVR90: 96.000 m^3
   i) Sand: 14.000 m^3
   ii) Ler: 82.000 m^3

Det er i fællesskab med Esbjerg Havn besluttet, at der i klapberegningerne klappes 900.000 m^3. Det vil sige at havnens udregnede mængde øges med 100.000 m^3 for at inkludere en form for usikkerhed i klapmængden.

De af NIRAS udregnede mængder, øges derfor med 20 %. Det giver en samlet uddybningsmængde på 900.000 m^3.

Fordelingen mellem sand og ler sker som foreslået ovenfor, hvorved der fremkommer følgende mængder sand og ler.

c) Sejlrende til kote -10,12 mDVR90: 573.000 m^3
   iii) Sand: 317.000 m^3
   iv) Ler: 256.000 m^3

d) Foran Etape 5 til kote -10,12 mDVR90: 212.000 m^3
   v) Sand: 57.000 m^3
   vi) Ler: 155.000 m^3

d) Foran Etape 5 til kote -11,32 mDVR90: 115.000 m^3
   i) Sand: 14.000 m^3
   ii) Ler: 101.000 m^3

4 Sedimentkarakterisering

Sedimentkarakteriseringen foretages på baggrund af bundprøver fra anlægsområdet, (Geografisk Institut, Jesper Batholdy, 1993) og (GEO, 2011-06-05) vedlagt som bilag A og B.

Uddybningsmængderne er delt op i henholdsvis: ikke-kohæsivt sand og kohæsivt ler.

Leret antages at have en middelkornstørrelse på 0,001 mm. Fra (Geografisk Institut, Jesper Batholdy, 1993) er det angivet, at sandet ved Boring 1, placeret øst for det vestlige uddybningsområder (se Figur 1.1) har en middelkornstørrelse på 0,25 mm. I forbindelse med dette studie er der indhentet oplysninger om bundsedimentet sammensætning i nærområdet af den planlagte udbygning, (Bilag x2

(DHI, 2020)). Sedimentprøverne viser en kornstørrelse på omkring 0,2 mm i uddybningsområdet ved sejlrenden. I beregningerne antages det derfor, at sandet har en middelkorndiameter på 0,2 mm.

Ifølge de geotekniske boringer fra (GEO, 2011-06-05) har sandet og leret omkring uddybningsarealerne en in situ densitet på henholdsvis 2.040 kg/m^3 og 1.840 kg/m^3. I beregningen anvendes dog en densitet på 1.600 kg/m^3 for sandet, da det forventes, at sedimentet opblandes med vand ved afgravning.

Ifølge (Geografisk Institut, Jesper Batholdy, 1993) har leret i Boring 1 (og 2) et glødetab på 13,5 %. I boreprøverne A-C og L fra (GEO, 2011-06-05) beskrives det også, at leret indeholder organisk materiale, dog er glødetabet ikke oplyst. I beregningerne anvendes derfor et glødetab på 13,5 %.

I Boreprøve A-C og L fra (GEO, 2011-06-05) og i boreprøverne fra (GEO, 2011-06-05) angives et vandindhold i leret på omkring 30 %. Dette anvendes også i analyserne.

Tørdensiteten er udregnet fra in situ densiteten og vandindholdet og er fundet til 1.200 kg/m^3.

Faldhastigheden for en enkelt partikel er angivet i Tabel 4.1 og beregnes som

$$w_{s,p} = \frac{(s-1)g{d_{50}}^2}{18\nu},$$

hvor s=2,65 er tørstoffets relative densitet i forhold til vandets, g = 9,81 m/s^2 er tyngdeaccelerationen, d_{50} er mediankornstørrelsen og ν=1,307×10^{-6} m^2/s er vandets kinematiske viskositet ved 10°C.

Tabel 4.1: Sand og lerfraktionens faldhastighed.

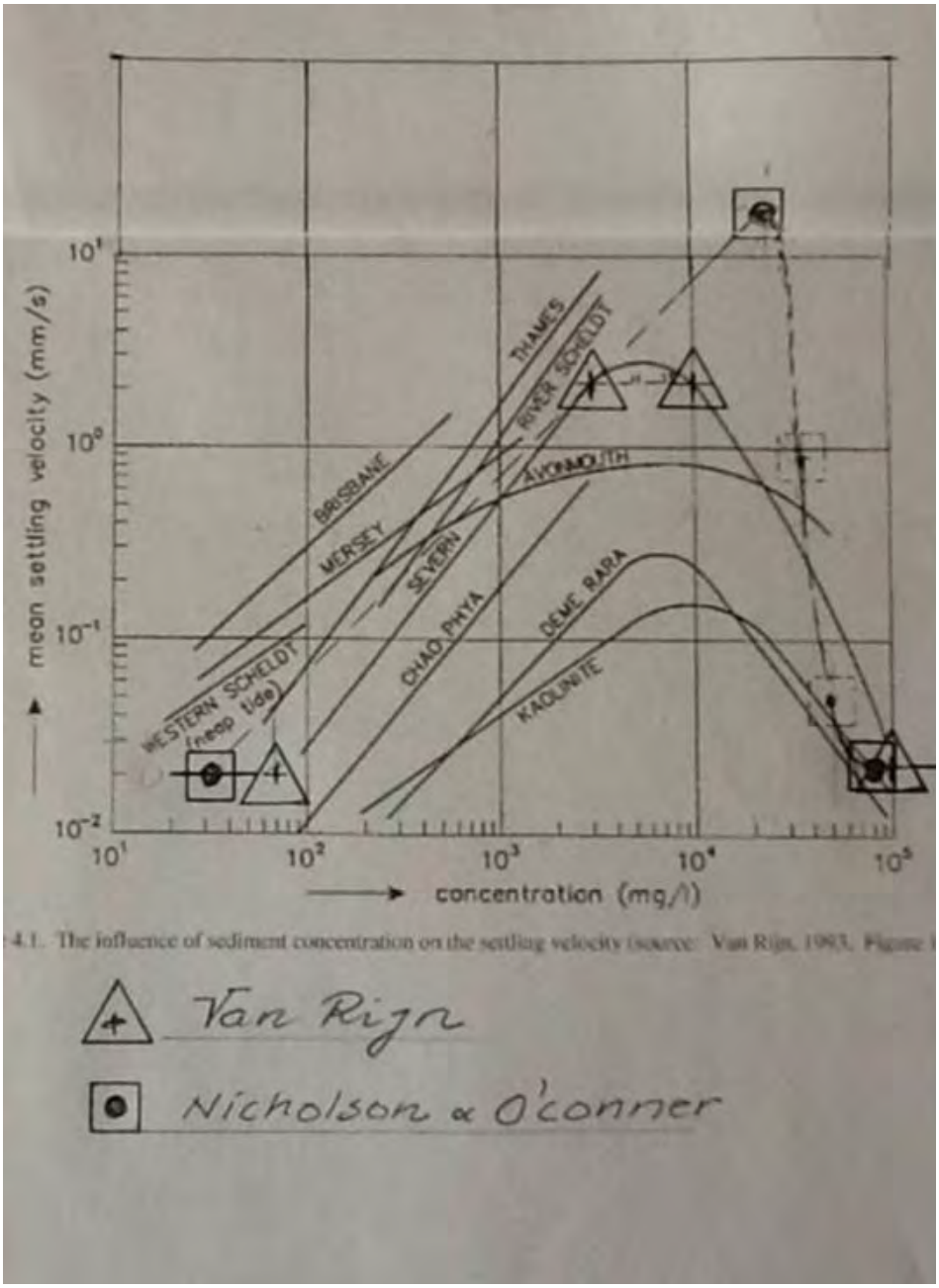
	Sand	Ler
Middelkornstørrelse (mm)	0,2	0,001
Faldhastighed (mm/s)	48	7,8*10^{-4}

For høje koncentrationer af ler samles partiklerne i større fnug kaldet flokkulering. Den egentlige faldhastighed er derfor større ved høje koncentrationer. Der findes forskellige teorier for forholdet mellem sedimentkoncentration og faldhastighed. Ifølge både Van Rijn og Nicholson & O'Connor er sammenhængen lineær for koncentrationer lavere end 1 kg/m^3, som angivet i Figur 4.1. Kurven er i nærværende analyser tilnærmet med følgende udtryk:

$$w_{s,flok} = 3 \cdot 10^{-4}C + 30 \cdot 10^{-7}$$

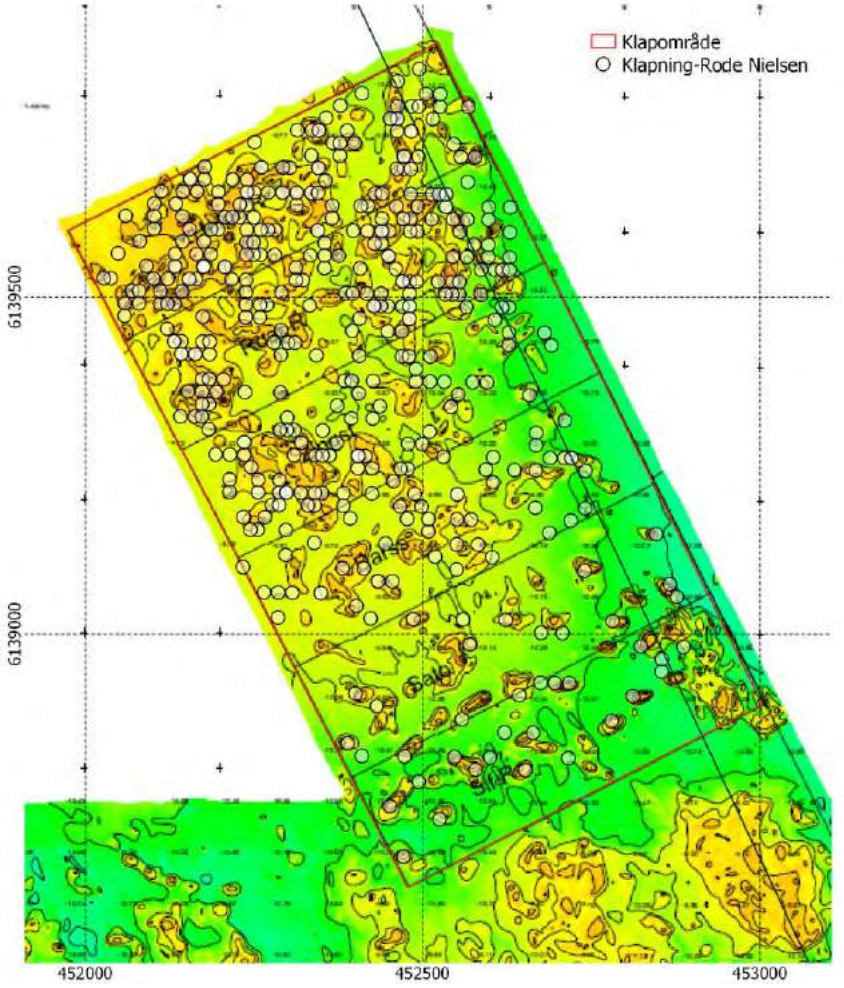
Den største af de to faldhastigheder, $w_{s,p}$ og $w_{s,flok}$ anvendes i klapberegningerne.

Figur 4.1: Faldhastighed som funktion af koncentrationen for kohæsivt materiale.



5 Spredning ved tidligere klapning

I forbindelse med Etape 3 og Etape 4 udvidelse af Esbjerg Østhavn har Esbjerg Havn fået klappet sediment på klapplads 3B mellem 2011 og 2013. Kystdirektoratet foretog en pejling af klappladsen i juni 2011. I februar-april 2013 klappede Rode Nielsen for Esbjerg Havn i alt 378.358 m^3 ler i området vist i Figur 5.1. Efter endt klapning udførte Rode Nielsen et outsurvey, der viser (Figur 5.1) mange sedimentbunker på havbunden fra klapningen. I den sydlige del af området, hvor klapositionerne er mere spredt end i den nordlige del, er det muligt at identificere alle klapningerne på havbunden. Dette indikerer, at en stor del af det lerede sediment tilsyneladende forbliver på klappladsen efter klapning.



Figur 5.1: Outsurvey foretaget af Rode Nielsen i 2013. I figuren er alle klappositioner også angivet.

Klapområdet er en lille del af Klapplads 3B, som angivet nedenunder.

Ud fra opmålingen i 2011 og 2013 er det muligt at beregne ændringen i bathymetrien og dermed undersøge, hvor stor en mængde af det klappede materiale, der er spredt væk fra klappladsen. Kystdirektoratet har ikke opmålt hele området, men 3 baner på langs af området af en bredde på cirka 80 m. I beregningen er der udført lineær interpolation mellem de opmålte baner. Ændringen i bathymetrien mellem 2011 og 2013 giver et volumen på 404.000 m^3. Dette er 6 % mere sediment end der ifølge Esbjerg Havn er klappet. Forskellen skyldes, at sedimentet, når det klappes og falder til bunds, udvider sig. Sedimentet fylder derfor mere efter aflejring.

Analysen viser, at det klappede materiale tilsyneladende forbliver længe på klappladsen og ikke spredes under og lige efter klapningen. Dette skyldes som tidligere nævnt, at leret er meget fedt og har stor sammenhængskraft, som gør, at vand ikke kan trænge ind og skille materialet ad og bringe det i re-suspension. Når leret falder til bunds, er det derfor for tungt til at blive spredt.

Til trods for, at beregningerne antyder, at der ikke foregår noget spild fra det aflejrede ler-materiale lige efter klapningen, er det af sikkerhedsmæssige grunde valgt

at medtage et mindre spild svarende til 5 % af aflejringsmængden i spredningsberegningerne.

6 Spredning af det klappede materiale

I dette kapitel beregnes spredning af det klappede materiale.

6.1 Antagelser ved klapberegninger

Baseret på sedimentkarakteriseringen og analyse af tidligere klapninger er følgende antagelser anvendt i klapberegningerne:

- Sandfraktionen vil falde til bunds lige efter klapning, da kornstørrelsen er for stor til at materialet kan holdes i suspension. Under klapning vil 5 % af materialet blive tabt i vandsøjlen. Dette vil ligeledes falde til bunds inde på klappladsen.
- Når leret klappes, hænger det sammen i store klumper. Det er derfor begrænset hvor meget sediment, der vil blive spredt i vandsøjlen, mens leret falder ned mod bunden. Det antages derfor kun at 3 % af leret tabes i vandsøjlen.
- Med udgangspunkt i spredningsanalysen fra tidligere klapninger i kapitel 5 antages det, at leret falder til bunds i store klumper og sedimenterer i bakkeøer. Når leret når bunden antages det at 5 % af leret løsrives fra lerklumperne og spredes væk fra klappladsen i vandsøjlen lige efter klapningen. De 5 % er et konservativt tal, men anvendes for at undersøge worst case situationen.
- I alt spredes således 8 % af det klappede ler væk fra klappladsen, 3 % fra vandsøjlen og 5 % fra bunden.

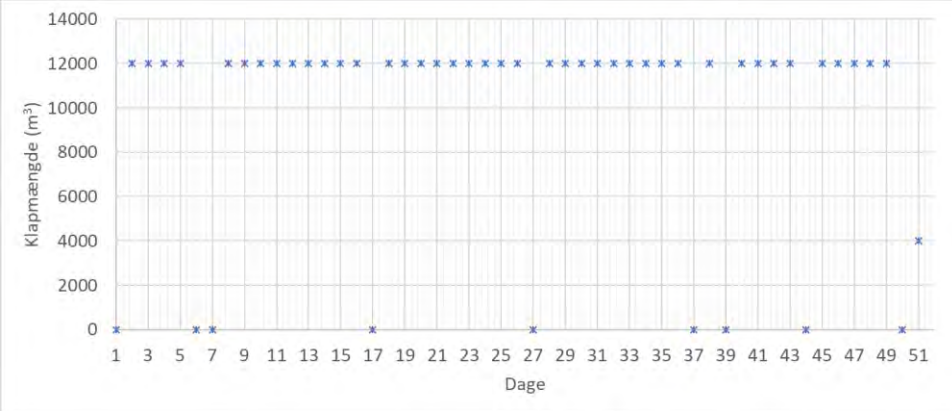
6.2 Klapplan

I alt skal 900.000 m^3 materiale afgraves, hvoraf henholdsvis 3 % og 5 % af ler og sand tabes i vandsøjlen under uddybningen. Der skal derfor klappes 865.000 m^3 sediment. Der afgraves 12.400 m^3/døgn. Det antages, at 1.000 m^3 klappes ad gangen, 12 gange i døgnet.

Til uddybningsarbejdet benyttes der to uddybningsfartøjer, hvoraf det ene benyttes til afgravning af sand, mens det andet anvendes til afgravning af ler. Begge uddybningsfartøjer antages at have en gravekapacitet på 12.400 m^3/dag. Afgravningen af sandet, som ligger øverst oven på lerlaget, startes først hvorefter afgravningen af lerlaget kan påbegyndes med en dags forskydning. De to afgravningen foretages derfor næsten samtidigt hvilket opfattes som et worst case afgravningsscenarie.

Hvis der uddybes og klappes uafbrudt, vil uddybningen vare omkring 42 dage. Der må dog forventes perioder med dårligt vejr, eller at materiel skal repareres/vedligeholdes. Der antages liggetid 20 % af. Sandafgravningen tager derfor 38,3 dage, hvoraf de 7 dage udgør liggetid, mens afgravning af leret fjernes over en periode på 50,3 dage, hvoraf de 9 dage udgør liggetid. Da sandfraktionen vil sedimentere inde på klappladsen, betragtes kun klapplan for lerfraktionen i det næste.

Det vil tage 50 ¼ dag at klappe 496.000 m^3 ler inkl. 20 % vejrlig. Klapplanen er vist i Figur 6.3. Ved hver klapning er det kun cirka 8 % sediment, der spredes væk fra klappladsen.



Figur 6.6.1: Klapplan for lerfraktionen. De dage, der klappes, klappes der 1.000 m³ hver anden time.

Det antages, at klapningen starter ved midnat og derefter foregår hver anden time.

Der betragtes to perioder, svarende til de to perioder, der er vist strømhastigheder for i kapitel 2:

Vinter: 15/9-2015 kl. 00.00 til 04/11-2015 kl. 06.00 (inklusiv)

Sommer: 1/6-2016 kl. 00:00 til 21/7-2016 kl. 06.00 (inklusiv)

Beregningen er både udført for klapning på Klapplads 2B-Vesterhavet og 3B-Vestehavet.

6.3 Præsentation af Klapmodel

Klapmetoden, som anvendes i de følgende beregninger, er gradvis klapning fra pram, hvor tømningen af prammen strækker sig over 60 s, som illustreret i Figur 6.2.

I Klapmodellen betragtes hver klapning og spredningen af klapmaterialet individuelt.

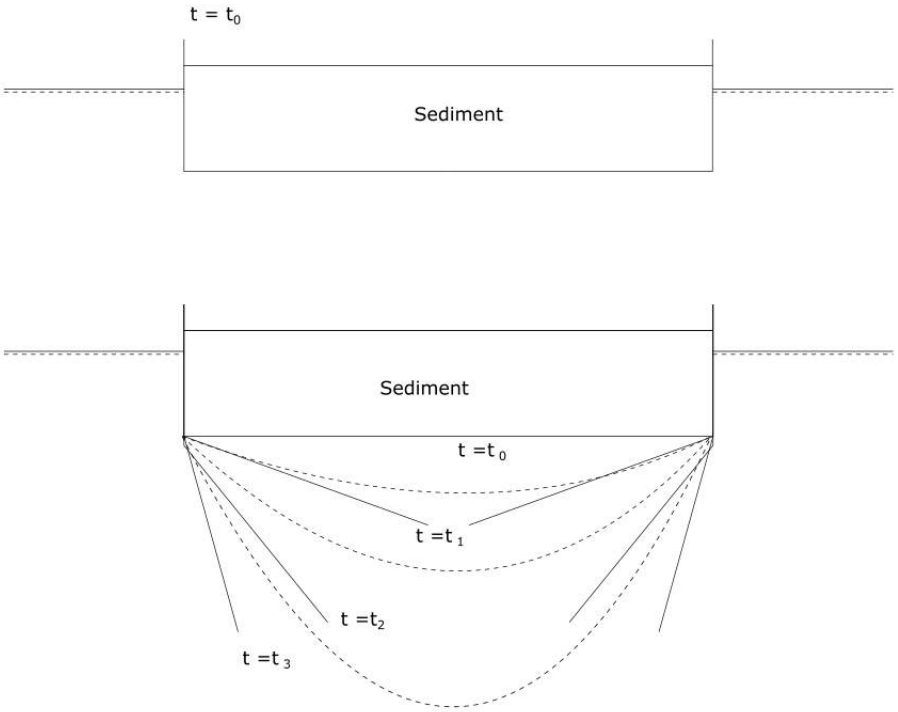
Ved hver klapning findes strømhastigheden fra en MIKE21FM-HD-beregning af strømforholdende omkring klappladsen. Ud fra dette kan det beregnes, hvordan sedimentpølen vil bevæge sig ved at opstille en model til løsning af 1. orden differentialligningen

$$u = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_{i+1} - x_i}{t_{i+1} - t_i}$$

Her er *u* hastigheden, Δx er afstanden og Δt et tidskridt. Til et tidspunkt (t_i) aflæses strømhastighed og retning på sedimentpølens nuværende position (x_i). En ny position af sedimentpølen til næste tidskridt kan dermed beregnes ved

$$x_{i+1} = u_i(t_{i+1} - t_i) + x_i = u_i \Delta t + x_i$$

Tidskridtet i modellen er 1 time. 1. ordens differentialligningen løses vha. en fjerde ordens Runga-Kutta metode.



Figur 6.2: Illustration af hvordan pram tømmes under gradvis tømning.

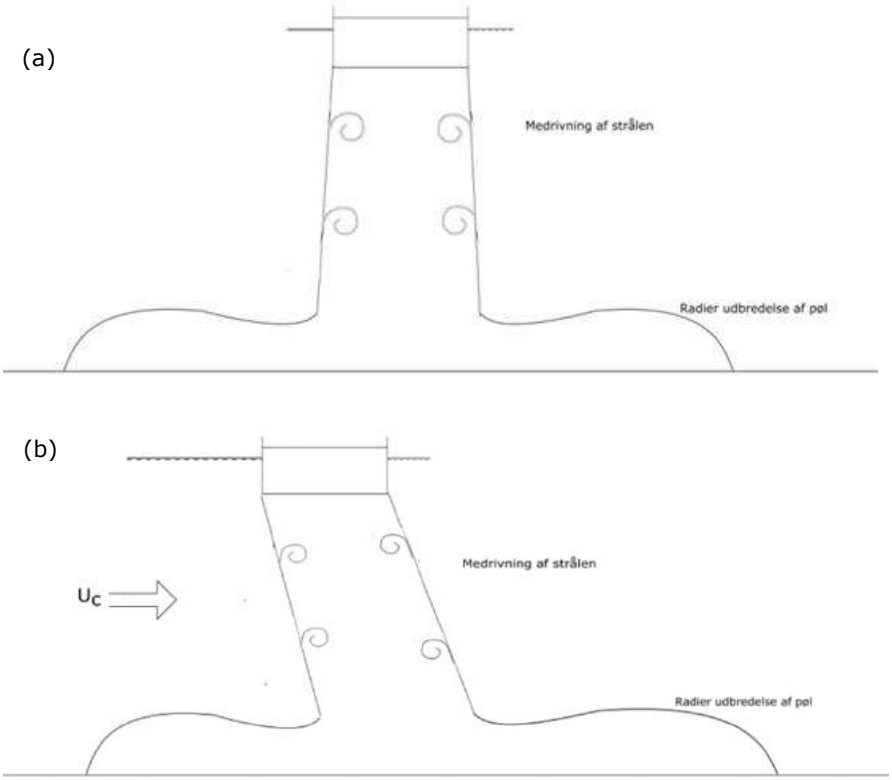
Vanddybden i beregningerne varierer og er baseret på søkort. Jo større vanddybden er, jo mindre vil sedimentkoncentrationen midlet over hele vandsøjlen være.

6.3.1 Koncentration og spredning i nærfeltet

Når sediment klappes fra en pram, dannes en nedadrettet densitetsstrøm fra klappram til havbund. Ved lave strømhastigheder lægger sedimentet sig som en plamage på bunden.

Når sedimentet rammer bunden, spredes det i alle retninger pga. densitetsforskellen, alt imens det transporteres i strømmens retning som en sedimentpøl. Skematisk er processen illustreret i Figur 6.3. Når strålen, på grund af overskuddet i massetæthed af det klappede materiale, søger ned mod bunden, øges vandføringen og densiteten aftager. Det vil sige, det klappede materiale fortyndes. Den proces, som bestemmer denne initiale fortynding, er medrivning ind i strålen, som vist i Figur 6.3 (a). Når strålen når ned til bunden, bliver den afbøjet til alle sider. Den afbøjede stråle bibeholder sin hastighed, U_c, hvorved dybden af bundstrålen bliver en halv strålebredde, Figur 6.3 (b).

NIRAS har i samarbejde med Flemming Bo Pedersen udviklet et regneværktøj til beregning af spredning af sediment i forbindelse med klapning (Pedersen & Niras A/S, 2012). Dette værktøj er i stand til at beregne sedimentation ved klapning baseret på sedimentparametre, strøm og dybdeforhold. Yderligere er modellen i stand til at beregne sedimentkoncentrationen i sedimentpølen som funktion af afstanden til klappositionen. Modellen har to forskellige beregningsformer; en "normal" beregning og en "specialberegning".



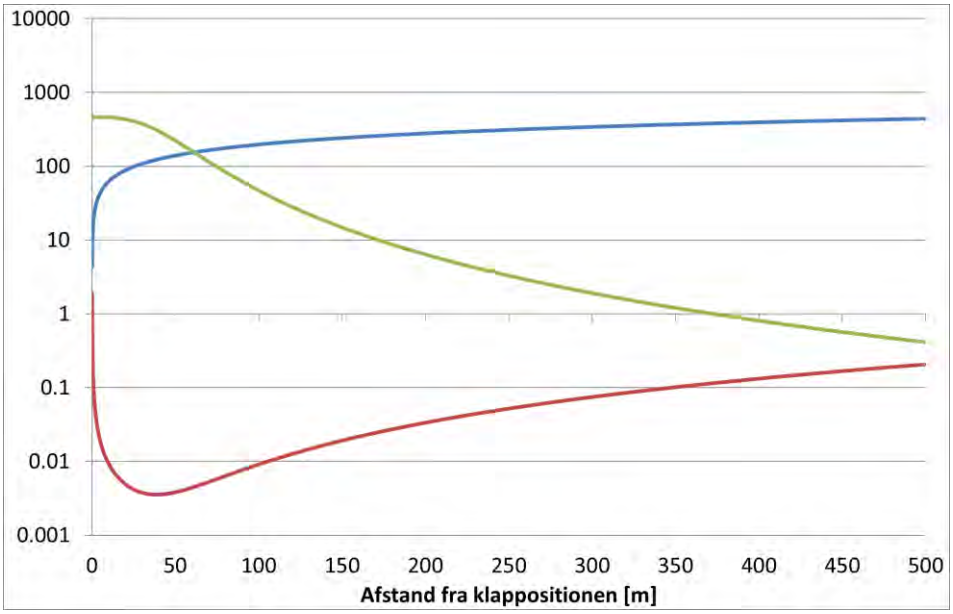
Figur 6.3: Illustration af sedimentstrålen fra når sedimentet forlader prammen til sedimentpølen tages med af strømmen.

Den "normale" beregning benyttes, hvis strømhastigheden er så lav, at den ikke kan holde det spildte ikke-kohæsive materiale (sand, grus) i suspension, og det derfor bundfældes. Denne beregning giver data for det bundfældede materiale, og for det kohæsive, finkornede materiale, som spredes. I nærværende analyse er normalberegningen gældende for sandet, som uanset strømhastighed vil sedimentere på klappladsen. Derudover vil cirka 92% af leret også sedimentere på klappladsen, idet kun 8% går i suspension, se afsnit 6.1.

"Specialberegningen" bruges til at bestemme spredningen af sedimentpølen, bestående af alt klapmaterialet, hvis strømhastigheden er over en kritisk værdi. I denne situation holdes sedimentet i suspension, mens sedimentskyen (pølen) bevæger sig bort fra klappladsen, alt imens skyen fortyndes med indtrængende vand. Specialmodellen er gældende for nærfeltet, hvor sedimentpølen opfører sig som flydende mudder. Dette er gældende, så længe koncentrationen af tørstof er større en cirka 1 kg/m^3 eller 1.000 mg/l.

Specialberegningen anvendes for de 5 % af lerfraktionen, der løsrives fra lerklumperne, idet klumperne rammer bunden. De 5 % ler vil sprede sig ud til siderne samtidig med, at der sker en medrivning af væske.

Af Figur 6.4 ses spredning af de 5 % af lerfraktionen i nærfeltet ved anvendelse af specialberegningen i Klapmodellen. Det ses, at sedimentkoncentrationen er under 1 kg/m^3 375 m fra klappositionen, hvor radius af sedimentpølen er cirka 375 m og har en højde på 11 cm.



Figur 6.4: Spredning af lerfraktion i nærfeltet ved anvendelse af specialberegningen i Klapmodellen.

Specialberegningen fra Klapmodellen ligger derfor til grund for spredningen i fjernfeltet. Overgangen til fjernfeltet sker, når koncentrationen er under 1 kg/m^3, som her svarer til 375 m fra klappositionen.

6.3.2 Spredning i fjernfeltet

De 3 % af lerfraktionen tabt i vandsøjlen og de 5 %, der spredes ved bunden, behandles i fjernfeltet samlet.

Sedimentet antages i fjernfeltet at være spredt til hele vandsøjlen og at være fordelt på et 0,44 km^2 stort areal svarende til arealet af sedimentpølen, når nærfeltet opløses.

Koncentrationen ved start af fjernefeltet er derfor 11 mg/l fordelt på et areal på 0,44 km^2.

Sedimentet spredes i fjernfeltet med strømmen, mens det langsomt sedimenterer.

Diffusion inkluderes ved at opdele spredningen fra hver klapning i fire beregninger. Koncentrationen ved hver beregning er 2,75 mg/l. I hver beregning tildeles strømretningen en varians, som medfører en variation i spredningen mellem de fire beregninger. Sedimentet spredes derfor på sigt ud over et større areal.

Ved varierende vanddybde ændres koncentrationen som funktion af vanddybden, h, og tiden, SSC=f(t,h). Derfor løses der for koncentrationen over vanddybden; $SSC_a = \frac{SSC_i}{h_i}$

$$SSC_{a,i} = SSC_{a,i-1} - \left(SSC_{a,1} w_s \frac{t_i - t_{i-1}}{h_i}\right), \qquad SSC_i = SSC_{a,i} h_i$$

Koncentrationen falder lineært med hældningen $w_s SSC_{a,1}/h_i$, men varierer fra tidskridt til tidskridt på grund af ændring i vanddybden.

Faldhastigheden findes som (jf. kapitel 3)

$$w_s = \max(w_{s,p}, w_{s,flok})$$

Sedimentet antages i beregningerne at være spredt på et volumen svarende til arealet af sedimentpølen, når nærfeltet opløses.

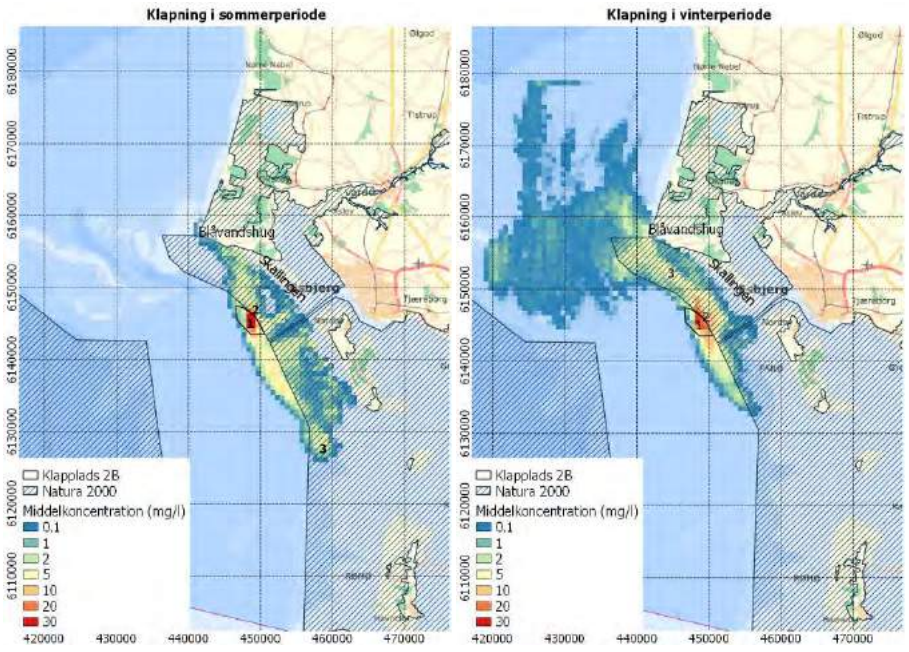
6.4 Samlet spredning og sedimentation

I dette afsnit præsenteres resultatet af spredningsberegningerne.

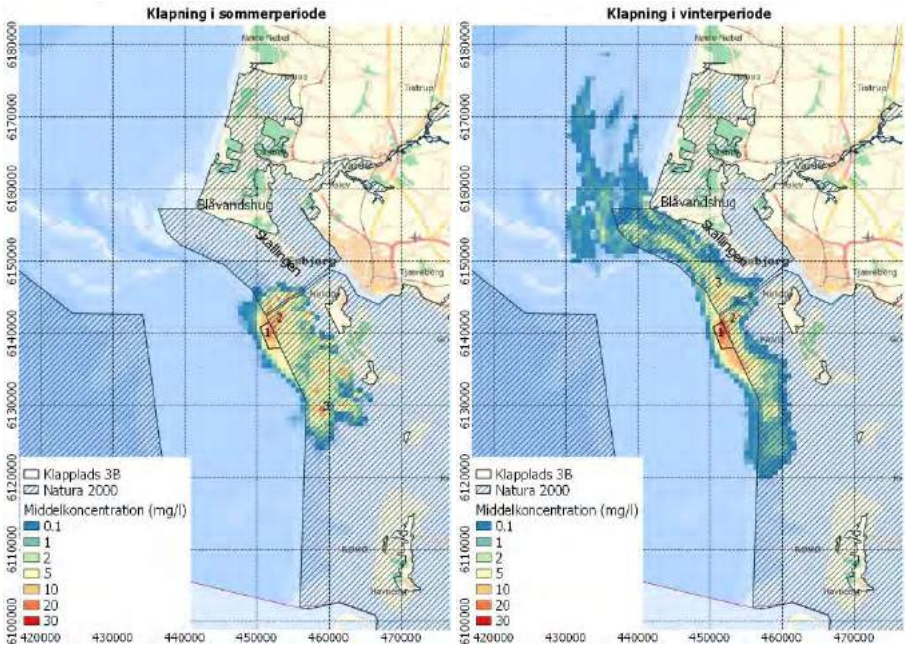
6.4.1 Sedimentkoncentrationen midlet over klapperioden

I Figur 6.5 ses sedimentkoncentrationen midlet over beregningsperioden ved klapning på Klapplads 2B-Vesterhavet. Tilsvarende figurer ved klapning på Klapplads 3B-Vesterhavet ses i Figur 6.6. Beregningsperioden er 52 ¼ dag svarende til klapperioden af ler inklusiv to efterfølgende dage.

Det ses, at sedimentet om sommeren spredes mindre end om vinteren, da strømhastighederne er størst om vinteren. Samtidig spredes sedimentet længere mod nord ved klapning på Klapplads 2B-Vesterhavet, da strømhastigheden her er større jf. kapitel 2.



Figur 6.5: Sedimentkoncentrationen midlet over klapperioden, hvor der klappes ler ved Klapplads 2B-Vesterhavet.



Figur 6.6: Sedimentkoncentrationen midlet over klapperioden, hvor der klappes ler ved Klapplads 3B-Vesterhavet.

I Tabel 6.1 er det samlede areal uden for klappladsen med middelkoncentrationer inden for forskellige intervaller angivet. Ved klapning på Klapplads 3B-Vesterhavet dækker det samlede område med middelkoncentrationen over 10 mg/l et areal på cirka 10 km^2 både ved klapning om vinteren og sommeren. Ved klapning om vinteren ved klapplads 2B-Vesterhavet dækker det samlede område med middelkoncentrationer over 10 mg/l et areal på cirka 5 km^2. Ved klapning om sommeren på klapplads 2B-Vesterhavet er det et meget lille område på 1 km^2, der har middelkoncentrationer over 10 mg/l.

Tabel 6.1: Det samlede areal uden for klappladsen med middelkoncentrationer inden for forskellige intervaller.

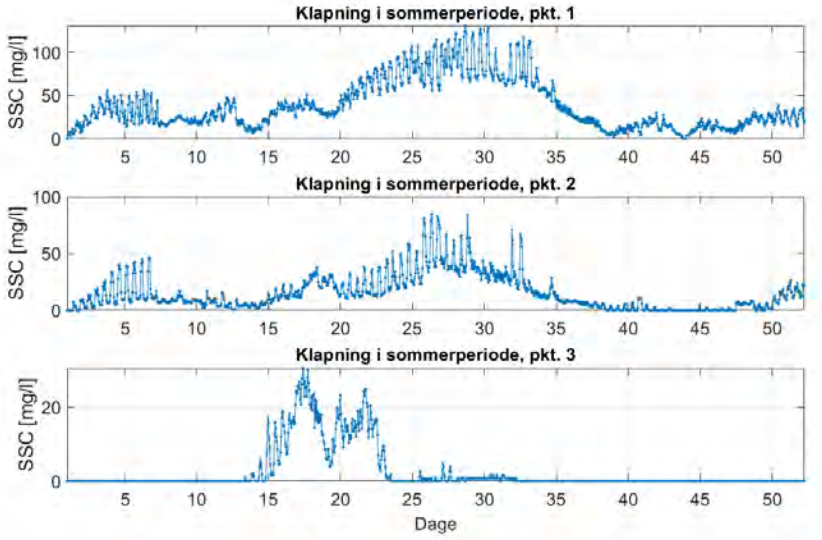
Klapscenarie		5-10 mg/l	10-20 mg/l	20-30 mg/l
2B	Sommer	16 km^2	0,88 km^2	0,44 km^2
	Vinter	19 km^2	4,9 km^2	0,88 km^2
3B	Sommer	34 km^2	9,2 km^2	0,44 km^2
	Vinter	26 km^2	10 km^2	0,44 km^2

6.4.2 Tidsserier med sedimentkoncentrationer

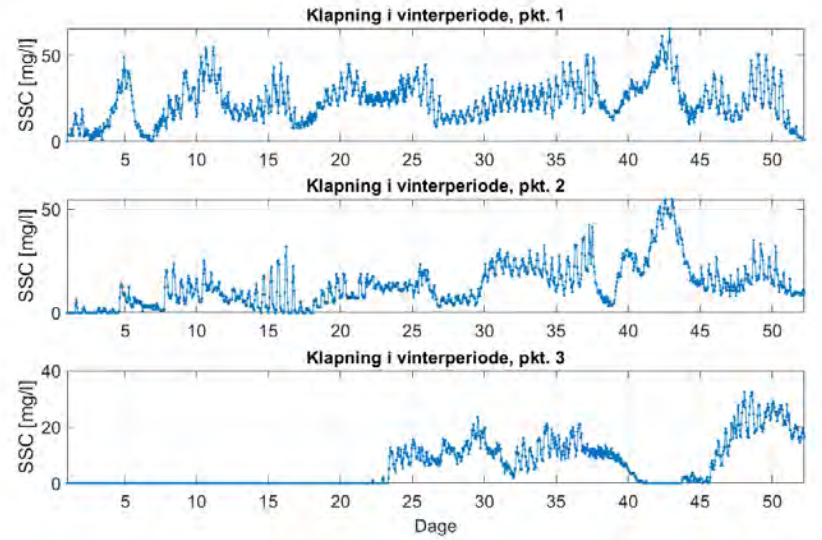
I Figur 6.7 og Figur 6.8 er tidsserier med koncentrationen i de i Figur 6.5 angivne punkt 1-3 vist for klapning i henholdsvis sommer- og vinterperioden ved Klapplads 2B-Vesterhavet. Tilsvarende figurer for Klapplads 3B-Vesterhavet ses i Figur 6.9 og Figur 6.10 for punkt 1-3 angivet i Figur 6.6. Første punkt er inde på klappladsen. Andet punkt angiver et punkt, hvor de største koncentrationer uden for klap-

pladsen forekommer. Punkt 1 og 2 har samme position ved klapning om sommeren og vinteren. Punkt 3 varierer fra alle fire klapscenarier og angiver en position, hvor koncentrationen er stor undervejs i klapperioden.

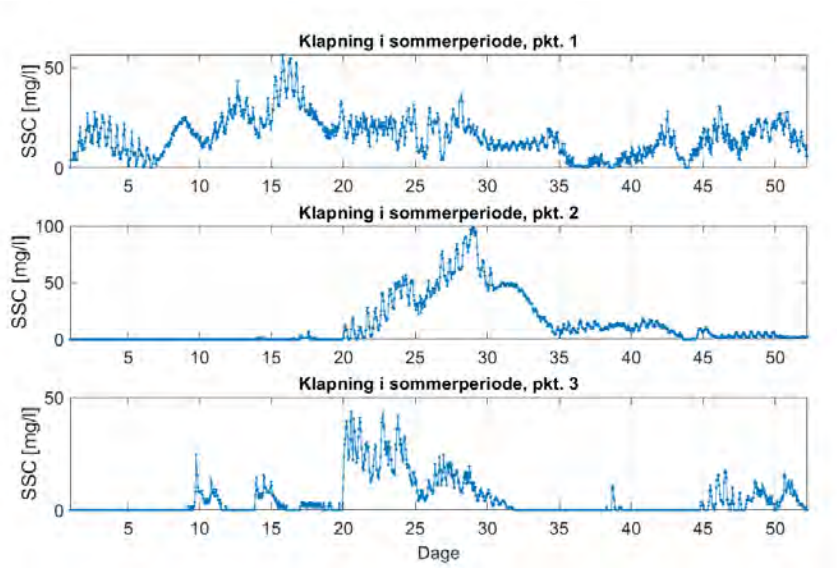
Punkterne repræsenterer et areal på omkring 660x660 m.



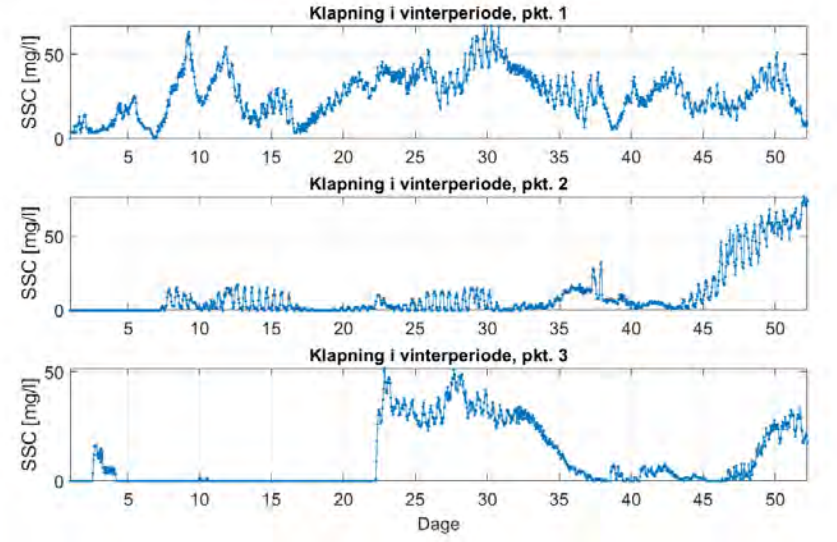
Figur 6.7: Koncentrationer i de tre punkter vist i Figur 6.5 ved klapning i sommerperioden ved klapplads 2B-Vesterhavet. SSC angiver den suspenderede sediment koncentration i mg/l.



Figur 6.8: Koncentrationer i de tre punkter vist i Figur 6.5 ved klapning i vinterperioden ved klapplads 2B-Vesterhavet. SSC angiver den suspenderede sediment koncentration i mg/l.



Figur 6.9: Koncentrationer i de tre punkter vist i Figur 6.6 ved klapning i sommerperioden ved klapplads 3B-Vesterhavet. SSC angiver den suspenderede sediment koncentration i mg/l.



Figur 6.10: Koncentrationer i de tre punkter vist i Figur 6.6 ved klapning i vinterperioden ved klapplads 3B-Vesterhavet. SSC angiver den suspenderede sediment koncentration i mg/l.

Inde på klappladserne (punkt 1) kan der forekomme koncentrationer mellem 50-100 mg/l på begge klappladser. De største koncentrationen forekommer ved klapning om sommeren på klapplads 2B-Vesterhavet.

Ved alle fire klapscenarier forekommer der også kortvarige perioder inde på klappladsen, hvor koncentrationen er tæt på nul.

I punkt 2 ved Klapplads 2B-Vesterhavet er koncentrationen i næsten hele klapperioden større end nul, og der forekommer koncentrationer på op til 40-60 mg/l i op

til 4-5 dage ad gangen. Punktet ligger kun 300 m fra klappladsen, hvilket forklarer de høje koncentrationer.

I punkt 2 ved Klapplads 3B-Vesterhavet er koncentrationen i lange perioder mellem 0 og 10 mg/l. Men der forekommer både om vinteren og sommeren en lang periode, hvor koncentrationen stiger jævnt over cirka 8 dage og når op på over 50 mg/l.

I punkt 3 ved Klapplads 2B-Vesterhavet bliver koncentrationen ikke højere end 20-30 mg/l. Ved Klapplads 3B-Vesterhavet kan der forekomme koncentrationer over 50 mg/l, da sedimentet ved denne klapplads ikke spredes så meget som ved klapplads 2B-Vesterhavet.

Disse variationer ligger indenfor rammerne af den normale baggrundsvariation mellem 2-200 mg/l området (Geografisk Institut, Jesper Batholdy, 1993).

6.4.3 Dage med koncentrationer større end 10 mg/l

Det samlede antal dage med koncentrationer større end 10 mg/l ses i Figur 6.11 ved klapning på Klapplads 2B-Vesterhavet og i Figur 6.12 ved klapning på Klapplads 3B-Vesterhavet.

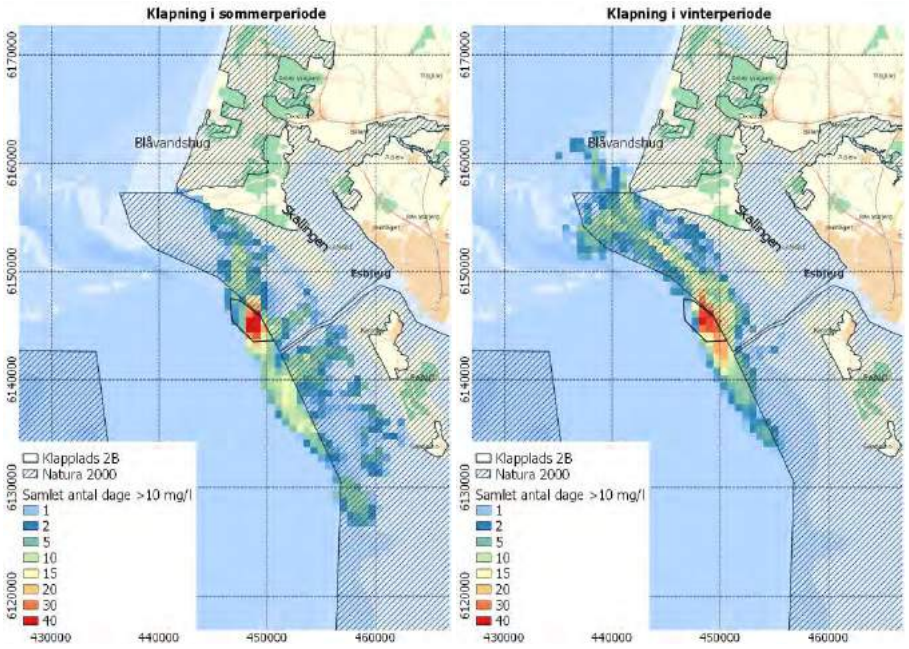
Inde på begge klappladser forekommer der koncentrationer over 10 mg/l i hele klapperioden. I Klapberegningerne klappes der i samme punkt hver gang. Normalt vil positionen for klapning variere, hvilket vil fordele koncentrationen på klappladsen mere jævnt ud.

I Tabel 6.2 er det angivet hvor stort et område, der har koncentrationer over 10 mg/l i et vis antal dage.

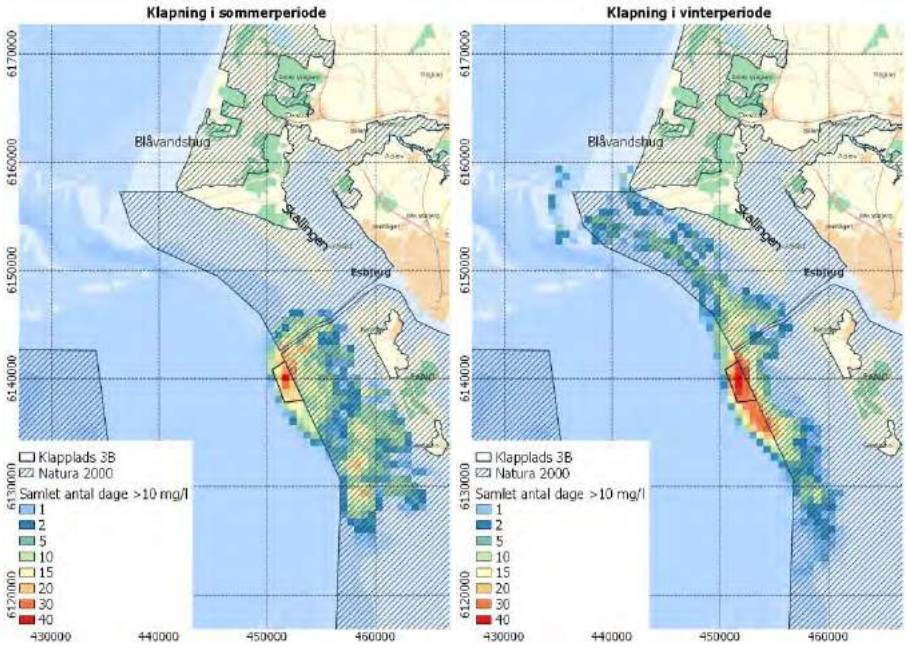
Ved klapning om vinteren på klapplads 3B-Vesterhavet forekommer der koncentrationer på over 10 mg/l i samlet 20-40 dage. Bæltet går dog langs med Natur 2000 området.

Ved de andre klapscenarier er der også områder, hvor koncentrationer over 10 mg/l forekommer i 20-40 dage. Ved klapning om vinteren ved Klapplads 2B-Vesterhavet og ved klapning om sommeren ved Klapplads 3B-Vesterhavet har området et areal på 4-5 km^2, mens området kun har et areal på 1-2 km^2 ved klapning om sommeren ved Klapplads 2B-Vesterhavet.

Størrelsen på områderne, hvor koncentrationen er større end 10 mg/l i 10-20 dage, er mellem 10-30 km^2 for de 4 klapscenarier.



Figur 6.11: Samlet antal dage med koncentrationer større end 10 mg/l ved Klapplads 2B-Vesterhavet.



Figur 6.12: Samlet antal dage med koncentrationer større end 10 mg/l ved Klapplads 3B-Vesterhavet.

Tabel 6.2: Det samlede areal uden for klappladsen med koncentrationer over 10 mg/l i de angivne antal dage.

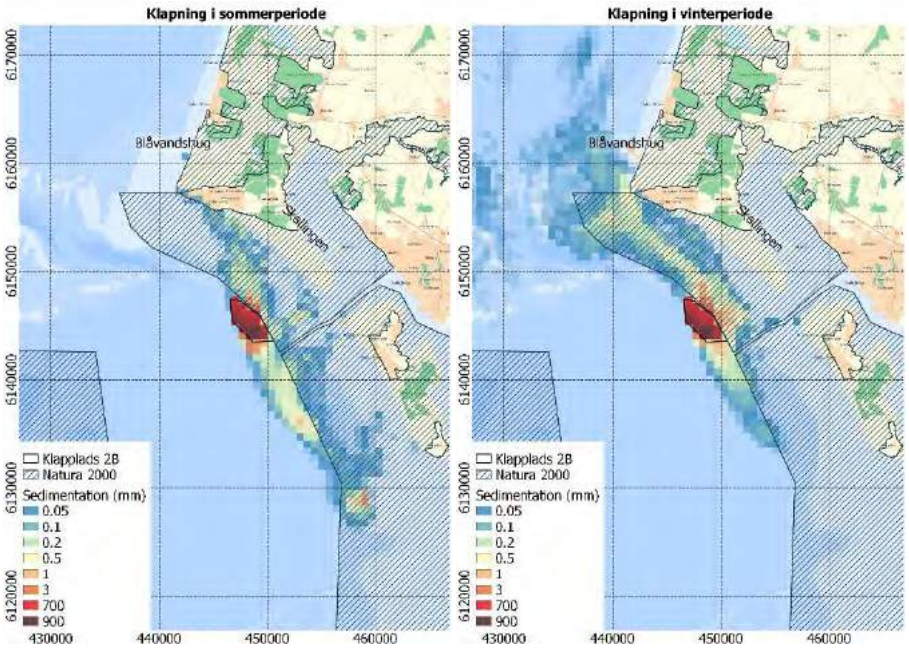
Klapscenarie		0-5 dage	5-10 dage	10-20 dage	20-40 dage	40-60 dage
2B	Sommer	155 km^2	43 km^2	11 km^2	1,3 km^2	0 km^2
	Vinter	236 km^2	29 km^2	19 km^2	4,9 km^2	0 km^2
3B	Sommer	92 km^2	53 km^2	30 km^2	4,0 km^2	0 km^2
	Vinter	220 km^2	34 km^2	24 km^2	9,3 km^2	0 km^2

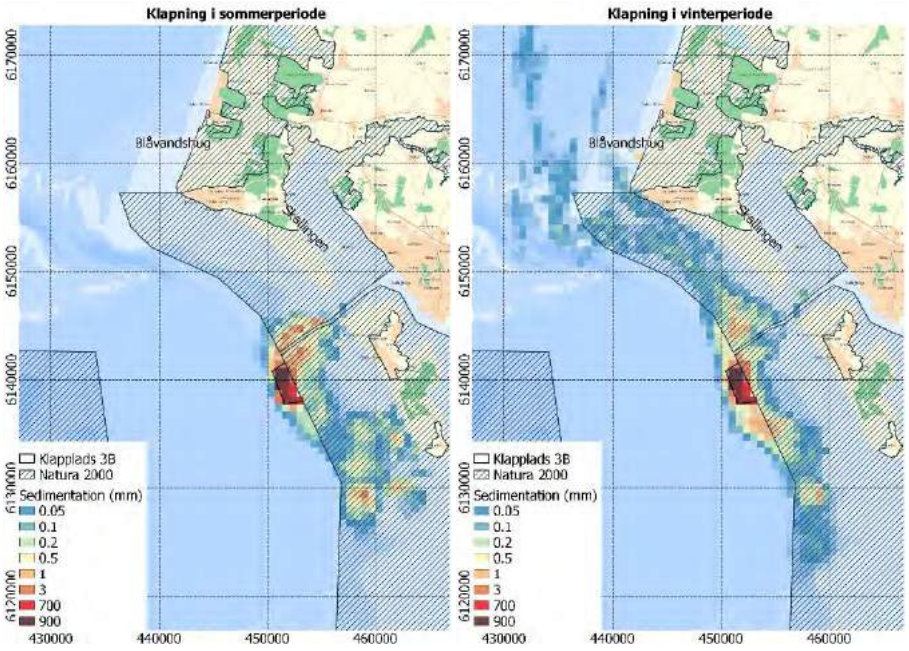
6.4.4 Samlet sedimentation efter endt klapning

Den samlede sedimentation ved endt klapning af både sand og ler ses i Figur 6.13 ved klapning på Klapplads 2B-Vesterhavet og i Figur 6.14 ved klapning på Klapplads 3B-Vesterhavet.

Sand-fraktionen og de 92 % af lerfraktionen, som aflejres inde på klappladsen, er i beregningen fordelt jævnt ud på klappladsen.

Figur 6.13: Samlet sedimentation efter endt klapning på Klapplads 2B-Vesterhavet.





Figur 6.14: Samlet sedimentation efter endt klapning på Klapplads 3B-Vesterhavet.

Indenfor klappladsen aflejres der op til 90 cm sediment ved alle fire klapscenarier.

Aflejring udenfor klappladserne er vist i Tabel 6.3, der angiver arealer udenfor klappladsen fordelt på aflejringstykkelser.

Udenfor klappladsen aflejres der hovedsageligt under 1 mm og maksimalt 8 mm.

Ved alle fire klapscenarier er der mindre områder uden for klappladsen på mellem 2-5 km^2, hvor der aflejres 1-3 mm sediment. Aflejringstykkelser på mellem 3-8 mm forekommer på områder under 1 km^2 ved klapning på Klapplads 2B-Vesterhavet. Ved klapning på Klapplads 3B-Vesterhavet er området med aflejringstykkelser på 3-8 mm 2,7 og 1,3 km^2 for henholdsvis klapning om sommeren og vinteren. Dette skyldes som nævnt tidligere, at sedimentet spredes mindst ved Klapplads 3B-Vesterhavet og mindst om sommeren.

Tabel 6.3: Det samlede areal uden for klappladsen med sedimentaflejringer i de angivne tykkelser.

Klapscenarie		1-3 mm	3-5 mm	5-8 mm
2B	Sommer	2,2 km^2	0 km^2	0,88 km^2
	Vinter	3,1 km^2	0,44 km^2	0 km^2
3B	Sommer	6,1 km^2	2,7 km^2	0 km^2
	Vinter	4,9 km^2	0,88 km^2	0,44 km^2

6.5 Spredning af aflejret sediment

Ovenstående beregning inkluderer ikke re-suspension af det aflejrede sediment. Teoretisk set vil det aflejrede sediment dog blive re-suspenderet og spredt yderligere både under klapperioden og efter endt klapning.

Esbjerg Havn udførte i efteråret 2013 en ny opmåling af klapområdet vist i Figur 5.1 for at undersøge, hvor meget af det klappede materiale der var resuspenderet et halvt år efter endt klapning. Opmålingen viste, at der ikke var transporteret noget sediment af betydning væk fra klappladsen.

7 Bibliografi

DHI. (2020). *Esbjerg Havn udvidelse – Etape 5. Hydrauliske og morfologisek vurderinger. Baggrundsrapport til VVM.* Esbjerg Havn.

GEO. (2011-06-05). *Esbjerg Ny Sydhavn. Geoteknisk undersøgelse.* GEO.

Geografisk Institut, Jesper Batholdy. (1993). *Miljømæssig vurdering af uddybning af Gådyb. Delrapport 8 Sedimenttyper.* Statshavsadministrationen Esbjerg.

Kort og Matrikelstyrelsen. (2007). *Danske Søkort 2007.* Miljøministeriet.

Miljø og Fødevareministeriet, M. (27. 05 2019). *MiljøGIS - data om natur og miljø på webkort*. Hentet fra http://miljoegis.mim.dk/: http://miljoegis.mim.dk/cbkort?profile=klapsager

Pedersen, B. F., & Niras A/S. (2012). *Model til beregning af spredning af sediment i forbindelse med klapning.* NIRAS.

ETABLERING AF ESBJERG ØSTHAVN, ETAPE 5

BAGGRUNDSNOTAT TIL VVM-REDEGØRELSEN, BESEJLINGSFORHOLD OG -SIKKERHED

INDHOLDSFORTEGNELSE

1. INDLEDNING

2. SAMMENFATNING

3. TERMINOLOGI

4. NUVÆRENDE FORHOLD
   - 4.1 Besejlingsforhold
   - 4.2 Skibstrafik

5. FREMTIDIGE FORHOLD
   - 5.1 Besejlingsforhold
   - 5.2 Simulering af besejlingsforholdene
   - 5.3 Forventninger til skibstrafikken
   - 5.4 Fanøoverfarten
   - 5.5 Lystbåde og mindre fartøjer

6. RISIKOVURDERING
   - 6.1 Skibsrelaterede uheld
   - 6.2 Sammendrag og kommentarer
   - 6.3 Risikovurdering før og efter udbygningen

7. FOREBYGGENDE INDSATS.
   - 7.1 Tiltag, restriktioner og afværgeforanstaltninger.

8. KONKLUSION

9. BILAG

10. REFERENCER

1 INDLEDNING

Esbjerg Havn har over en årrække skabt nye havneanlæg mod øst.

For at kunne tilfredsstille de forventede pladsbehov og de fremtidige krav til havneområdet planlægges en yderligere udvidelse med i alt ca. 0,5 mio. m2 bagland og 330 meter ny kaj benævnt Etape 5.

Esbjerg havn ligger i vadehavsområdet og tæt på Natura 2000 områder, Nationalpark Vadehavet, UNESCO's verdens arv mm.
Formålet med dette baggrundsnotat er at vurdere de miljømæssige konsekvenser af den øgede skibstrafik. Dette gøres ved at undersøge den besejlingsmæssige risiko for skibstrafikken til og fra de nye havneanlæg, når disse bliver fuldt udnyttet.

Undersøgelsens afsnitsopdeling og den anvendte terminologi tager udgangspunkt iIMO's "Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) Ref. (1).

2 SAMMENFATNING.

Besejlingsforholdene vil kun ændres i Østhavnsområdet. En simulering af forskellige scenarier med store skibe af de hyppigste anvendte skibstyper faldt gunstigt ud. For de største skibe blev anbefalet at udnytte perioderne med slæk vand, hvor tidevandet vender i kombination med slæbebådsassistance i nødvendigt omfang.

Trods forventningen om en 9% forøgelse af den kommercielle skibstrafik på Esbjerg havn frem mod 2026 vurderes risikoen for uheld uændret på et meget lavt niveau for det enkelte skib og effekten på miljøet til forsat at være proportional med antallet af anløb.
Årsagen hertil er bl.a.at:

- Fartøjernes maksimale størrelse vil fortsat være begrænset af forhold, der ikke ændres på (vanddybden i og kurverne på sejlrenderne).
- Der har ved de fleste uheld kun været et enkelt fartøj impliceret.

Desuden er risikoen for uheld gjort mindre i takt med at:

- Overblikket over skibstrafikken og information om besejlingsbetingelser fortsat forbedres ved hjælp af AIS, digitale søkort og internet oplysninger om vind og vand.
- Havnevagten adviserer den øvrige trafik, når specialfartøjer sejler i farvandet.
- Sejlrenden foran Atlantkaj gøres bredere.

3 TERMINOLOGI

Anløb	Anløb af et kommercielt fartøj (dvs lystbåde er ikke medregnet)
Fare (hazard)	En mulig trussel mod menneskeliv, helbred, ejendom eller miljøet.
Hændelse	Enkeltstående begivenhed af miljømæssig betydning.

Hændelsestype	Betegnelse for ulykker for statistisk bearbejdning f.eks. kollision, påsejling, grundstødning samt farlige situationer som interaktion mellem fartøjer og near-miss.
Igangsættende hændelse	*Den første hændelse i den række, der leder til en ulykke*
Ulykke	Pludselig opstået hændelse med skæbnesvangre følger, kvæstelser, tab eller skader på skib eller ejendom eller skader på miljøet
Ulykkesscenarie	*Række af hændelser, der fører til en ulykke*
Frekvens	Hyppighed af hændelserne pr. år
Konsekvens	I denne analyse er det konsekvensen for miljøet, der vurderes.
Risiko	Angiver sandsynligheden for, at et anløb med ét skib (handling) fører til en ulykke for miljøet. Frekvens*konsekvens.
Effekt	Den samlede effekt for miljøet. Risiko*antal anløb.

De med kursiv fremhævede termer er nævnt i FSA'en, men benyttes ikke i dette notat.

Forkortelser:

FSA	IMO's "Guidelines for Formal Safety Assessment"
Sm	Sømil, 1 sm=1.852 m
MSL/MLWS	Middel Springtids Lavvande, gennemsnitsniveauet for de astronomiske lavvander ved springtid.

4 NUVÆRENDE FORHOLD

4.1 Besejlingsforhold

Udsnit af Søkort 95 fra oktober 2015, Bilag 1, viser forholdene omkring Esbjerg Havn.

For at anløbe Esbjerg skal alle erhvervsfartøjer benytte den 12 sm lange afmærkede, sejlrende gennem Grådyb barre, NØ om Fanø og frem til Esbjerg havn. Sejlrenden er minimum 200 m bred og den officielle vanddybde er -10,3 m MSL[1] (Middel Springtids Lavvande) aftagende til -9,8 m langs kanterne.

Ved ankomst til anduvningsbøjen og ved afgang fra kaj kontaktes den døgnbemandede havnevagt. Skibsføreren kan rekvirere lods og bugserassistance via havnevagten.

Trafikken kan følges via AIS.

Havnen ligger i læ af Fanø og den inderste del af sejlrenden fortsætter 3-4 sm langs havnen. Fra sejlrenden fordeles trafikken til et antal havnebassiner om bagbord for indadgående. De første 2 indsejlinger er til Nordhavnen (de tidligere fiskerihavnsbassiner), de 2 næste er forsynet med svajebassiner foran indsejlingerne til hhv. trafikhavnsbassinerne og Færge-/Sønderhavn og sidst fører sejlrenden til strømkajerne langs Sydhavnen og til svajebassinet

foran Østhavnen.

Sejlruten langs havnen skæres af den tværgående Fanø-færgeforbindelse udfor indsejlingen til Sønderhavn.
Fanøfærgerne har en overfartstid på 12 min. Færgerne er forsynede med drejepropeller og er meget manøvredygtige og robuste.

Udbygningen af Østhavnen med Etaperne 3 og 4 ændrede kun på besejlingsforholdene til havneområderne øst for indsejlingen til Sønderhavn. Havneudvidelsen med tilhørende sejlrende, svajebassin og havnebassin blev taget i brug i 2013 og er som vist på bilag 3, Eksisterende forhold. Bredden på sejlrenden blev ved den lejlighed udvidet fra 150 m til 200m udfor Atlantkaj og op til 400 m ved svajebassinet foran Geminikaj ved indsejlingen til Østhavnen.
Selve Østhavnsbassinet kan også anvendes til svajning, da afstanden mellem Virgo- og Scorpiuskaj er over 400 m. Den effektive bredde er således minimum 300m, selv når der ligger skibe ved kajerne i begge sider.

Omkring Esbjerg er tidvandsforskellen omkring 1,5 m. Strømmen i renden er op til 3 knob (jf. Havnelodsen).

4.2 Skibstrafik

Havnen kan under gunstige forhold anløbes af traditionelle skibstyper med op til:

- 10,5 meters dybgang ved højvande
- 245 m længde
- bredden, ingen begrænsning

Derudover anløbes havnen regelmæssigt af specialfartøjer, rigge, installationsskibe for vindmøller o.lign med specielle mål og fremdriftsmuligheder. De specielle anløb planlægges sammen med Havnevagten, så anden trafik kan blive varskoet, holdt tilbage eller dirigeret væk fra sejlruten.
Hovedparten af de fartøjer, der anløber Esbjerg havn er moderne og har gode manøvrerevner. De større skibe til Sønderhavn og strømkajerne anvender lods- og bugserassistance efter behov. Rigge o.lign. slæbes til de endelige positionerne, hvor de fortøjes eller jackes op.

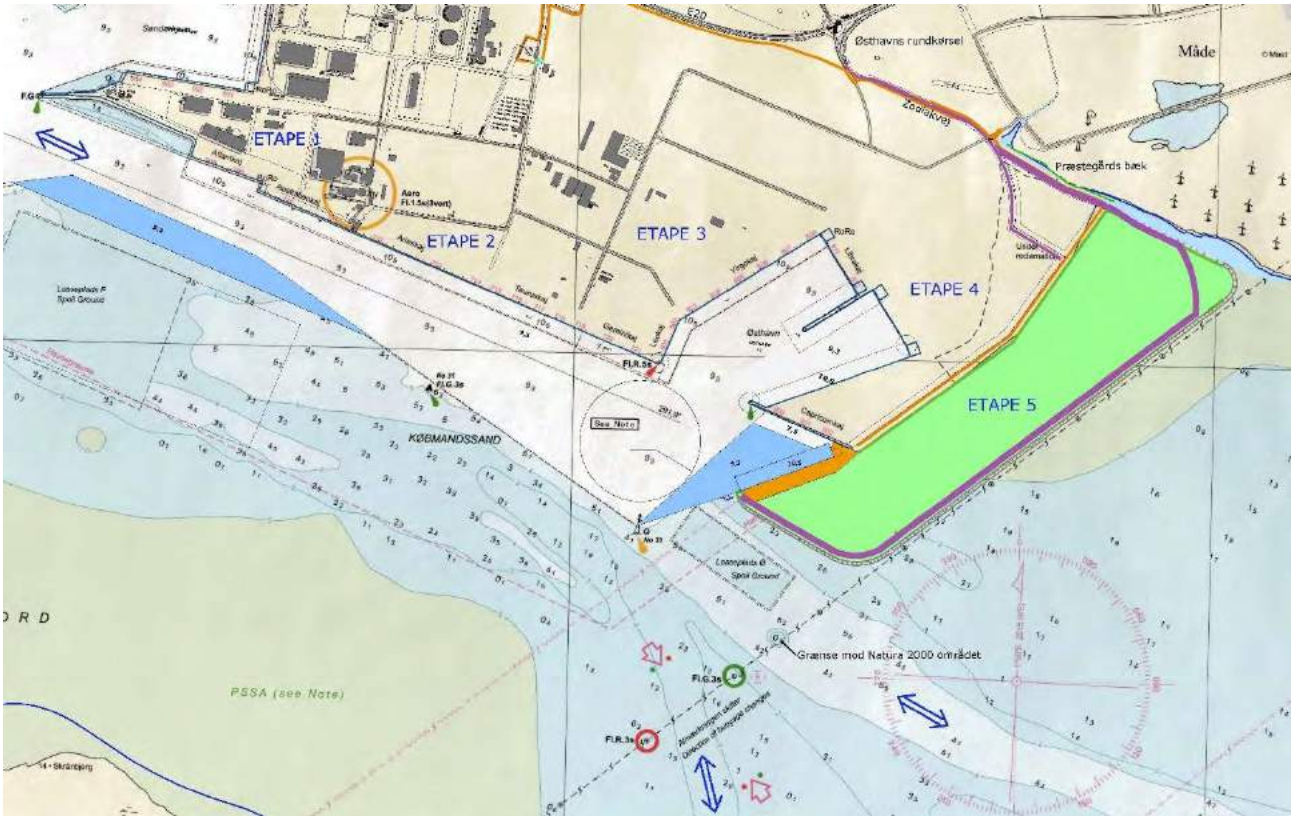
Frem til 70'erne var der op til 700 fiskefartøjer hjemmehørende i Esbjerg. Omkring år 2000 var antallet reduceret til 80 store trawlere, men siden da er antallet faldet til nogle få mindre reje- og muslingefartøjer. Havnen benyttes desuden til losning af fangster fra udenlandske fartøjer.

Der er omkring 200 lystfartøjer i Esbjerg. Heraf har omkring hver 10. en størrelse, der gør dem egnede til sejlads udenfor Skallingen. Langt de fleste har beskeden dybgang og bliver benyttet i den beskyttede del af Vadehavsområdet. Lystfartøjerne må ikke sejle ind i erhvervshavns bassinerne.
Ro- og kajakklubben og andre maritime klubber holder til i 2. bassin, der desuden benyttes af hurtigtsejlende mandskabsbåde (CTV'er) og nogle af de få tilbageværende fiskefartøjer.
Alle fartøjer med lavt fribord skal udvise agtpågivenhed ved udsejling fra 2. bassin pga. molehovedet, der begrænser oversigtsforholdene. Herfra og ud til renden har skibsføreren et godt overblik, der giver alle parter muligheder for at orienterer sig og tage hensyn. Lystsejlere og kajakroere plejer at følge ruter uden for sejlrenden når de

f.eks. skal ind i Ho Bugt.
Primo 2019 flyttede alle lystbådene til Esbjerg Strand (havnebassinet nord for erhvervshavnsområdet). De mindre både (robåde, kajakker o.lign.) vil følge efter i løbet af de næste par år, så 1.-2. bassin herefter udelukkende vil blive benyttet af erhvervsfartøjer.

5 FREMTIDIGE FORHOLD

Østhavnen udbygges med Etape 5, som vist på nedenstående figur.



5.1 Besejlingsforhold:

Besejlingsforholdene NV for Atlantkajen ændres ikke.

Som en del af Etape 5 vil bredden af sejlrenden foran Atlantkaj blive øget til 300 m. Den større rendebrede giver mulighed for at forbedre manøvreevnen ved at øge skibets fart og den større afstand til fortøjede skibe vil mindske interaktionskræfterne mellem skibene.

Svajebassinet foran indsejlingen til Østhavnsbassinet bevares med en effektiv diameter på minimum 400 m.

Forholdene for Fanøtrafikken og for de mindre fartøjer er vurderet ved drøftelse med

repræsentanter fra færgefarten, redningstjenesten, Nationalparken, Energinet, foreningen Søsporten og trailerlauget, der tilsammen repræsenterer den væsentligste del af brugerne.

5.2 Simulering af besejling.

Planløsningen på Etape 5 og resultaterne fra de hydrauliske undersøgelser af strømforholdene er anvendt ved simulering af besejlingsforholdene (se Bilag 6).
Ved simuleringen deltog skibsfører fra DFDS, lods samt en navigatør fra Esbjerg Havn og der blev anvendt 3 store (ca. 240 m lange) fartøjer af de skibstyper, der hyppigt anløber Esbjerg (RO-RO, Car Carriers og Bulk Carriers). Fartøjerne havde forskellig dybgang, manøvreevne, maskinkraft mm.

Skibene, der blev benyttet til simuleringerne, var en Car Carrier, en Bulk Carrier og et Ro-Ro skib
med følgende hoveddata:
- Skib 3557, Car Carrier (230,0 m x 32,2 m x 8,8 m/8,8 m)
- Skib 3234, Bulk Carrier (228,6 m x 32,2 m x 8,0 m/8,0 m)
- Skib 3895, Ro-Ro, (237,4 m x 33,0 m x 7,0 m/7,0 m)

Besejlingsscenarierene i simuleringen blev gjort realistisk ved at lægge store skibe eller installationsfartøjer fortøjet ved strømkajerne.

Formålet med simuleringsstudiet var at:

- teste besejling under ekstreme omstændigheder mht. vind (optil 15 m/s) og strøm (optil 2,5 knob) for 3 skibstyper RO-RO fartøjer, Car Carriers og Bulk Carriers ved ankomst til/afgang fra den nye kaj.
- teste brug af slæbebåde (0, 1 eller 2 stk. med 60 t pæletræk) i ovennævnte situationer.
- vurderer det foreslåede layout, størrelse og placering af svajebassinet o.a.

Rapporten konkluderer at:

- De aktuelle vind- og strømretninger og hastigheder er væsentlige for tilrettelæggelse af anløbet/afgangen.
- Svajebassinet har en god placering og er tilstrækkeligt stort for de valgte skibe.
- Det er en klar sejladsmæssig forbedring, at sejlrendens bredde udvides fra 200 til 300 m.

I rapporten anbefales generelt:

- At der bliver mulighed for at hente oplysninger om vind og strøm før ankomst/afgang.
- At ankomst og afgang så vidt muligt foretages ved slæk vand (dvs. omkring de 4 tidspunkter på døgnet, hvor der ikke er strøm). Fartøjer >170 m med stor dybgang og ringe manøvreringsevne bør udnytte slækvandsperioden omkring et højvande.
- At skibene i hensigtsmæssigt omfang lægges til kaj med bagbords side (stævnen i retning udad ved afgang).
- Skibsførerne bør (evt. sammen med lodsen) udarbejde en besejlingsstrategi, der tager højde for vind, strøm og afdrift.

Kommentarer og forslag i øvrigt:

- Ændring af orienteringen af den nye kaj, så denne bliver lettere at besejle. Forslaget er taget til efterretning og designet ændret til det nuværende.
- Indførelse af fartrestriktion og vigeregler skibe i med/modstrøm kan overvejes.

5.3 Forventninger til skibstrafikken:

Herunder er angivet det årlige antal anløb fordelt på skibstyper i perioden 2013 til 2018 samt prognosen for 2026. Markedsanalysen danner grundlag for antallet. Opgørelsen er sammenfattet i nedenstående skema.

SKIBSTYPER	2018	Forv. 2026
Offshore oil and gas	1.153	1.328
Offshore wind	1.717	2.387
Cargo	1.776	2.154
Passager-og specialfartøjer	60	76
Fiskefartøjer	1.376	1.145
Andet	183	157
Total	**6.265**	**7.247**

Skibsanløb excl. Fanøoverfarten. Sammenfatning.

På bilag 3 er anløbene vist fordelt på 3 havneafsnit henholdsvis: N for indsejlingen til Sønderhavn, til Sønderhavn og E for indsejlingen.

Kapaciteten af Etape 3 og 4 er næsten udnyttet fuldt ved udgangen af 2018. I prognosen for disse etaper blev regnet med en forøgelse fra 3.548 i 2008 til 6.848 kommercielle anløb i 2020 og det harmonerer godt med de registrerede 6.252 for 2018.

Efter prognosen vil det samlede antal årlige anløb i 2026 stige til 7.427.

Det forventes, at de fremtidige anløb vil ske med skibstyper og -størrelser, som svarer til de, der i dag benytte erhvervshavnsbassinerne og strømkajerne.

Special- og ikke-selvsejlende fartøjer skal fortsat håndteres individuelt.

5.4 Fanøoverfarten

Fanøfærgens sejlrute mellem Nordby og færgehavnen i Esbjerg krydser sejlruten på langs af Esbjerg havn. Den øgede langsgående trafik vil kræve opmærksomhed, men iflg. navigatører på Fanøfærgen er det i dag blevet væsentligt lettere at sejle til Færgehavnen, efter at DFDS er rykket til Østhavnen i 2018. Nu er der ikke så meget manøvrerende trafik foran lejet på Esbjerg siden.

5.5 Mindre fartøjer

Fra begyndelsen af 2019 blev lystbådehavnen flyttet fra 2. bassin til det nye Esbjerg Strand område nord for havnen. Udsejlingen fra lystbådehavnen vil fortsat ske nær sejlrenden, så sejlerne i lystfartøjerne skal se sig godt for og holde sig i et bælte udenfor og langs med sejlrenden, indtil alle parter har fuldt overblik over den øvrige trafik. Ved flytning af lystbådehavnen til Esbjerg Strand bliver lystfartøjerne adskilt fra de hurtigtsejlende service- og

mandskabsfartøjer, der benytter 2. bassin.
Forholdene udenfor havnebassinerne vurderes i øvrigt til at være uændrede for lystbåde og mindre erhvervefartøjer, da disse fortsat skal holde sig klar af sejlrender, svajebassin og erhvervshavnsbassinerne.
Etablering og ibrugtagning af Etape 5 vil ikke genere den fri sejlads til og fra Vadehavsområdet.

Nationalparkens medarbejdere er ligeledes tilfredse med sejladsmulighederne.
Sevicefartøjer til højspændingsmasterne.

6 RISIKOVURDERING

Besejling udgør en fare for skibe og besætning, omgivelser og miljøet

Vurderingen af det fremtidige risikoniveau, når Østhavnen er fuldt udbygget og fuldt udnyttet, tager udgangspunkt i registrerede anløb og opgørelser/indberetninger til Havnevagten og Forsvarskommandoen (tidl. Søværnets Operative Kommando, SOK) i perioden 2002-2018.

6.1 Skibsrelaterede uheld.

Analysen omfatter hele havneområdet indenfor anduvningsbøjen dvs. indsejlingen, svajebassiner, strømkajer og alle bassiner.

Hændelserne opdeles i:

- Kollision
- Påsejling (af faste genstande/konstruktioner)
- Grundstødning
- Interaktion (skade på fortøjet skib pga. for tæt forbisejling)
- Near miss situationer.

Der er registreret 49 hændelser i perioden 2002 til 2018. Heraf er 6 kollisioner, 10 påsejlinger af faste anlæg, 20 grundstødninger, 2 interaktioner mellem fartøjer og 11 near-miss.
Oprensningsfartøjerne har været indblandet i 3 af kollisionerne heraf de 2, der er sket i selve sejlrenden. Fanøfærgerne er grundstødte 4 gange omkring den gravede ”genvejsrende”, Slunden, men har ikke haft uheld i selve sejlrenden.
De 9 af de i alt 11 registrerede near-miss hændelser er sket i sejlrenden.

Konsekvensen ved uheld er vurderet fra et miljømæssigt synspunkt. Der er følgende konsekvensklasser:

1. Neutral. Miljøet bliver ikke berørt af hændelsen. F.eks. Grundstødning på sandbanke, hvor skibet selv kommer fri ved egen hjælp ved højvande eller ved påsejling af en havnekonstruktion. Near-miss hændelser rubriceres i denne gruppe.
2. Miljøet bliver let berørt, f.eks. ved grundstødning med behov for megen skrueaktivitet for at komme fri.
3. Mindre olieudslip efter kollision, grundstødning eller påsejling eller voldsom grundstødning, hvor fartøjet må graves fri, før det kan trækkes tilbage i renden.
4. Større olieudslip efter kollision, grundstødning eller påsejling eller længerevarende bjærgningsoperation efter forlis.
5. Kollision med længerevarende udslip af store mængder skadelige stoffer.

Resultaterne fremgår af:

- Bilag 4 Hændelser 2002-2018 samt den vurderede miljøkonsekvensklasser.
- Bilag 5 Positioner for hændelserne

Undersøgelsens formål er at "spotte" de forhold, der har ligget til grund for uhelds- eller near-miss situationer og som kan danne grundlag for vurderingen af risikoen ved den forøgede skibstrafik. Desuden medgår resultatet ved tilrettelæggelse af de forebyggende indsatser generelt.

6.2 Sammendrag og kommentarer:

Der er sket 6 kollisioner i perioden 2002 til 2018 og i 8 tilfælde blev registreret en near-miss kollision.
2 kollisioner skete i sejlrenden, 2 i indsejlingen til havnebassinerne og 2 i bassinerne. 2 af de 6 kollisioner endte med forlis.
6 af near-miss kollisionerne er sket i renden og 2 ved kajer.

Ved 37 af de 49 hændelser har der kun været et fartøj involveret, så ulykken kan i disse tilfælde skyldes en menneskelig faktor eller skibstekniske forhold.
På skemaerne med registrerede uheld er en særlig kolonne til udslip. Der er ikke noteret udslip i perioden. Dette skyldes sandsynligvis at grundstødninger langs sejlrenderne og ved indsejlingen sjældent har givet udslip efter skader på skroget, da havbunden oftest er sandet eller blød.
Der er ikke registreret uheld mellem den langsgående havnetrafik og tværgående færgetrafik og kun en enkelt near-miss hændelse i forbindelse med lystfartøjer er rapporteret i det område.
Der har været 2 hændelser, hvor et fortøjet skib har været betænkelig ved interaktionskræfter ved en for hurtig eller for tæt skibspassage.
Af de 49 hændelser var der 8 tilfælde i sejlrenden, hvor to skibe var indblandet.

6.3 Risikovurdering før og efter udbygningen med Etape 5.

Risikoen defineres som uheldsfrekvens*konsekvens for det enkelte skibsanløb.
På grundlag af de historiske registreringer vurderes risikoen for enkelt-fartøjs-uheld til at være uafhængig af det samlede antal årlige anløb. Med 2 fartøjer impliceret vil risikoen for kollision stige ved flere anløb pr. år, men da der kun har været 6 kollisioner på 16 år, vurderes denne risiko fortsat til at være lav. Den samlede effekt, der defineres som risikoen*antal anløb pr. år, skønnes derfor i udgangspunktet at blive proportional med anløbene og den antages derfor at øges med 16% (7.247/6.252=1,16) uden forebyggende indsats. Se bilag 4.

Risikoen for uheld forventes dog reduceret da:

- Overblikket over skibstrafikken og information om besejlingsforholdene og -betingelser til stadighed forbedres ved hjælp af AIS, digitale søkort, digital afmærkning og nye internetværktøjer med oplysninger om vind og vand.
- Sejlrenden foran Atlantkaj gøres bredere.

7 FOREBYGGENDE INDSATS.

I Esbjerg området er der allerede implementeret en del foranstaltninger for at reducere risikoen for skader på miljøet ved besejling af havnen:

a. Trafikovervågning (24/7/365).
b. Bugserassistance til rådighed.
c. Lodser til rådighed
d. Miljøberedskab disponibelt i havneområdet, hvis uheldet er ude.

7.1 Gennemførte tiltag, restriktioner og afværgeforanstaltninger.

I forbindelse med Etape 3 og 4 blev nedenstående tiltag taget i brug for at begrænse risikoen for og konsekvenserne af uheld. Disse har også relevans for Etape 5:

- Havnevagten orienterer den øvrige skibstrafik, når installationsfartøjer med stor bredde skal benytte sejlrenden.
- Det lokale beredskab vil blive informeret om havneudvidelsen og uheldsscenarier, der vil kunne finde sted i de nye områder, vil blive vurderet og en indsatsstrategi lagt.
- Mange af de fartøjer, der anløber Esbjerg havn har et beredskabspotentiale qua deres funktion ved offshoreinstallationer eller vindmøller og vil kunne inddrages i det omfang de er bemandede. Havnevagten er orienteret om hvilke skibe der ligger i havn og vil kunne vejlede Beredskabet om kontaktpersoner.

Andre forhold til gunst for den fremtidige besejling af Østhavnsområdet:

- DFDS's RO/RO fartøjer er flyttet fra Færgehavnen til Østhavnen, så sammenblanding med færgetrafikken i indsejlingen til Sønderhavn undgås.
- Bredere sejlrende muliggør en højere fart og kan derved forbedre styreegenskaberne for det passerende skibe og mindsker interaktionskræfterne mellem dette og et fortøjet skib ved strømkajerne f.eks. ved Australienskaj.
- Etape 5 giver læ for strømmen foran indsejlingen til Østhavnsbassinet.
- Fartrestriktioner i havneområdet kan indføres.

7 KONKLUSION

De besejlingsmæssige forhold er fundet tilfredstillingen ved en simulering (Bilag 6), hvor skibsfører og lods på tilfredsstillende vis har gennemsejlet en række scenarier med forskellige skibstyper og under forskellige vejrforhold.

Selv om den kommercielle skibstrafik forøges med 16 %, når Etape 5 faciliteterne bliver fuldt udnyttet, vurderes risikoen for, at der sker ulykker med miljømæssige konsekvenser for det enkelte skib at forblive på samme niveau eller lavere.
Med de forebyggende tiltag bl.a. flere digitale hjælpemidler, en enklere trafikafvikling omkring indsejlingen til Sønderhavn og en bredere sejlrende udfor Atlantkaj forventes effekten af hændelser med potentiel indvirkning på miljøet fortsat at være proportionalt med det samlede antal skibsanløb. Det betragter vi, som et acceptabelt kriterium for godkendelse af sikkerheden ved besejling af Esbjerg havn.

9 BILAG

Bilag 1, Udsnit af søkort.
Bilag 2, Årstrafik og prognose.
Bilag 3, Fordeling af trafikken på havneområder.
Bilag 4, Hændelser og konsekvensklasser.
Bilag 5, Position for hændelser.
Bilag 6, Sejlads i Udvidelse af Esbjerg Havn

10 REFERENCER

(l) Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for use in the IMO Rule-Making. Process, 5 April 2002.

Bilag 1

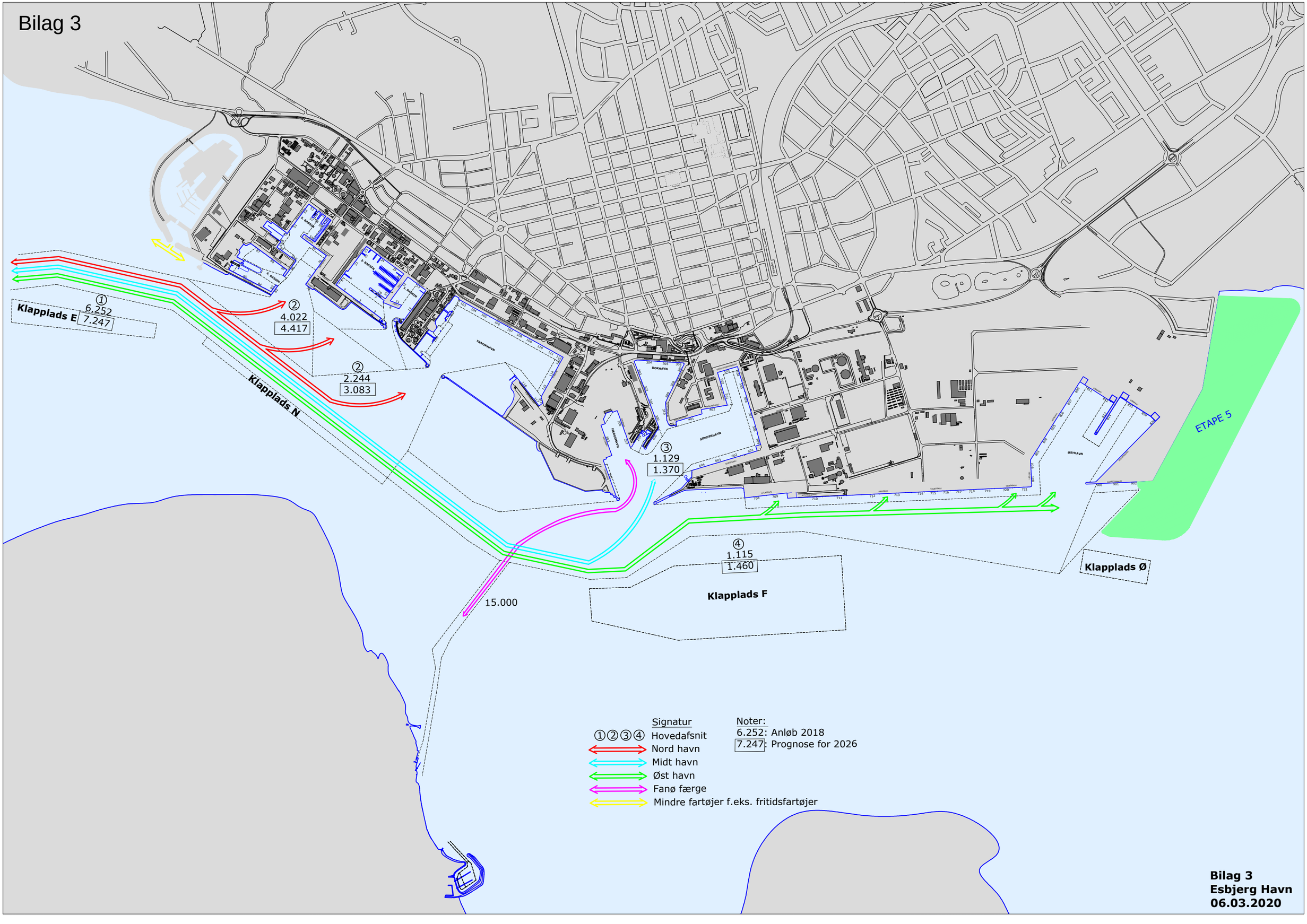
ESBJERG
Havn 10.3m
Jerne
TJÆREBOR
GAMMELBY
Vindmøllepark
AeroFl.1.5s
251m 12M
(3vert)
Skst
Oc(2)WRG
Oc.WRG
LANGLI SAND
Forbudt område
Entry Prohibited
Q(6)+LFl.15s
Grisen
FANØ SANDENDE
GRØNNINGEN
Hamborgdyb
SØREN
JESSENS
SAND
NORDBY
Havn 2.7m
Kikkebjerg
Havn 1.8m
NÆS SØJORD
HALEN
Fanø
Vesterhavsbad
Rindby
TØRRE BJÆLKE
VÅDE BJÆLKE
Losseplads
Våde Bjælke
(afm)
Losseplads
Spoil Ground
2b
GRÅDYB
See Note
Particularly Sensitive Sea Area (see Note)
PSSA
Racon(G)
LFl.10s
Kort 95
INT 1451
Sædding Strand F & 2lso=053.8°
RYGGEN
Losseplads
Spoil Ground
3b
FANØ
BUGT
Magnetic Variation 1°20'E 2013 (8'E)
Fl(5)Y.20s
Recording station
FANØ
Hansodde
FANØ
KLITPLANTAGE
ALBUEN
Lundvig Løb
Buoyed Channel (1.5.-15.11.) (see Note)
Afmærket Løb (1.5.-15.11.) (see Note)
VESE BANKE
KLYNGVESE SAND
PENDERSAND
TRINDEN
FUGLSAND
Forbudt område
Entry Prohibited
Sønderho
Feriekoloni
Hønen
Buoyed (1.4.-15.11.)
GALGEREVET
Afmærket Løb (1.4.-15.11.)
KELDSAND
Sønderkeldsand Løb
Buoyed (1.5.-15.11.) (see Note)
Galgedyb
INDRE KNUDE
Langjord
PETER
MEYERS SAND
KNUDEDYB
KNOBEN
FLAKSTJÆRTEN
Jørgens Lo
Jens K
Kelding Lo
8°30'E

Bilag 2

Anløb fordelt på skibstyper

SKIBSTYPER	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Prognose Forv. 2026	Vurdering af fordeling på hovedafsnit, se bilag 3			
								1	2	3	4
Offshore oil and gas	1.196	1.358	1.467	1.328	1.030	1.153	**1.328**		133	1.195	
Offshore wind	602	1.180	1.976	2.203	1.528	1.717	**2.387**		2.200		187
Cargo	1.833	1.934	1.747	1.728	1.812	1.776	**2.154**		800	96	1.258
Passager-og specialfartøjer	32	126	118	64	55	60	**76**		76		
Fiskefartøjer	984	975	950	1.145	1.157	1.376	**1.145**		1.145		
Andet	251	359	174	157	185	183	**157**		63	79	15
Total	4.898	5.932	6.432	6.625	5.867	6.265	**7.247**	**7.247**	**4417/3038**	**1.370**	**1.460**

Bilag 3

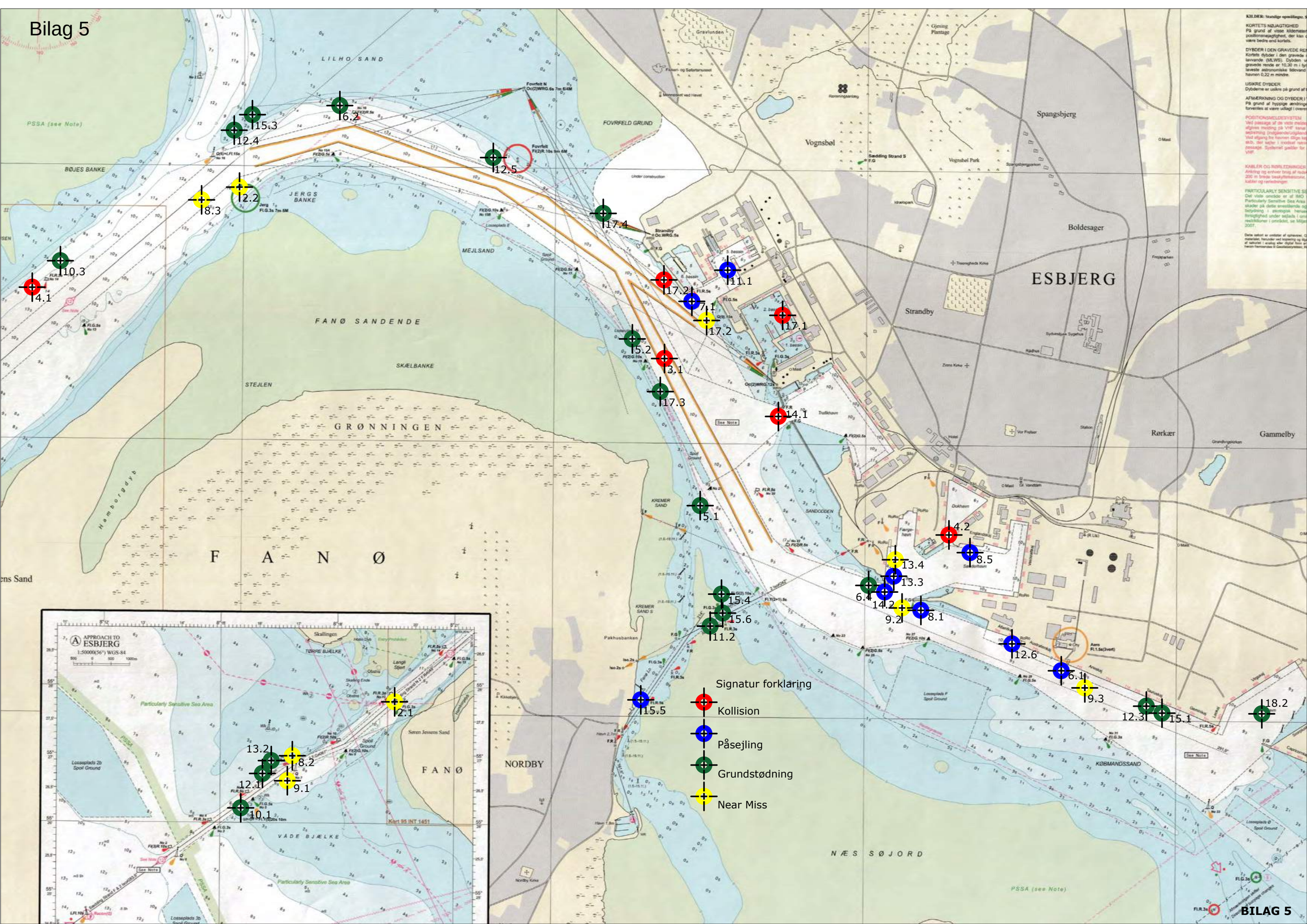


Bilag 3
Esbjerg Havn
06.03.2020

Bilag 4

	SEJLADSRISIKO								Miljø				
	HÆNDELSER I PERIODEN 2002 TIL 2018								Konsekvens				
				Kollision	Påsejling	Grundstødning	Interaktion	Near-miss	klasse				
2.1	2002	13-aug	Adelbjørg foretager U-vending foran Dana Anglia, bøje 12					*	1				
2.2		04-dec	Glarea og Grande Scandinavia tøt på kollision					*	1				
3.1	2003	26-apr	Kollision mellem Zeran og S/P Toste ved bøje 19	*					3	3			
4.1	2004	26-sep	Kollision mellem Ocean Ady og Thor R, bøje 14. Thor R sank	*					4	3			
4.2		08-nov	L/F Victoria påsejler Menja ved kaj?. Fører beruset	*					1	1			
5.1	2005	25-aug	Alex D grundstødt ved Kremersand			*			2			2	
5.2		27-nov	Nova Zeelandia grundstødt 50 m N for bøje 19			*			2			2	
6.1	2006	03-maj	Lady Chichester påsejler pumpehus kaj 711		*				2		2		
6.2		21-jun	Gran Bretagna grundstødt ved bøje 18			*			2			2	
6.3		21-sep	Tor Succia sejler tæt forbi L 432 midt i løb ved bøje 7 og 8					*	1				1
6.4		23-nov	Grand Scandinavia påsejler rødt fyr Sønderhavn og grundstøder		*	*			2		2	2	
7.1	2007	25-sep	Kirstine Thygesen påsejler Doggerkaj		*				2		2		
7.2		30-okt	NG 15 drejer ind foran Lyshav					*	1				1
8.1	2008	20-aug	Dana Sirena påsejler grønt molehoved ved Sønderhavn		*				2		2		
8.2	2008	25-aug	Fiskeri i den gravede rende, bøje 8					*	1				1
8.3	2008	12-okt	DFDS og lystbåd, Jerg fyr					*	1				1
8.4	2008	15-okt	Ankring mellem bøje 1 og 2					*	1				1
8.5		04-dec	Dana Sirena påsejler pylon ved kaj 401		*				2		2		
9.1	2009	05-jan	Trud-R og Flinterhunze near-miss kollision, bøje 7					*	1				1
9.2	2009	05-mar	Farlig sejlads, indsejling Sønderhavn				*		1				
9.3	2009	28-jul	For hurtig sejlads, Arieskaj				*		1				
10.1	2010	14-jan	Grande Scandinavia bundberøring, bøje 5			*			1			1	
10.2	2010	02-feb	Mistet kommando fiskefartøj p.g.a. isflage, bøje 19					*	1				1
10.3	2010	28-jun	Grundstødning ved black out BBC KONAN bøje 13/14			*			2			1	
11.1	2011	01-jul	Kajpåsejling M/T Kaprifol kaj 069		*				1		1		
11.2	2011	30-okt	M/F fenja grundstødt Slunden			*			2			1	
12.1	2012	25-jan	Havila Neptune grundstødt bøje 8			*			2			2	
12.2	2012	25-jan	Pachuca black out ved broerig					*	1				1
12.3	2012	26-jan	Sand Heron graundstødt kaj 716			*			1			1	
12.4	2012	06-jun	Sato Galicia grundstødt bøje 16			*			1			1	
12.5	2012	11-okt	Esvaggt Corona grundstødt Fourfeldt Fyr			*			1			1	
12.6	2012	21-okt	Clementine kajpåsejling, spritus, kaj 709		*				1		1		
13.1	2013	26-maj	L610 farlig Sejlads, Sejlløbet					*	1				1
13.2	2013	08-aug	Frifjord udenfor sejlløbet, bøje 7-8					*	1				1
13.3	2013	02-nov	BBC Queensland mistet kommande, kaj 201		*				1		1		
13.4	2013	14-dec	DFDFS bekymret over JUV SEAFOX V ved kaj 201					*	1				1
14.1	2014	07-aug	Kollision Diver Master og Kreuzenstern. DB synker	*					4	4			
14.2	2014	18-mar	Pacific Ospery påsejling molehoved, kaj 201		*				1		1		
14.3	2014	23-okt	FF Ruen Egholm på grund ved bøje 6			*			1			1	
15.1	2015	28-mar	Glarea grundstødt i Grådyb			*			1			1	
15.2		05-sep	Esvagt Beta grundberøring i Grådyb			*			1			1	
15.3		06-sep	Felis grundstødt i Grådyb			*			1			1	
15.4		06-nov	Fenja grundstødt ud for Esbjerg			*			1			1	
15.5		09-nov	Menja påsejler kaj i Esbjerg (Nordby!)		*				1		1		
15.6		15-dec	Fenja grundstødt ud for Esbjerg			*			1			1	
16.1	2016	25-okt	Mærsk Frontier lækker olie i Nordsøen						3	udenfor			
17.1	2017	21-mar	Kollision mellem Toste og Niels Iversen	*					2	2			
17.2		10-apr	Rota Vente påsejler/kolliderer med Maersk Resolute og M Resolve	*					2	2			
17.3		26-maj	Grande Ellade mulig grundstødning			*			1			1	
17.4		27-sep	Soundlink med pram grundberøring			*			1			1	
18.1	2018	02-apr	Key South kolliderer med Samantha off Grådyb	(*)					udenfor				
18.2		29-jun	Annette grundstødt i Esbjerg Havn			(*)			udenfor				
18.3		25-jul	Nordsøen kolliderer med Astragale ved Horns Rev	(*)					udenfor				
18.4		15-aug	Symphony Sea mulig grundstødning i Grådyb			*			1			1	
	17	år	Antal	6	10	20		11		15	15	25	11
			Frekvens. Hændelse/år.	0,35	0,59	1,18	-	0,65	gen. Kons.kl	2,5	1,5	1,25	1
			Konsekvens,	2,5	1,5	1,25	0	1	Effekt				
			Effekt, kons.*frekvens	0,88	0,88	1,47	-	0,65	**3,88**	For 2018 med			
			Proportionalitets betragtning	2018	2030								
			Total fra skema bilag 2	6.265	7.500				**4,65**				
			Total excl. Fishing og CTV	3.251	4.155								

Bilag 5



BILAG 5

Bilag 6

Sejlads i Udvidelse af Esbjerg Havn

Etape 5 & 6

Esbjerg Havn

FORCE 118-35054/ Rev. A0

Project No. and Title of Report:

FORCE 118-35054

Sejlads i udvidelse af Esbjerg havn Etape 5 & 6

Client:	*Client's Ref.:*
Esbjerg Havn	Hr. Kjeld Dahl Sørensen
Author(s):	***Date:*** 20. december 2018
Senior Projektleder Niels Arndal Kaptajn Robert Smyth	***Approved by:***

A	For kundens kommentering	NIA/ROS	TOSO	PKS	20-12-2018
Rev.	***Description***	***By***	***Checked***	***Approved***	***Date***

Keywords:
Evaluering af sejlads på ny foreslået udvidelse af Esbjerg havn.
Sejlads med Car Carrier, Ro-Ro skib og Bulk Carrier.
Vektorslæbebåde.

Classification:

☐ **Open**

☐ **Internal**

■ **Confidential**

FORCE Technology, Kgs. Lyngby
Hjortekærsvej 99
2800 Kgs. Lyngby, Denmark
Tel +45 72 15 77 00
Fax +45 72 15 77 01

FORCE Technology Norway AS
Claude Monets allé 5
1338 Sandvika, Norway
Tel +47 64 00 35 00
Fax +47 64 00 35 01
info@forcetechnology.no

FORCE Technology, Sweden AB
Tallmätargatan 7
721 34 Västerås, Sweden
Tel +46 (0)21 490 3000
Fax +46 (0)21 490 3001
info@forcetechnology.se

FORCE Technology, Headquarters
Park Allé 345
2605 Brøndby, Denmark
Tel +45 43 26 70 00
Fax +45 43 26 70 11
info@forcetechnology.com
www.forcetechnology.com

Indholdsfortegnelse

Side:

1. INTRODUKTION 1
1.1. Formål 2
2. RESUMÉ OG OBSERVATIONER 3
2.1. Resumé 3
2.2. Observationer 4
3. KONKLUSIONER OG ANBEFALINGER 6
3.1. Konklusioner 6
3.1.1. Generelt 6
3.1.2. Ro-Ro skib 6
3.1.3. Car Carrier 6
3.1.4. Bulk Carrier 6
3.2. Anbefalinger 7
3.2.1. Generelt 7
3.2.2. Ro-Ro skib 7
3.2.3. Car Carrier 7
3.2.4. Bulk Carrier 7
4. METODE 8
4.1. Set-up, simulering og debriefing 8
4.2. Resultat 9
5. BESKRIVELSE AF SKIBENE 10
5.1. Car Carrier, 230,0 m (3557) 10
5.2. Ro-Ro, 237,4 m (3895) 11
5.3. Bulk Carrier, 228,6 m (3234) 12
6. MATEMATISK MODEL AF ESBJERG HAVN 13
6.1. Overblik 13
6.2. Vanddybder 14
6.3. Land, mærker og ledelinjer 15
6.4. Vind 16
6.5. Strøm 17
6.6. Bølger 17
7. SIMULATOR 18
7.1. Simuleringsprocedure, Bro "C" 18
8. DOKUMENTATION AF SIMULERINGERNE 19
8.1. Geografiske figurer af løbene 19

Appendiks A: Sejladsplot og kommentarer
Appendiks B: Skibsbeskrivelser
Appendiks C: Områdebeskrivelse
Appendiks D: Vindbeskrivelse
Appendiks E: Fotos

1. Introduktion

"FORCE Technology, Divisionen for Maritim Industri" (DMI), er blevet kontaktet af Esbjerg Havn med henblik på at udføre et simuleringsstudie for at vurdere en foreslået udvidelse af havnen (Etape 5 & 6).

Baggrunden for studiet er, at der er et ønske om at udvide Esbjerg havn med henblik på at øge kapaciteten i havnen.

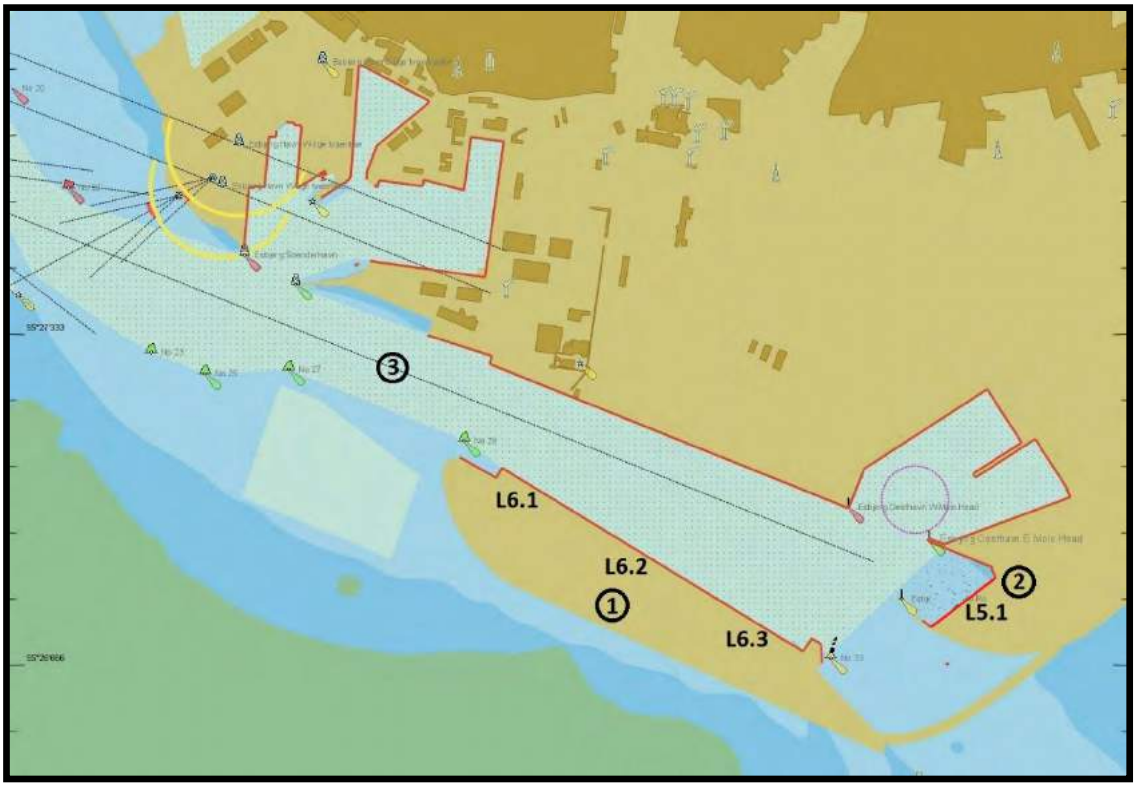
Denne rapport beskriver de simuleringer, der blev udført hos FORCE Technology, Divisionen for Maritim Industri (DMI), fra den 10. december til og med den 11. december 2018 for Esbjerg Havn. En lods fra DanPilot og to kaptajner fra DFDS med erfaring i sejlads på Esbjerg Havn førte skibene under sejladssimuleringerne.

Udvidelsen omfatter en ny Ro-Ro kaj ved den østlige mole ved indsejlingen til Østhavnen (etape 5). Se nr. 2 på figur 1.1. En ny ø overfor indsejlingen til Østhavnen med en 1400 m lang kaj (Etape 6). Se nr.1 på figur 1.1. Kajnumre (L5.1, L6.1, L6.2 og L6.3) fremgår af figur 1.1.

Udvidelsen omfatter yderligere en udvidelse af kanalen ned mod Østhavnen på 100 m, således at det i fremtiden vil være en 300 m bred kanal ud for Australienskaj (se nr. 3 på figur 1.1). Den garanterede dybde i kanalen vil fortsat være 9.3 m.

Den foreslåede udvidelse er vist på Figur 1.1.

Det skal bemærkes at dybderne leveret af DHI er ved daglig middel vandstand dvs. ca. 0,8 m mere vand end den garanterede dybde på 9,3 m. De leverede dybder korresponderer tidsmæssigt med de største strømhastigheder. De sidste to løb (211 og 212) blev kørt med 1.0 meter trukket ud af dybdekortet.



Figur 1-1 Plan over den foreslåede nye udvidelse.

Til studiet har Esbjerg Havn leveret tegninger af den nye udvidelse, og information om strøm er leveret af DHI.

Ud fra disse informationer blev der foreslået en liste over simulatorsejladser, en løbsliste, som efterfølgende blev justeret i forbindelse med simuleringerne. Se liste over udførte løb i afsnit 8.1.

Simuleringerne blev udført i FORCE Technologys full-mission simulator, Bro C.

Skibene, der blev benyttet til simuleringerne, var en Car Carrier, en Bulk Carrier og et Ro-Ro skib med følgende hoveddata:

- Skib 3557, Car Carrier (230,0 m x 32,2 m x 8,8 m/8,8 m)
- Skib 3234, Bulk Carrier (228,6 m x 32,2 m x 8,0 m/8,0 m)
- Skib 3895, Ro-Ro, (237,4 m x 33,0 m x 7,0 m/7,0 m)

Til studiet blev der lavet en ny database af Esbjerg Havn kaldet ”Esbjerg_udv_2018” med de nye udvidelser.

Der blev gennemført 22 full-mission sejladser i løbet af den 10. og den 11. december 2018. Plot af alle løbene samt kommentarer til de enkelte løb findes i Appendiks A.

Løbene blev udført under ekstreme kombinationer af strøm og vind dvs. op til 4 knob strøm og vindhastigheder på 15 m/s.

1.1. Formål

Formålet med simuleringsstudiet er at:

- at teste ekstreme situationer mht. vind og strøm for de tre skibstyper, Ro-Ro skibe, Car Carriers og Bulk Carriers ved ankomst/afgang fra den nye ø's kajer.
- at teste brug af slæbebåde i ovennævnte situationer.
- at vurdere størrelse og placering af svajebassinet.

2. Resumé og observationer

2.1. Resumé

Simuleringerne blev udført over to dage hos FORCE Technology i Lyngby, den 10. december og 11. december 2018.

Følgende deltog i simuleringerne:

Kjeld D. Sørensen	**Teknisk Chef**	**Esbjerg Havn**
Jesper Jørgensen	**Ingeniør**	**Esbjerg Havn**
Michael Fries	**Teamleder**	**Esbjerg Havn**
Jens Peter Fjord	**Lods**	**Danpilot**
Jørgen Guldager	**Kaptajn**	**DFDS**
Niels Vestergaard	**Kaptajn**	**DFDS**
Robert Smyth (Bob)	**Instruktør, Kaptajn**	**FORCE Technology**
Niels Arndal	**Senior Project Manager, M. Sc.**	**FORCE Technology**
Allan Walbum	**Facility Manager, Marine Eng.**	**FORCE Technology**

Tabel 2-1 deltagere

FORCE Technologys eksisterende Esbjerg Havn database blev opgraderet med den nye ø og Ro-Ro kaj iflg. tegninger leveret af Esbjerg Havn. Den resterende del af databasen er udviklet på grundlag af oplysninger fra eksisterende søkort udgivet af Geodatastyrelsen.

Der blev gennemført 8 sejladser med Ro-Ro skibet, 8 sejladser med Car Carrieren og 6 sejladser med Bulk Carrieren. Der blev udført et løb med et mindre Ro-Ro skib 3297.

Der blev simuleret med vind fra sydvest, østnordøst, nordvest og nordøst op til 15 m/s (30 knob), strøm gående enten mod nordvest eller sydøst op til 4,0 knob (2 m/s). Se løbsliste i sektion 8.1.

Vindretningerne, som blev anvendt under simuleringerne, valgtes ud fra kriteriet om, at de skulle repræsentere de værst tænkelige for sejladserne kombineret med strømmen: Vinde på tværs af skibenes sejlretning under manøvre. Dette blev afstemt med deltagerne.

Strømmen blev valgt, så den i kombination med vind skabte de vanskeligste forhold for sejlads enten nordvest-gående elle sydøst-gående. Løbene blev udført under ekstreme forhold dvs. op til 4 knob strøm og vindhastigheder på 15 m/s.

Bølger i Esbjerg betragtes som ubetydelige inde i det simulerede område, dvs. i renden og ved den nye udvidelse.

Dybder er baseret på data leveret af DHI (surveys og de ønskede dybder i nyt område) samt fra søkort fra Geodatastyrelsen. Strøm er baseret på beregninger fra Mike21 leveret af DHI. Strømmen og dybderne er korreleret dvs. at de leverede dybder og strøm er sammenhængende scenarier.

Under simuleringerne var der mulighed for, at alle kunne fremlægge deres input og holdninger til de valgte scenarier.

Efter hvert løb udfyldte lodsen og DFDS-kaptajnerne et skema med deres kommentarer til den netop gennemførte sejlads. Dette, sammen med FORCE Technology instruktørens vurdering af sejladsen, udgjorde grundlaget for at kunne konkludere på sejladsen.

Efter dagens sejladser blev resultater og vurderinger opsummeret, og en fælles konklusion af sejladserne blev udfærdiget. Sejladsplot af løbene findes i Appendiks A sammen med lodsens og DFDS-kaptajnernes kommentarer.

2.2. Observationer

Anløb kan deles op i følgende elementer:

1. Fra sejlrenden langs Esbjerg Havn sejles ned mod den nye ø.
2. Svajning i svajebassinet ved indsejlingen til Østhavnen.
3. Manøvrering ind til kaj på den nye ø.

Under sejladsen blev der holdt en fart på omkring 6 - 8 knob for at være i stand til at håndtere strømmen og vinden, hvorefter skibet blev stoppet i eller ved svajebassinet.

Alle ankomster startede ved Sønderhavnen.

Lodsen bemærkede at den udvidede rende var en stor fordel og at det kunne mærkes at renden udvides fra 200 m til 300 m ud for Australienskajen, da der kan holdes større afstand til skibe ved Australienskajen.

Lodsen udtalte at disse operationer formentligt skulle foretages på tidspunkter hvor strømmen er svag.

Det blev klart under simuleringerne, at når der sejles under disse forhold vil det være nødvendig med en fornuftig planlægning, således at der svajes så der er plads til at drive for strømmen og der samtidig tages højde for vinden.

Dag 1

Der blev gennemført 10 sejladser på dag 1.

Ro-Ro skib
Fire ankomster og to afgange på kaj L6.3 med Ro-Ro skibet (3895), en ankomst til kaj L5.1 med samme skib og en ankomst med Ro-Ro skib 3297. De to løb på kaj L5.1 er ikke tilstrækkeligt til at lave konklusioner på, da der ikke er nok data (situationer der er testet).

Den stærke strøm bevirker, når der svajes med Ro-Ro skibet ud for den nye ø, at skibet driver langt, op til 600 m, før den kommer rundt.

Der skal holdes god afstand ind til installationsskibet som er jacked-up ved "Geminikaj".

Ved afgang med 15 m/s vind er det meget svært at løfte agterenden af Ro-Ro skibet uden brug af slæbebåd, desuden må bruges fuld skrue og ror hvilket vil øge risiko for skade på spuns.

Car Carrier
Der blev udført to ankomster på kaj L6.3 med Car Carrieren (3557). Ankomster med Car Carrieren foregik med hjælp af slæbebåd sat fast center agter som trak med 100%. Skibet blev vinklet så strøm og vind kunne hjælpe med manøvren. Slæbebåd flyttes til midtskibs for at skubbe, når skibet ligger ud for kajen, men den kan ikke skubbe skibet til kaj ved 15 m/s vind fra kaj.

Dag 2

Der blev gennemført 12 sejladser på dag 2.

Car Carrier
Tre ankomster og tre afgange fra kaj L6.3 med Car Carrieren. Ved ankomst med Car Carrieren er der to slæbebåde sat fast, én center agter i trosse og én midtskibs for at skubbe/trække. Skibet kommer meget hurtigt rundt, men kan stoppes og anduvning var kontrolleret.

Ved afgange med Car Carrieren er der to slæbebåde sat fast, én center agter i trosse og én center foran i trosse. Afgange i vind på 15 m/s på kajen skal al tilgængelig slæbebåds- og thrusterkraft bruges for at løfte skibet fra kajen.

Der skal der sejles med god fart (6 til 8 knob) for at undgå drift af skibet.

Bulk Carrier
Der blev gennemført tre ankomster til kaj L6.2 og tre afgange fra kaj L6.1 med Bulk carrieren.

Ved ankomster var der én slæbebåd center agter og én på skulderen. Skibet er meget tungt at manøvrere og der er lidt problemer med at manøvrere i den stærke strøm.

Ved afgange var der én slæbebåd center agter og én center for. Der må anvendes stor kraft fra slæbebådene for at komme fra kaj ved vind 15 m/s på kajen. Den stærke strøm er en udfordring, da den får skibet til at drive så snart den får fat.

3. Konklusioner og anbefalinger

3.1. Konklusioner

Konklusionerne er kun relateret til de simulerede skibe under de simulerede vejrforhold. Konklusioner og anbefalinger bygger på et begrænset antal simuleringer.

Konklusioner og anbefalinger er opnået i fællesskab med de deltagerne (Esbjerg Havn, Lods og DFDS-kaptajner) og reflekterer konsensus mellem de deltagende parter.

3.1.1. Generelt

Generelt kan det siges at der er mindre risiko ved udgående strøm end ved indgående strøm idet skibet ved udgående strøm bliver skubbet ud af havnen i stedet for at blive skubbet mod syd ned mod det lave vand SSØ for den nye ø.

Svajebassinet har en god placering og er tilstrækkeligt stort for de simulerede skibe.

Det er en forbedring at kanalen udvides til 300 m, som simuleret.

Det skal nævnes at det i simulatoren ikke var muligt at bruge den normale strategi for afgange i stærk vind, idet det ikke var muligt at fiksere boven til kajen og svinge agterenden ud for at tillade strømmen at virke mellem skib og kaj. I virkeligheden vil denne strategi være effektiv i de simulerede forhold.

3.1.2. Ro-Ro skib

Ro-Ro skibet kan anløbe den nye Esbjerg Havn (etape 5 & 6) sikkert i vind op til 15 m/s fra de simulerede retninger og med strøm op til 2,5 knob.

Ved afgang vil grænsen for vindhastighed være lavere, idet der var problemer med at løfte skibet af kajen når vinden blæser mod kajen med 15m/s.

3.1.3. Car Carrier

Car Carrieren kan anløbe den nye Esbjerg Havn (etape 5 & 6) sikkert i vind op til 15 m/s fra de simulerede retninger og med strøm op til 2,5 knob ved brug af slæbebåd på 60 t.

3.1.4. Bulk Carrier

Bulk Carrieren kan anløbe den nye Esbjerg Havn (etape 5 & 6) sikkert i vind op til 15 m/s fra de simulerede retninger og med strøm op til 2,5 knob ved brug af to slæbebåde på 60 t.

Afgange viste sig at være problematiske i de simulerede forhold uden en ordentlig strategi. Det var muligt at løfte skibet fra kaj uden problemer ved hjælp af to slæbebåde på 60 t, men en klar strategi behøves for at kunne svaje skibet sikkert i svajebassinet under de simulerede forhold. Først og fremmest er det nødvendigt at skibet bringes i den optimale position (afhængig af hvilken kaj der skal tilgås) for at svinge, når der er skibe ved kaj på hver side af kanalen.

Hvis man skal svinge skibet sikkert så skal det være stoppet før svinget begyndes og det skal gøres ved slæk vande.

Kombination at stærk strøm og 15 m/s vind er ikke sikkert for Bulk Carrieren.

Esbjerg havn oplyser at Installationsskibe er jacked-up når de ligger ved kaj og er designet til at kunne tage en 100 års hændelse, så de burde ikke have problemer med wash fra slæbebådene.

3.2. Anbefalinger

På baggrund af simuleringerne og de afsluttende diskussioner blev følgende anbefalinger givet:

3.2.1. Generelt

Det vil være fordelagtigt, hvis der bliver opsat en vind og en strømmåler der kan tilgås før ankomst og afgang.

Det anbefales, at ankomster og afgange foretages på slæk vand, hvis muligt.

Det anbefales at skibe er fortøjet bagbords side til kajen.

Det anbefales at der udvikles en strategi til at svinge skibene i svajebassinet for både ankomster og afgange. Strategien skal tage højde for vind kombineret med strøm, således at der er plads til afdrift i kanalen. Det er kaptajne i samarbjde med lodsen der lægger strategien.

Det blev anbefalet at Esbjerg Havn udformer nogle regler om at skibe i modstrøm viger for skibe i medstrøm.

DanPilot anbefaler at ankomst/afgang med Bulk Carriers over 170 m skal foregå ved slæk vand.

3.2.2. Ro-Ro skib

For ankomster til kaj L6.3 under forhold som de simulerede, anbefales det at der er ekstra opmærksomhed på skib (installationsskib) fortøjret ved "Gemini"-kajen.

Det anbefales at have mindst en slæbebåd til rådighed til at løfte skibet fra kajen ved afgange hvor vinden blæser mod kajen med 15 m/s.

3.2.3. Car Carrier

Det anbefales at have mindst en slæbebåd til rådighed for ankomster og afgange i forhold som de simulerede. Slæbebåden bør sættes fast center agter for øge skibets styrbarhed ved lavere hastighed.

3.2.4. Bulk Carrier

Det anbefales at bruge to slæbebåde på 60 tons til både ankomster og afgange under forhold som de simulerede.

4. Metode

For at finde de begrænsende faktorer for sejlads ind/ud af den foreslåede udvidelse af Esbjerg Havn blev der udført et antal realtids-simuleringer med et Ro-Ro skib, en Car Carrier og en Bulk Carrier. Scenarierne, som blev sat op, var lavet ud fra de beregnede forhold i den nye Esbjerg Havn, dvs. vind fra sydlige og nordlige retninger, samt strøm, der er nordvest-gående eller sydvest-gående.

Det er vigtigt, at løbsmatricen udvikles således, at den dækker så mange scenarier som muligt for at kunne opfylde formålet i den tid, der er til rådighed, dvs. at den i de fleste tilfælde vil være et kompromis mellem alle de ønskede scenarier og de scenarier, der kan nås på den tid, der er til rådighed, dvs. at løbsmatricen ofte dækker de værst tænkelige forhold for sejladsen.

Til projektet blev der lavet en version af den nye Esbjerg Havn (Esbjerg_udv_2018), som indeholdt nye dybder for området omkring Esbjerg havn og den nye ø, med en kaj på 1400 m.

De nye dybder blev lavet af DHI ud fra et ønske om at kunne tilbyde en garanteret dybde på 9.3 m i havnen inklusiv en udvidelse af bredden på kanalen på 100 m så den i fremtiden vil være 300 m bred. Under simuleringerne kan dybderne ændres, for simulering af tidevand, ved at enten lægge vand til eller trække vand ud.

Desuden blev der brugt to strømscenarier, et nordvest-gående og et sydøst-gående leveret af DHI. Under simuleringerne kan strømhastigheden ændres ved at gange med en faktor på hele strømscenariet, hvorved strømhastigheden ændres, mens de oprindelige retninger beholdes.

Tre skibe blev valgt ud fra FORCE Technologys skibsdatabase:

- Skib 3557, Car Carrier (230,0 m x 32,2 m x 8,8 m/8,8 m)
- Skib 3234, Bulk Carrier (228,6 m x 32,2 m x 8,0 m/8,0 m)
- Skib 3895, Ro-Ro, (237,4 m x 33,0 m x 7,0 m/7,0 m)

Der var desuden følgende vektorslæbebåde til rådighed:

- Tre ASD på 60 t pæletræk.
- En ASD på 50 t pæletræk

En DanPilot lods og to kaptajner fra DFDS som har stor erfaring med anløb af Esbjerg Havn, førte skibene under sejladssimuleringerne.

Resultaterne fra simuleringerne blev brugt til at vurdere, om det er muligt, og under hvilke forhold det er sikkert at besejle den nye udvidelse af Esbjerg Havn.

4.1. Set-up, simulering og debriefing

For at udføre simuleringerne blev der lavet en løbsmatrice (se sektion 8) med kombinationer af:

- vind
- strøm
- skibsstørrelse

Disse scenarier blev sat op i simulatoren, og en lokalkendt lods fra DanPilot og to kaptajner fra DFDS udførte derefter sejladserne på en af FORCE Technologys simulatorer, som er beskrevet i sektion 7.

For hver sejlads blev et stort antal variabler logget for senere at kunne blive genspillet i FORCE Technologys replay-program. Eksempler på variabler er:

- fart
- afstand fra køl til bund (under keel clearance)
- squat
- heave
- roll
- pitch
- osv.

Efter hver sejlads udfyldte kaptajnen/lodsen et evalueringsskema, hvor han bedømte løbet og beskrev, hvordan han havde udført løbet og vurderede sikkerheden.

Efter dagens simuleringer blev der holdt et møde, hvor dagens sejladser blev gennemgået, og konklusioner og anbefalinger blev besluttet.

4.2. Rapportering af resultat

Resultatet af simuleringerne er en rapport der indeholder konklusioner og anbefalinger sat i forhold til formålet med simuleringerne. I dette tilfælde er formålet at afprøve sejlads i ekstreme forhold i den nye udvidelse af Esbjerg med de nævnte skibe evt. ved brug af slæbebåde.

Rapporten indeholder følgende:

- Formål
- Opsummering
- Beskrivelse af område og skibe
- Løbsliste
- Dokumentation af sejladserne: Figurer og kaptajners/lodsers kommentarer
- Konklusioner og anbefalinger
- Eventuelt tidsserier af relevante variabler, f.eks. hastighed og kurs

5. Beskrivelse af skibene

Skibene til simuleringerne var udvalgt på baggrund af forventede skibsstørrelser, der vil anløbe den nye havn i Esbjerg. En beskrivelse af skibene og standardmanøvrer er vist i Appendiks B.

5.1. Car Carrier, 230,0 m (3557)

Type of ship Condition Ship No.		Car Carrier Loaded 3557
Length between Perpendiculars	m	220.0
Length overall	m	230.0
Breadth moulded	m	32.2
Draught fore/aft	m	8.8 / 8.8
Displacement	m^3	38987
Wetted Surface	m^2	8263
Frontal wind Area	m^2	1142
Lateral wind Area	m^2	7132
Block Coefficient based on Lpp	-	0.6254
Trim by the Stern	%	0.0
Metacentric Height	m	1.0
LCB, % of LPP forw. of LPP/2	%	-1.55
Radius of Inertia, % of LPP	%	25
Type of Engine		Diesel
Number of Propellers		1
Type of Propellers		FP
Direction of Rotation		Clockwise
Number of Blades		4
Propeller Diameter	m	6.5
Pitch Ratio at 0.7R		0.97
Area Ratio		0.65
Shaft Power (ahead) total	kW	18000
Number of Rudders		1
Type of Rudders		Horn
Position off CL	m	0
Area of Rudder (movable part)	m^2	46.1
Total rudder Area/(LPP x T)	%	2.38
Turning Velocity of Rudder (two Pumps)	deg/s	4.6
Max. rudder Angle	deg	35
Anchor Weight	kg	2 x 33000
Chain Weight	kg/m	464
Number of bow Thrusters		1
Nominal bow thruster Power	kW	1500
Number of stern Thrusters		0

Figur 5-1 Skib nr. 3557, 230,0 m Car Carrier

5.2. Ro-Ro, 237,4 m (3895)

Type of ship Condition Ship No.		RO-RO Loaded 3895
Length between Perpendiculars	m	232.0
Length overall	m	237.4
Breadth moulded	m	33.00
Depth moulded	m	23.2
Draught fore/aft	m	7.00 / 7.00
Displacement	m^3	53591
Wetted Surface	m^2	8111
Frontal wind Area	m^2	1248
Lateral wind Area	m^2	6177
Block Coefficient based on L_{pp}	-	0.646
Trim by the Stern	%	0.00
Metacentric Height	m	2.0
LCB, % of L_{pp} forw. of $L_{pp}/2$	%	0.69
Radius of Inertia, % of L_{pp}	%	35.00
Type of Engine		DIESEL
Number of Propellers		2
Type of Propellers		CP
Direction of Rotation		Inward
Number of Blades		4
Propeller Diameter	m	5.75
Pitch Ratio at 0.7·R		1.22
Area Ratio (HSVA report)		0.59
Shaft Power (ahead) total	kW	28.480
Number of Rudders		2
Type of Rudders		Becker flap type
Position		Off center
Area of Rudder (movable part)	m^2	22.74 each
Total rudder Area/(L_{pp} x T)	%	2.80
Turning Velocity of Rudder (two Pumps)	deg./s	6.0
Max. rudder Angle	deg.	45.0
Anchor Weight	kg	9763
Chain Weight	kg/m	154
Number of bow Thrusters		2
Nominal bow thruster Power (total)	kW	4700 ~ 62.0 t
Number of stern Thrusters		0
Nominal stern thruster Power	kW	0

Figur 5-2 Skib nr. 3895, 237,4 m DFDS Ro-Ro

5.3. Bulk Carrier, 228,6 m (3234)

Type of ship Condition Ship No.		Bulk Carrier Ballast 3234
Length between Perpendiculars	m	218.70
Length overall	m	228.60
Breadth moulded	m	32.24
Depth moulded	m	21.60
Draught fore/aft	m	8.00/8.00
Displacement	m^3	45408
Wetted Surface	m^2	8900
Frontal wind Area	m^2	840
Lateral wind Area	m^2	3500
Block Coefficient	-	0.805
Trim by the Stern,	%	0.0
Metacentric Height	m	5.19
LCB, % of LPP forw. of LPP/2	%	-0.90
Radius of Inertia, % of LPP	%	25.0
Type of Engine		Diesel
Number of Propellers		1
Type of Propellers		FP
Direction of Rotation		Clockwise
Number of Blades		4
Propeller Diameter	m	7.20
Pitch Ratio at 0.7R		0.804
Area Ratio		0.46
Shaft Power (ahead) total	kW	8120
Number of Rudders		1
Type of Rudders		Spade
Position off CL	m	0
Area of Rudder	m^2	49.4
100 x total rudder Area/LBP x T		2.82
Turning Velocity of Rudder (two Pumps)	deg/s	4.6
Max. rudder Angle	deg	35
Anchor Weight	kg	8300
Chain Weight	kg/m	230
Number of bow Thrusters		1
Nominal bow thruster Power	kW	1472
Number of stern Thrusters		1
Nominal stern thruster Power	kW	1472

Figur 5-3 Skib nr. 3234, 228,6 m Bulk Carrier

6. Matematisk model af Esbjerg Havn

Dette afsnit giver en generel beskrivelse af den matematiske model af Esbjerg Havn.

Der blev til simuleringerne brugt en database af Esbjerg Havn kaldet ”Esbjerg_udv_2018”.

En beskrivelse findes i Appendiks C.

6.1. Overblik

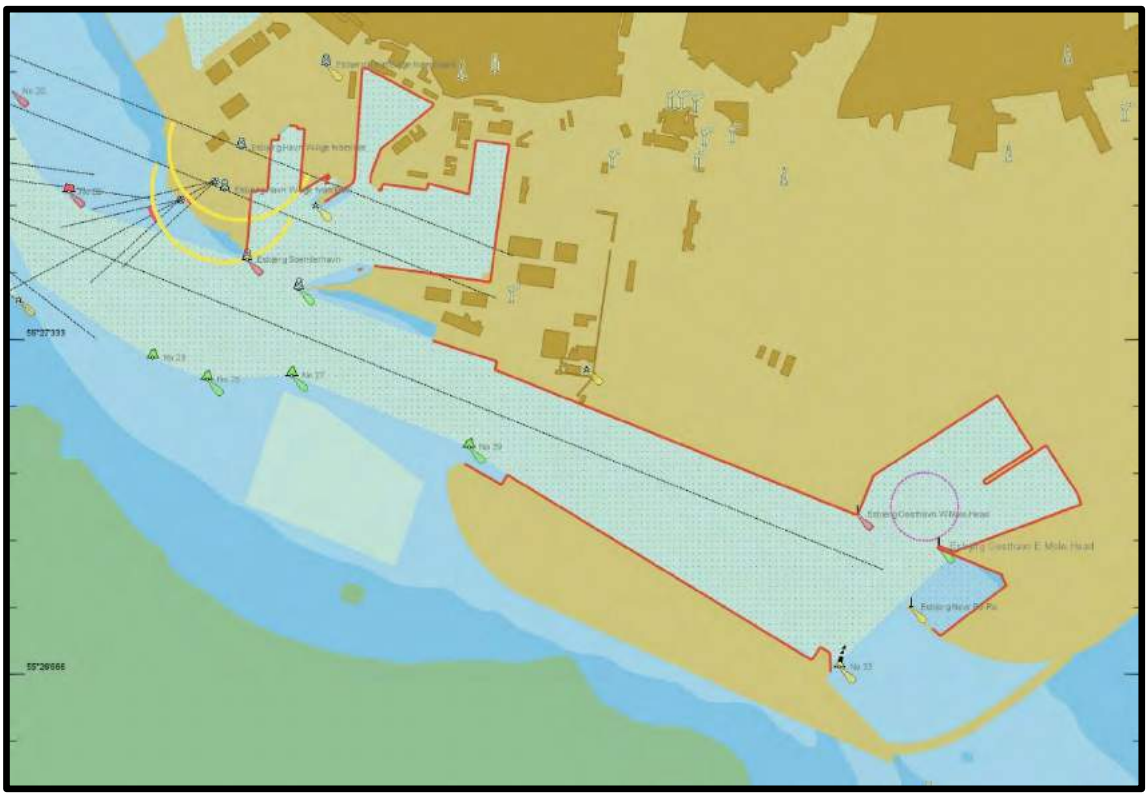
Den database som blev brugt til studiet blev udviklet på baggrund af en tidligere version lavet til en undersøgelse af Østhavnen i 2016. Den tidligere version blev opgraderet med de nye udvidelser leveret som tegninger fra Esbjerg havn. Se Figur 6-1.

Information om dybder og strøm blev leveret af DHI, beregnet baseret på den nye udformning. Se sektion 6.2 og 6.5.

Beskrivelsen af databasen indeholder følgende:

- Landkonturer, moler, kajer
- Vanddybder
- Strøm
- Bølger
- 3D grafisk definition

Visuel (3D) beskrivelsen er baseret på søkort, tegninger og fotos. Billeder af databasen er vist i Appendiks C.

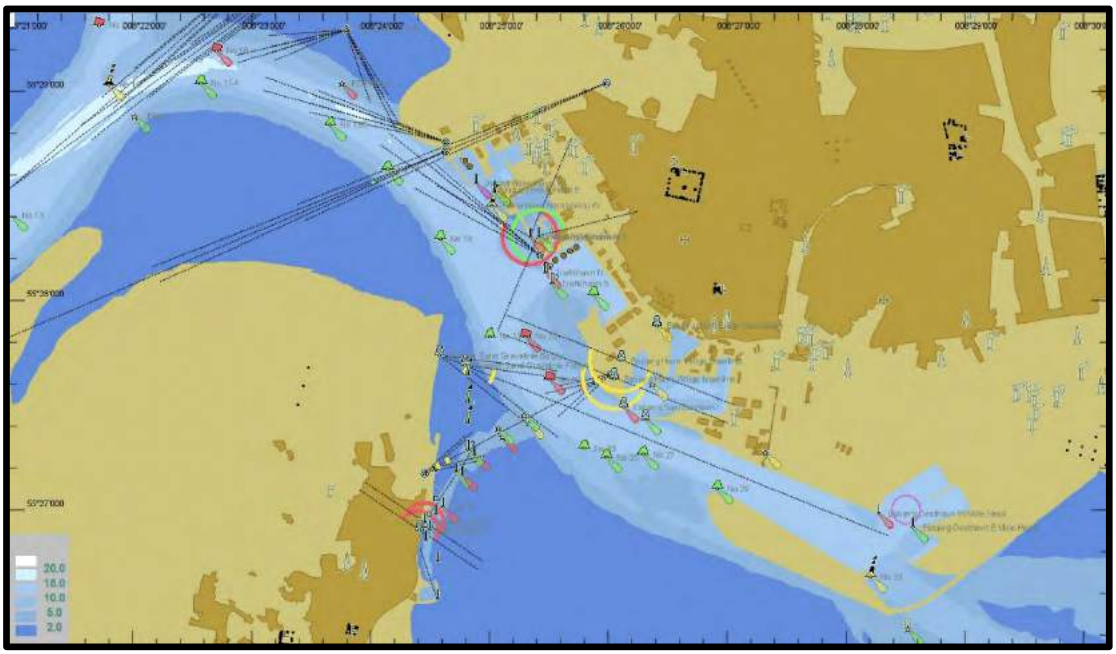


Figur 6-1 Ny udformning af Esbjerg havn (ny ø, nyt Ro-Ro leje og bredere rende)

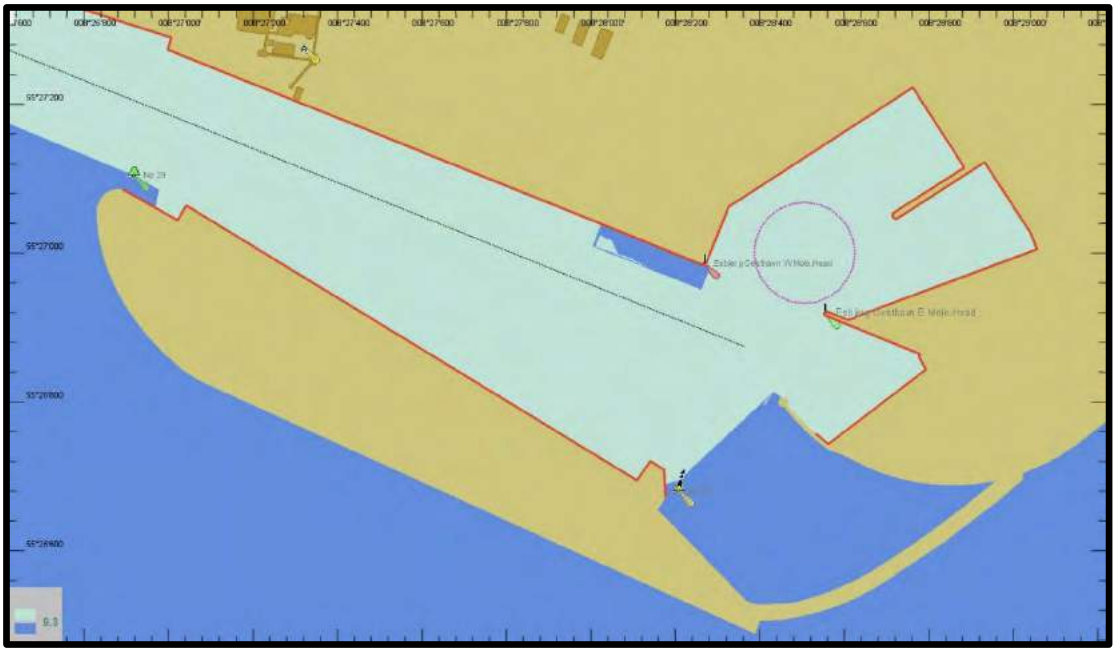
6.2. Vanddybder

Vanddybder er i den matematiske model angivet som dybdepunkter, og simulatoren interpolerer mellem disse for at finde dybden på skibets position. Dybderne er leveret af DHI som soundings (dybdepunkter). Dybder kommer fra søkort, opmåling af området og de ønskede dybder ved de nye kajer. Dybdekurver er vist i Figur 6.1 og 9,3 m kurven i det nye område i Figur 6.2.

Renden ned til det nye område er blevet udvidet fra 200 m til 300 m ud for Australienskajen.



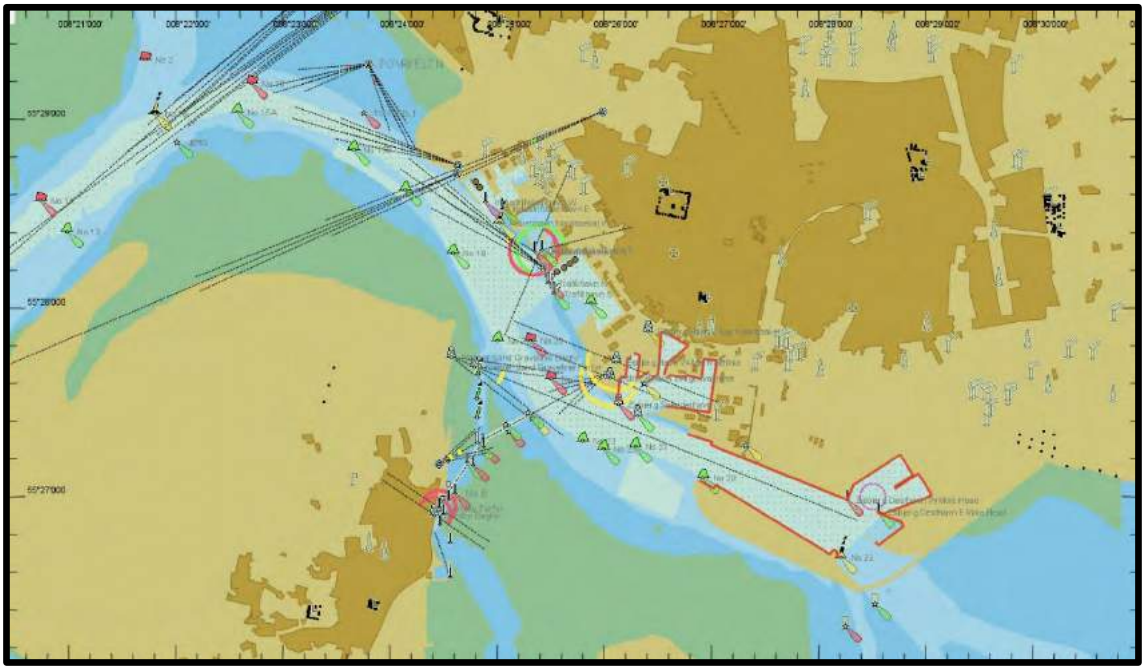
Figur 6-1 Dybdekurver 2 m, 5 m, 10 m, 15 m, 20 m



Figur 6-2 Dybdekurve 9,3 m i det nye område

6.3. Land, mærker og ledelinjer

Land, mærker og ledelinjer er taget fra søkort for den nye havn. Se Figur 6-3.

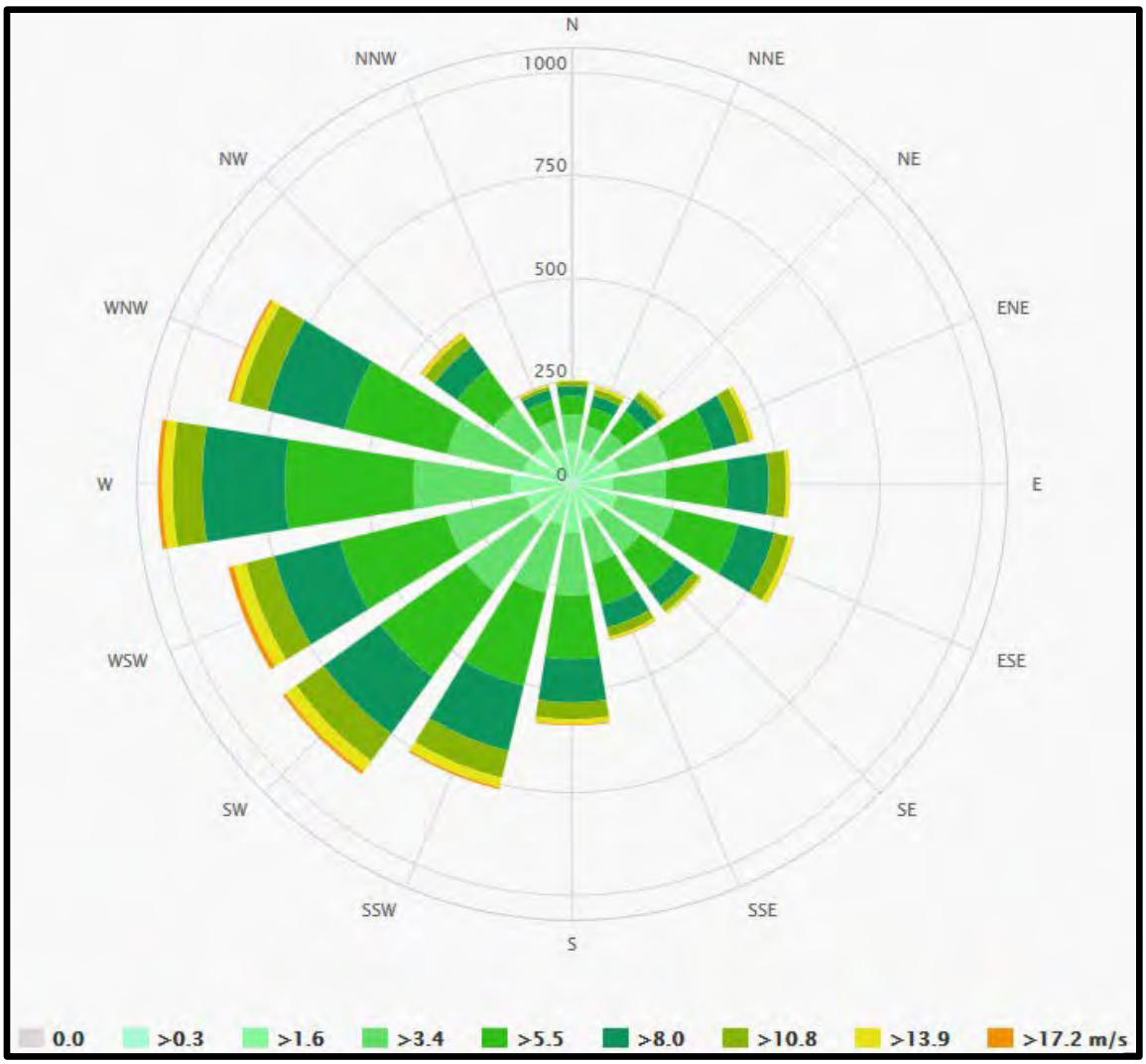


Figur 6-3 Sømærker og ledelinjer

Sømærkerne har forskelligt udseende som følge af type af mærke, farve og form.

6.4. Vind

Definitionen af vinden, som bliver brugt i simulatoren, er baseret på vindtunneltests og er konverteret til en konstant vind, der virker på hele skibets vindareal. En detaljeret beskrivelse af vinddefinitionen findes i Appendiks D.



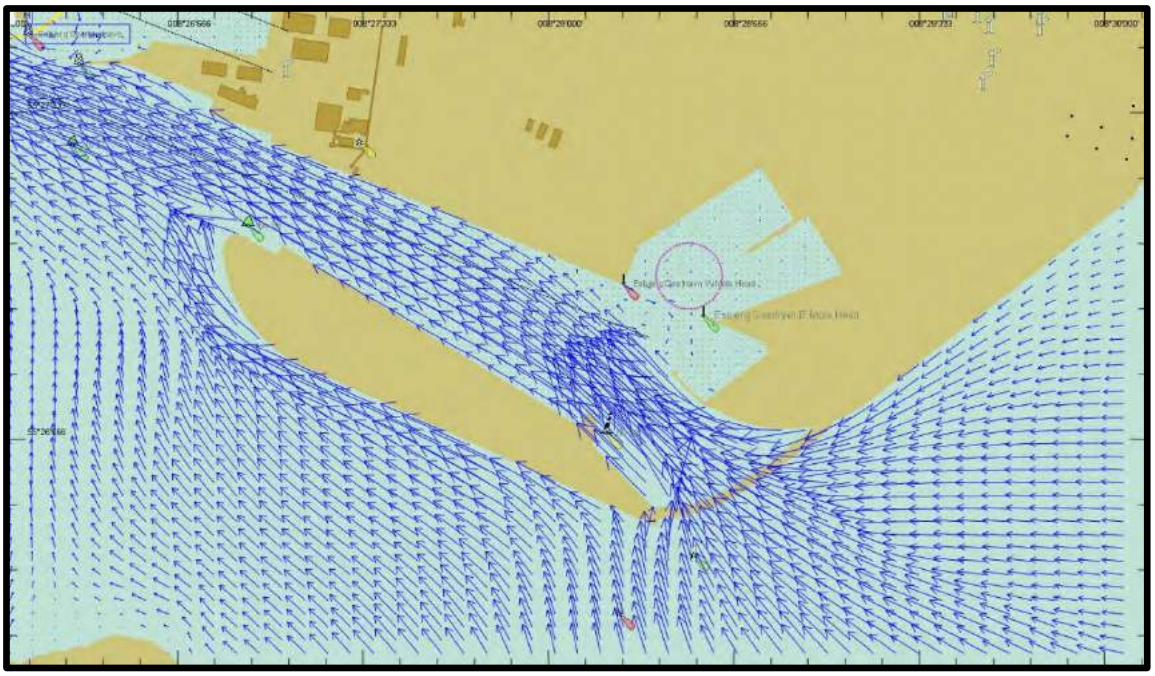
Figur 6-4 Vindrose for Esbjerg Havn

6.5. Strøm

Strømmen i Esbjerg Havn er skabt af vind og tidevand. Strømmen i simulatoren til dette projekt er leveret af DHI som de maksimale strømme der er beregnet på baggrund af den nye udformning. Det er muligt at skalere op og ned i forhold til dette kort mht. til hastighed, mens flowet forbliver det samme.

Strømfelterne er angivet som et net af punkter med hastighed og retning.

Til simuleringerne var udarbejdet et strømkort med nordvest-gående strøm og et strømkort med sydøst-gående strøm. Se eksempel i Figur 6-5.



Figur 6-5 Eksempel på strøm, nordvestgående

6.6. Bølger

Bølgerne ved Esbjerg Havn er skabt af vind. Bølgerne i simulatoren bliver sat direkte i simulatoren angivet ved bølgehøjde (Hs), retning og bølgeperiode (Tp).

I det område, der simuleres inde i selve Esbjerg Havn og den nye udformning, er bølgerne så små, at de ikke er medtaget i simuleringerne.

7. Simulator

7.1. Simuleringsprocedure, Bro "C"

Simulatoren (Bro C) i den nuværende 3D konfiguration bliver betjent af navigatøren, som står inde på den opbyggede skibsbro (mock-up) foran en buet skærm, som viser et 180 graders udsyn gennem broens vinduer. Derudover er der et 45 graders udsyn agter.

Simulatoren er udstyret med alle relevante instrumenter, der kan findes på en rigtig bro, herunder bl.a. radar, ekkolod, doppler log og gyrokompas. Baseret på de informationer som navigatøren får, kan han kontrollere maskiner, ror og thrustere vha. analoge håndtag. Skibet vil bevæge sig i "real time", så reaktionstider, bevægelser m.m. vil være korrekte.

En simulatoroperatør eller instruktør, der befinder sig i kontrolrummet eller på broen, giver informationer om vind, strøm og bølger til simulatoren. Han starter og stopper simuleringen, kan bestemme skalaer for display, plots og print af resultater. Han kan også holde øje med simuleringen via videokameraer.

Hvis slæbebåde skal bruges, kan han ligeledes styre disse.

Alle simuleringer bliver logget elektronisk, således at de kan blive afspillet senere sekund for sekund, hvorved det kan ses, hvad der er sket under simuleringerne. Dette inkluderer også tidsserier af et stort antal parametre såsom hastighed, rorvinkel, thrusters, propelleromdrejninger m.m. Dette giver mulighed for at undersøge hvert løb i detaljer på et senere tidspunkt.

Figur 7-1 Foto fra bro C simulatoren

8. Dokumentation af Simuleringerne

8.1. Geografiske figurer af løbene

De simulerede sejladser er vist som sejladsplot i Appendiks A. Hvert plot indeholder landkonturer og dybdekurve 9,3 meter.

Herunder er den aktuelle løbsliste over udførte sejladser.

Løb	Skib	Terminal	Vind		Strøm	
			Retning fra	Hastighed m/s	Retning til	Hastighed m/s)
101	3895	L6.3 Ank	SV	15	NV	2.0
102	3895	L6.3 Ank	SV	15	NV	0.5
103	3895	L6.3 Ank	ENE	15	SØ	1.5
104	3895	L6.3 Ank	NV	15	SØ	1.1
105	3895	L6.3 Afg	NE	15	NV	2.0
106	3895	L6.3 Afg	NE	15	NV	2.0
107	3895	L5.1 Ank	SV	10	NV	2.0
108	3297	L5.1 Ank	SV	10	NV	2.0
109	3557	L6.3 Ank	SV	12	SØ	1.7
110	3557	L6.3 Ank	SV	12	NV	1.7
201	3557	L6.3 Ank	SV	12	SØ	1.7
202	3557	L6.3 Ank	NV	15	SØ	1.7
203	3557	L6.3 Ank	NV	12	SØ	1.7
204	3557	L6.3 Afg	SV	12	NV	2.0
205	3557	L6.2 Afg	NE	12	NV	2.0
206	3557	L6.3 Afg	NE	15	NV	2.0
207	3234	L6.1 Ank	NV	15	NV	2.0
208	3234	L6.2 Ank	NE	15	NV	2.0
209	3234	L6.3 Ank	SV	15	SØ	2.0
210	3234	L6.1 Afg	NE	15	NV	2.0
211	3234	L6.1 Afg	SV	15	SØ	2.0
212	3234	L6.1 Afg	SV	15	SØ	2.0
3234	(228.6 x 32.24 x 8.0)	Bulk Carrier			L5.1	Ny Ro-Ro pier
3557	(230.0 x 32.2 x 8.8)	Car Carrier			L6.1	Ny Bulk pier
3895	(235.0 x 33.0 x 7.0)	Ro-Ro			L6.2	Ny Bulk pier
					L6.3	Ny Bulk pier

Figur 8-1 Løbsliste over udførte sejladser

Appendiks A

Plots og lodsens/Kaptajnernes kommentarer

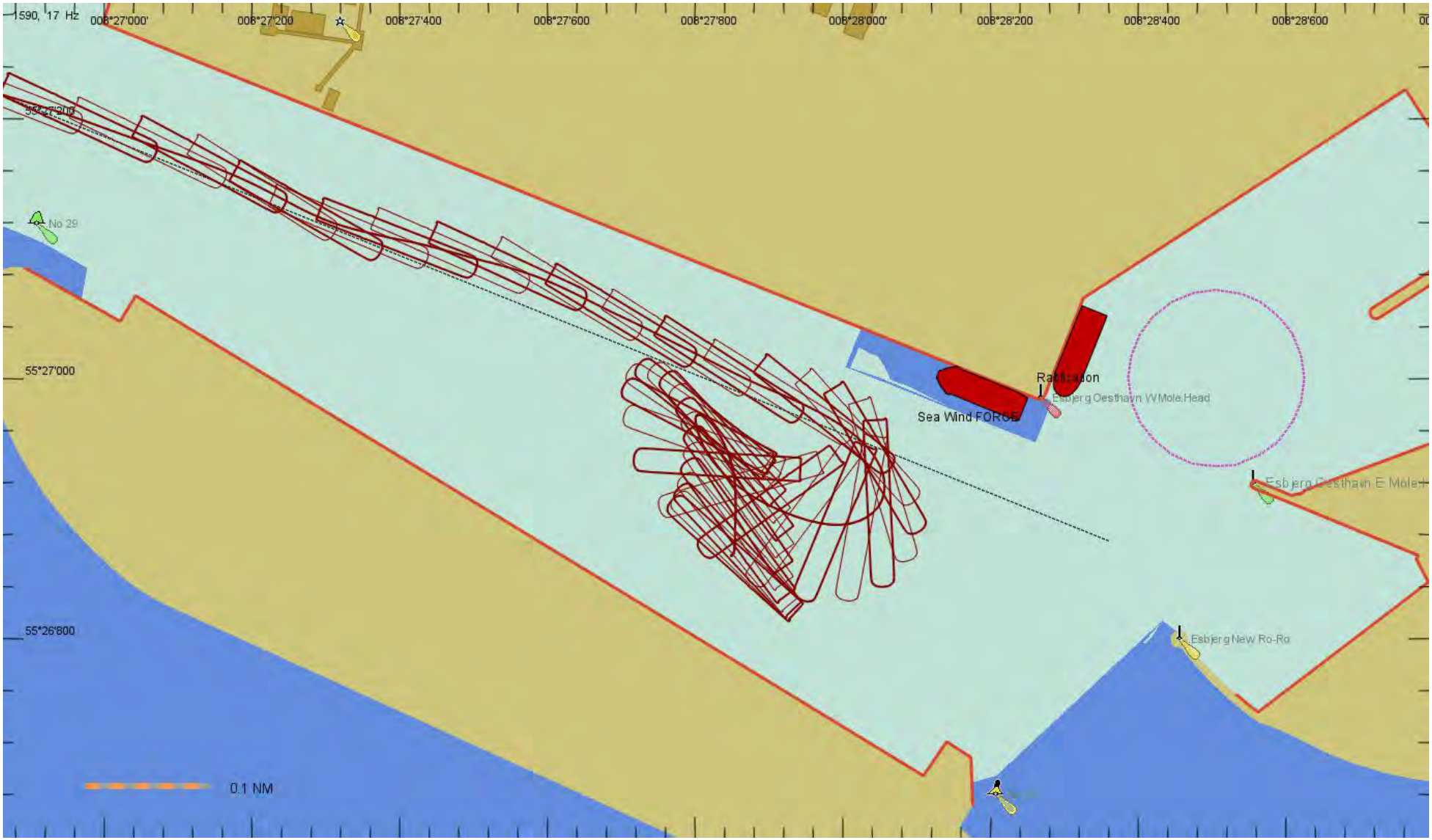
Plots og kommentarer

RUN 101

Løb	Skib	Terminal	Vind		Strøm	
			Retning fra	Hastighed m/s	Retning til	Hastighed m/s
101	3895	L6.3 Ank	SV	15	NV	2.0

Instruktør	Lods/Kaptajn
Ankomst til L6.3. Svinger styrbord rundt ud for Geminikaj. Split ror/maskine. Bov trustere fuld. Bliver skubbet NV af strømmen 490 m kommer rundt.	Ved lav fart, kurs ustabil = ofte ror korrektioner selv ved modgående strøm. Kom fint rundt vha. strøm og brugte strøm til at til komme langs kaj.

008°26'000'
008°26'500
008°27'000'
008°27'500
008°28'000'
008°28'500
008°29'000'
55°27'500
55°27'000
Esbjerg Soendrehavn
Pluto
Pluto
Venus
Pluto
No 27
No 29
Esbjerg Oesthavn W Mole Head
Esbjerg Oesthavn E Mole Head
Esbjerg New Ro-Ro
Sea Wind FORCE
0.1 NM

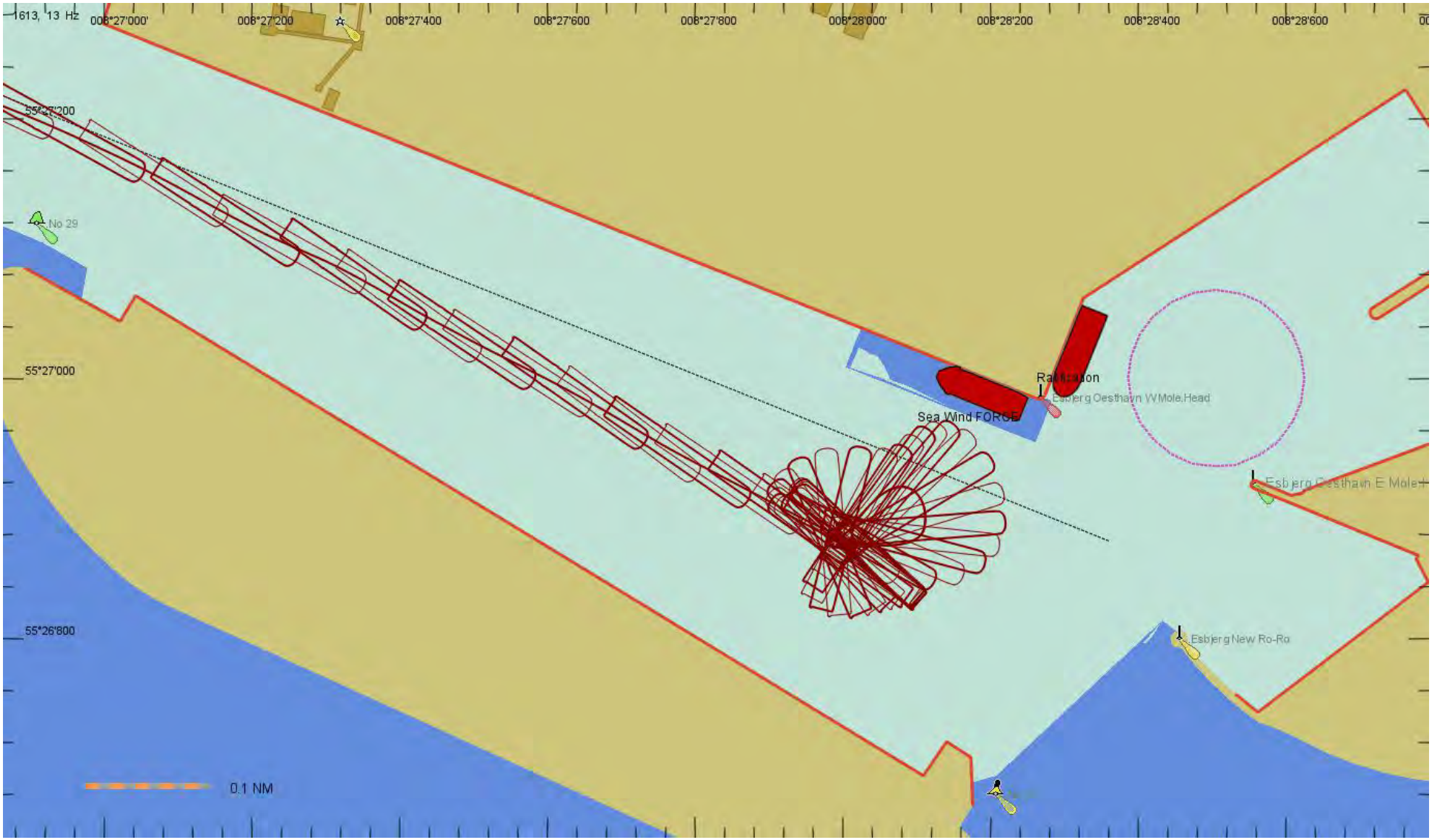

1590, 17 Hz
008°27'000'
008°27'200
008°27'400
008°27'600
008°27'800
008°28'000'
008°28'200
008°28'400
008°28'600
No 29
55°27'000
55°26'800
Sea Wind FORCE
Esbjerg Oesthavn W Mole Head
Esbjerg Oesthavn E Mole
Esbjerg New Ro-Ro
0.1 NM

RUN 102

Løb	Skib	Terminal	Vind		Strøm	
			Retning fra	Hastighed m/s	Retning til	Hastighed m/s
102	3895	L6.3 Ank	SV	15	NV	0.5

Instruktør	Lods/Kaptajn
Gentagelse af forrige løb med reduceret strøm. Bagbord rundt ud for Geminikaj. Boven 35 m fra skibet ved Geminikaj. Kommer let rundt, men det tager lang tid at komme tilbage til kajen. Lige på grænsen uden slæbebådsassistance.	sving område er fint, max 15 meter pr sekund så kan man holde den. For øvrigt trafik til bla. Østhavnen så kan det ikke anbefales at have vindmølle skibe stikkende over 100 meter ud, da det vil give visse udfordringer ved anløb Østhavnen. Meget positiv udvidelse af løbet, dette sikrer betydeligt sejladsforholdet. 200 meter til 300 meter

008°26'000'
008°26'500
008°27'000'
008°27'500
008°28'000'
008°28'500
008°29'000'
55°27'500
55°27'000
Pluto
Pluto
Venus
Pluto
No 27
No 29
Esbjerg Oesthavn W Mole Head
Esbjerg Oesthavn E Mole Head
Esbjerg New Ro-Ro
0.1 NM

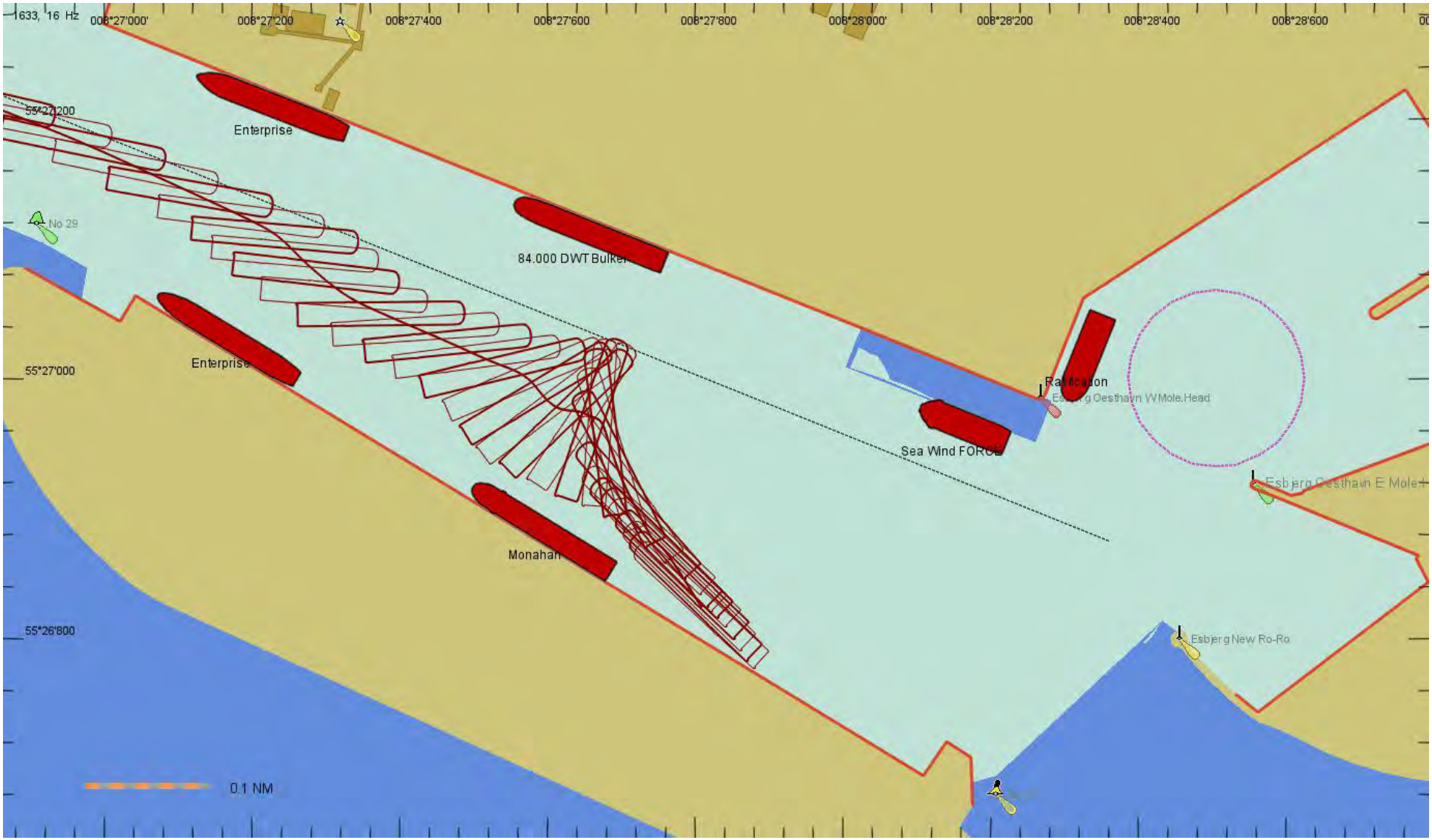

1613, 13 Hz
008°27'000'
008°27'200
008°27'400
008°27'600
008°27'800
008°28'000'
008°28'200
008°28'400
008°28'600
55°27'200
55°27'000
55°26'800
No 29
Sea Wind FORCE
Esbjerg Oesthavn W Mole Head
Esbjerg New Ro-Ro
0.1 NM

RUN 103

Løb	Skib	Terminal	Vind		Strøm	
			Retning fra	Hastighed m/s	Retning til	Hastighed m/s
103	3895	L6.3 Ank	ENE	15	SØ	1.5

Instruktør	Lods/Kaptajn
Ankomst til L6.3. Mindre plads med skibe på de andre kajer. Jackup skibet ligger 95 m ud fra Geminikaj. Svinger bagbord rundt ud for L6.2. Agterskib 25 m fra fortøjet skib. Skibet driver ca. 600 m SØ pga. strømmen. Boven ca. 27 m fra agterskibet af det skibe der ligger på L6.2 når eget skib går agter over.	Valgte at dreje bagbord rundt, da skibet i forvejen havde en vinkel til bagbord i sejlretningen. Drejet blev startet tidligt, hvorefter skibet drev med strømmen mod øst. Umiddelbart havde skibet kræfter i overskud til sikker manøvrering. Drejet kunne være startet lidt senere (længere fremme mod pos.).

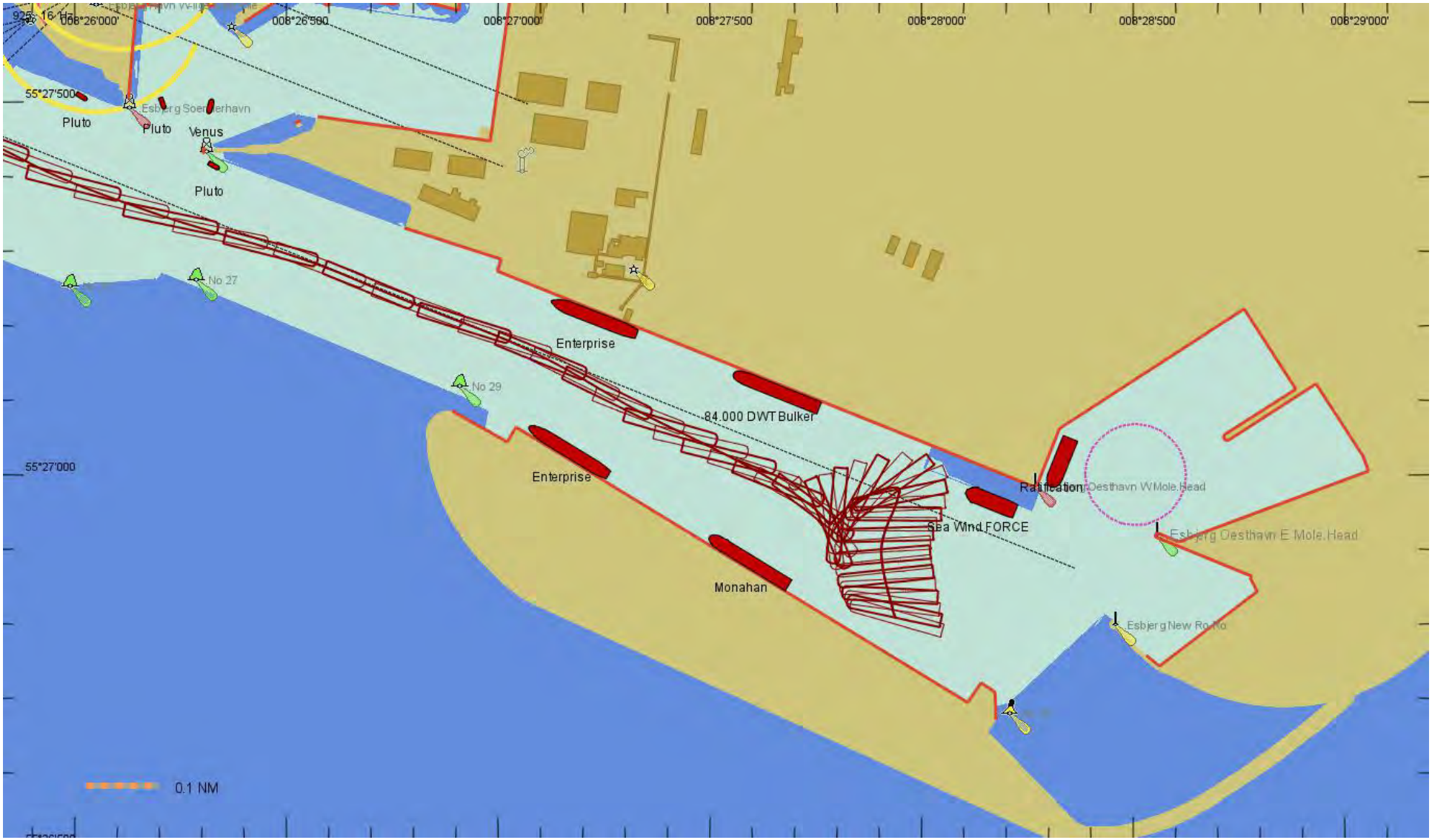
008°26'000'
008°26'500
008°27'000'
008°27'500
008°28'000'
008°28'500
008°29'000'
55°27'500
55°27'000
Pluto
Pluto
Venus
Pluto
No 27
No 29
Enterprise
84.000 DWT Bulker
Enterprise
Monahan
Ratification
Sea Wind FORCE
Esbjerg Oesthavn W Mole Head
Esbjerg Oesthavn E Mole Head
Esbjerg New Ro-Ro
0.1 NM

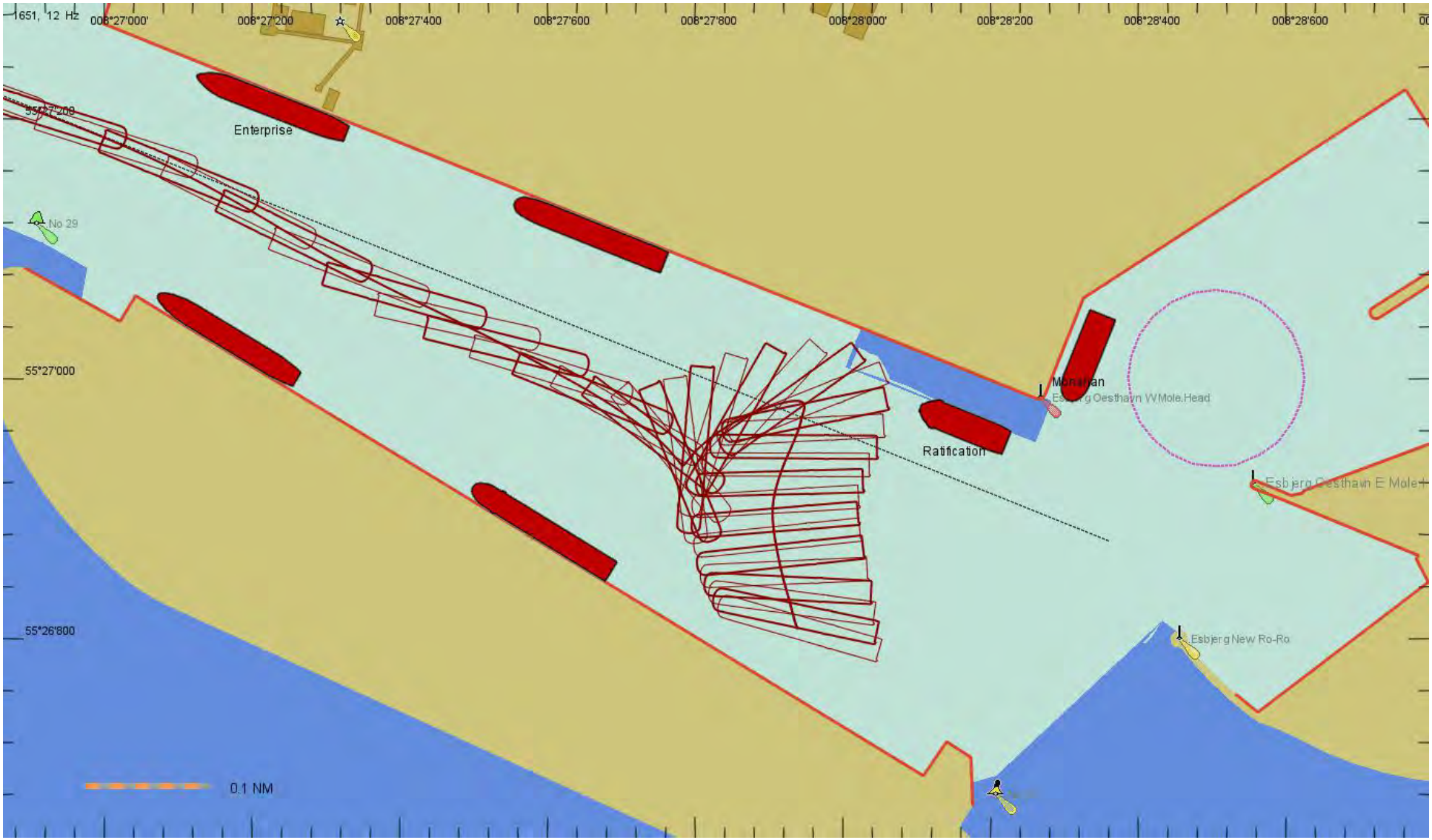

1633, 16 Hz
008°27'000'
008°27'200
008°27'400
008°27'600
008°27'800
008°28'000'
008°28'200
008°28'400
008°28'600
55°27'200
55°27'000
55°26'800
Enterprise
Enterprise
No 29
84.000 DWT Bulker
Monahan
Sea Wind FORCE
Esbjerg Oesthavn E Mole+
Esbjerg New Ro-Ro
0.1 NM

RUN 104

Løb	Skib	Terminal	Vind		Strøm	
			Retning fra	Hastighed m/s	Retning til	Hastighed m/s
104	3895	L6.3 Ank	NV	15	SØ	1.1

Instruktør	Lods/Kaptajn
Svinger styrbord rundt ved SØ ende af L6.2. Forventer at strømmen og vinden vil skubbe skibet mere mod SØ, men får mindre effekt end forventet. Bakker med 2.5 knob mod Geminikaj. Agterskibet 25 m fra. Kom let rundt og thruster mod kaj L6.3. Vinkler skibet så strømmen hjælper med at skubbe ind.	Tilsyneladende manglende/mindre strøm midt under drej. Skibet burde drive mod SØ da vind/strøm er på samme side kommer fra NW


008°26'000'
008°26'500
008°27'000'
008°27'500
008°28'000'
008°28'500
008°29'000'
55°27'500
55°27'000
Pluto
Pluto
Venus
Pluto
Esbjerg Soenderhavn
No 27
No 29
Enterprise
84.000 DWT Bulker
Enterprise
Monahan
Ratification
Sea Wind FORCE
Esbjerg Oesthavn W Mole Head
Esbjerg Oesthavn E Mole Head
Esbjerg New Ro-Ro
0.1 NM

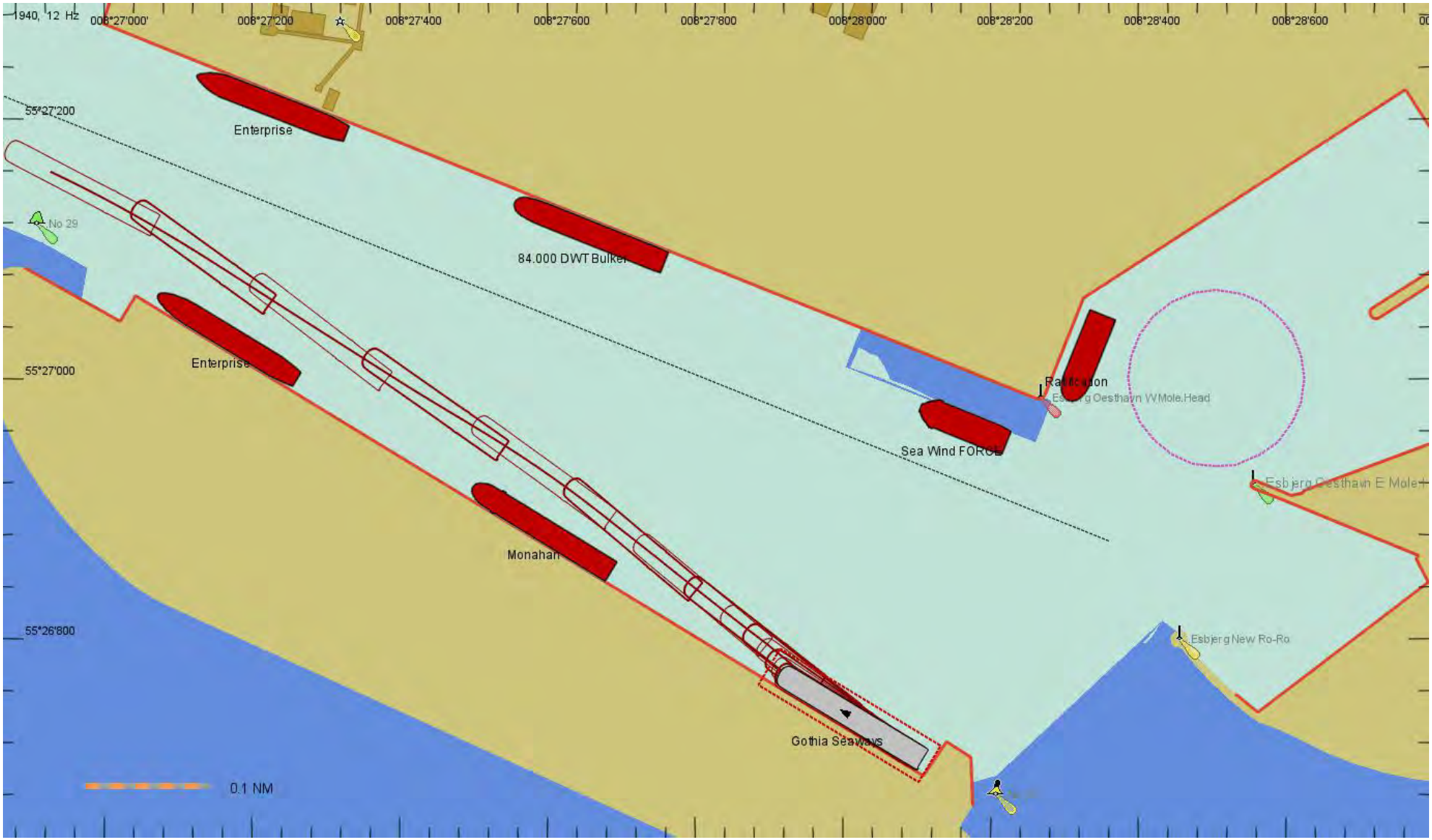

1651, 12 Hz
008°27'000'
008°27'200
008°27'400
008°27'600
008°27'800
008°28'000'
008°28'200
008°28'400
008°28'600
55°27'200
Enterprise
No 29
55°27'000
Ratification
Esbjerg Oesthavn W Mole Head
Esbjerg Oesthavn E Mole
55°26'800
Esbjerg New Ro-Ro
0.1 NM

RUN 105

Løb	Skib	Terminal	Vind		Strøm	
			Retning fra	Hastighed m/s	Retning til	Hastighed m/s
105	3895	L6.3 Afg	NE	15	NV	2.0

Instruktør	Lods/Kaptajn
Afgang fra L6.3. Løfter af med fuld bagbords thrust, ror til styrbord og splitter maskine. Øger hurtigt fart ud fra kajen. Passerer skibet ved L6.2 med 20 m o 8 knob fart.	ved 15 ms er det ikke muligt at løfte "røven" uden meget brug af skruer og thruster. Der er betydelig risiko for skade på spunsen og det kan ikke anbefales man prøver selv, især ikke hvis der ligger et skib foran. 2 slæber bør bestilles

008°26'000'
008°26'500
008°27'000'
008°27'500
008°28'000'
008°28'500
008°29'000'
55°27'500
55°27'000
Pluto
Pluto
Venus
Pluto
No 27
No 29
Enterprise
84.000 DWT Bulker
Enterprise
Monahan
Sea Wind FORCE
Ratification
Esbjerg Oesthavn W Mole Head
Esbjerg Oesthavn E Mole Head
Esbjerg New Ro-Ro
Gothia Seaways
0.1 NM

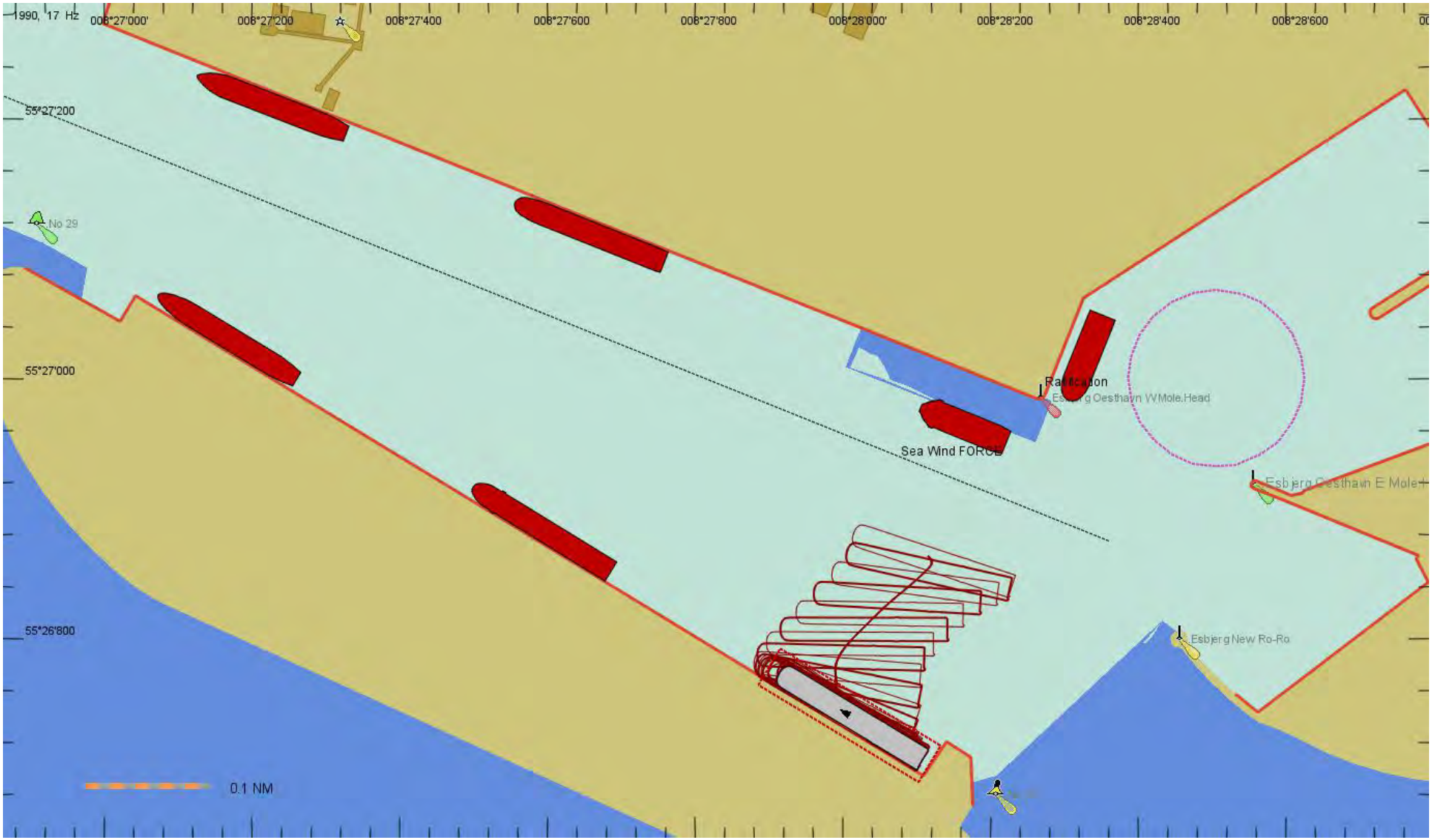

1940, 12 Hz
008°27'000'
008°27'200
008°27'400
008°27'600
008°27'800
008°28'000'
008°28'200
008°28'400
008°28'600
55°27'200
55°27'000
55°26'800
Enterprise
No 29
84.000 DWT Bulker
Enterprise
Sea Wind FORCE
Esbjerg Oesthavn E Mole
Monahan
Esbjerg New Ro-Ro
Gothia Seaways
0.1 NM

RUN 106

Løb	Skib	Terminal	Vind		Strøm	
			Retning fra	Hastighed m/s	Retning til	Hastighed m/s
106	3895	L6.3 Afg	NE	15	NV	2.0

Instruktør	Lods/Kaptajn
Gentagelse af forrige løb, prøver at vinkle agter så strømmen virker mellem skib og kaj. Det er ikke muligt at fastlåse boven til kajen pga. fenderkraft. Slæbebåd center agter trækker 100 %. Løfter fri af kaj.	Med vind fra Ø og NV gående strøm (samme retning for begge) er manøvregrænsen ved afgang nået for dette skib. Det var ikke muligt at bakke skibets agter ende ud i strømmen uden hjælp af slæbebåd assistance og ikke muligt at løfte hele skibet ud fra kaj ved hjælp af strømmen. .

008°26'000'
008°26'500
008°27'000'
008°27'500
008°28'000'
008°28'500
008°29'000'
55°27'500
55°27'000
Pluto
Pluto
Venus
Pluto
No 27
No 29
Enterprise
84.000 DWT Bulker
Enterprise
Monahan
Sea Wind FORCE
Ratification
Esbjerg Oesthavn W Mole Head
Esbjerg Oesthavn E Mole Head
Esbjerg New Ro-Ro
Gothia Seaways
0.1 NM

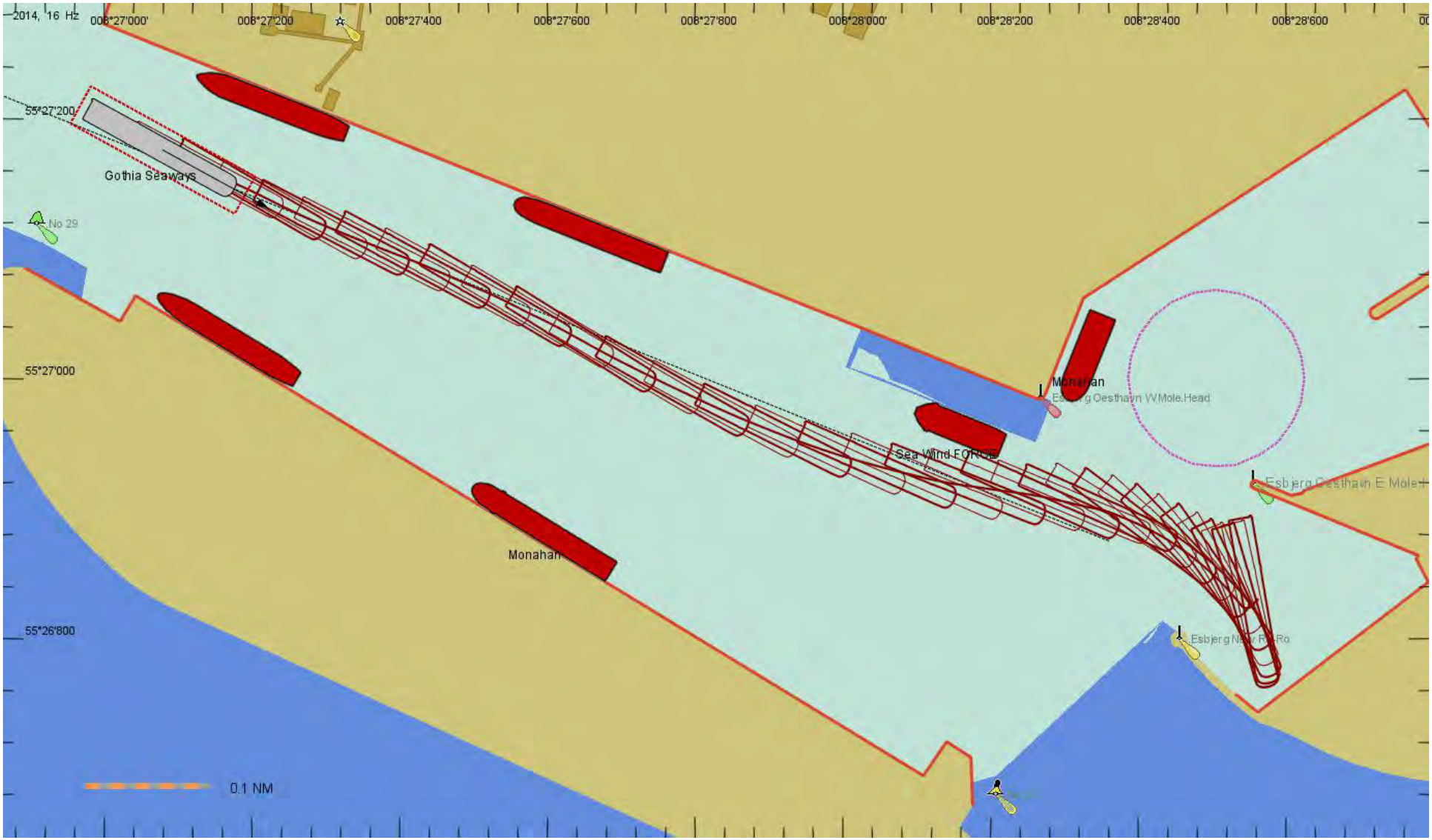

1990, 17 Hz
008°27'000'
008°27'200
008°27'400
008°27'600
008°27'800
008°28'000'
008°28'200
008°28'400
008°28'600
55°27'200
55°27'000
55°26'800
No 29
Esbjerg Oesthavn W Mole Head
Sea Wind FORCE
Esbjerg Oesthavn E Mole
Esbjerg New Ro-Ro
0.1 NM

RUN 107

Løb	Skib	Terminal	Vind		Strøm	
			Retning fra	Hastighed m/s	Retning til	Hastighed m/s
107	3895	L5.1 Ank	SV	10	NV	2.0

Instruktør	Lods/Kaptajn
Ankomst til L5.1. Behøver at holde fart for at komme forbi skibet ved Geminikaj i sikker afstand. Agter ca. 1 m fra. Boven ind i det SV-lige hjørne af den nye Ro-Ro kaj. Stopper 20 m fra kajen og svinger agterskibet ned.	Der skal holdes godt klar- og/eller god afstand til Vindmølleskib på kaj 722 da den modgående strøm får skibet til at drive mod dette. Det testede skib anses nok som lidt i overstørrelse til den anduvede kaj. Ellers kontrolleret manøvre.

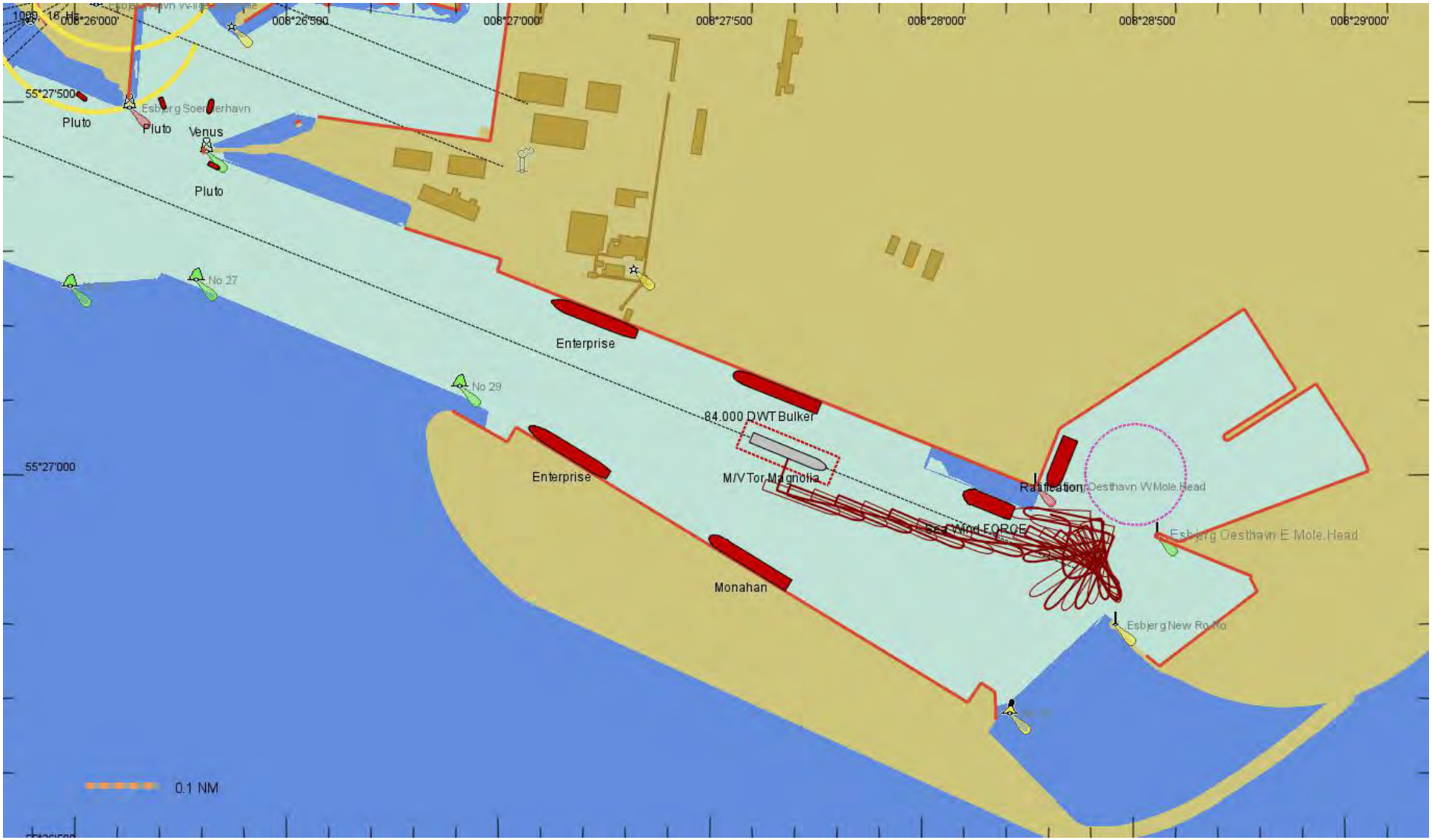
008°26'000'
008°26'500
008°27'000'
008°27'500
008°28'000'
008°28'500
008°29'000'
55°27'500
55°27'000
Pluto
Pluto
Venus
Pluto
No 27
Enterprise
Gothia Seaways
No 29
40,000 DWT Bulker
Enterprise
Monahan
Ratification
Esbjerg Oesthavn W Mole Head
Esbjerg Oesthavn E Mole Head
0.1 NM

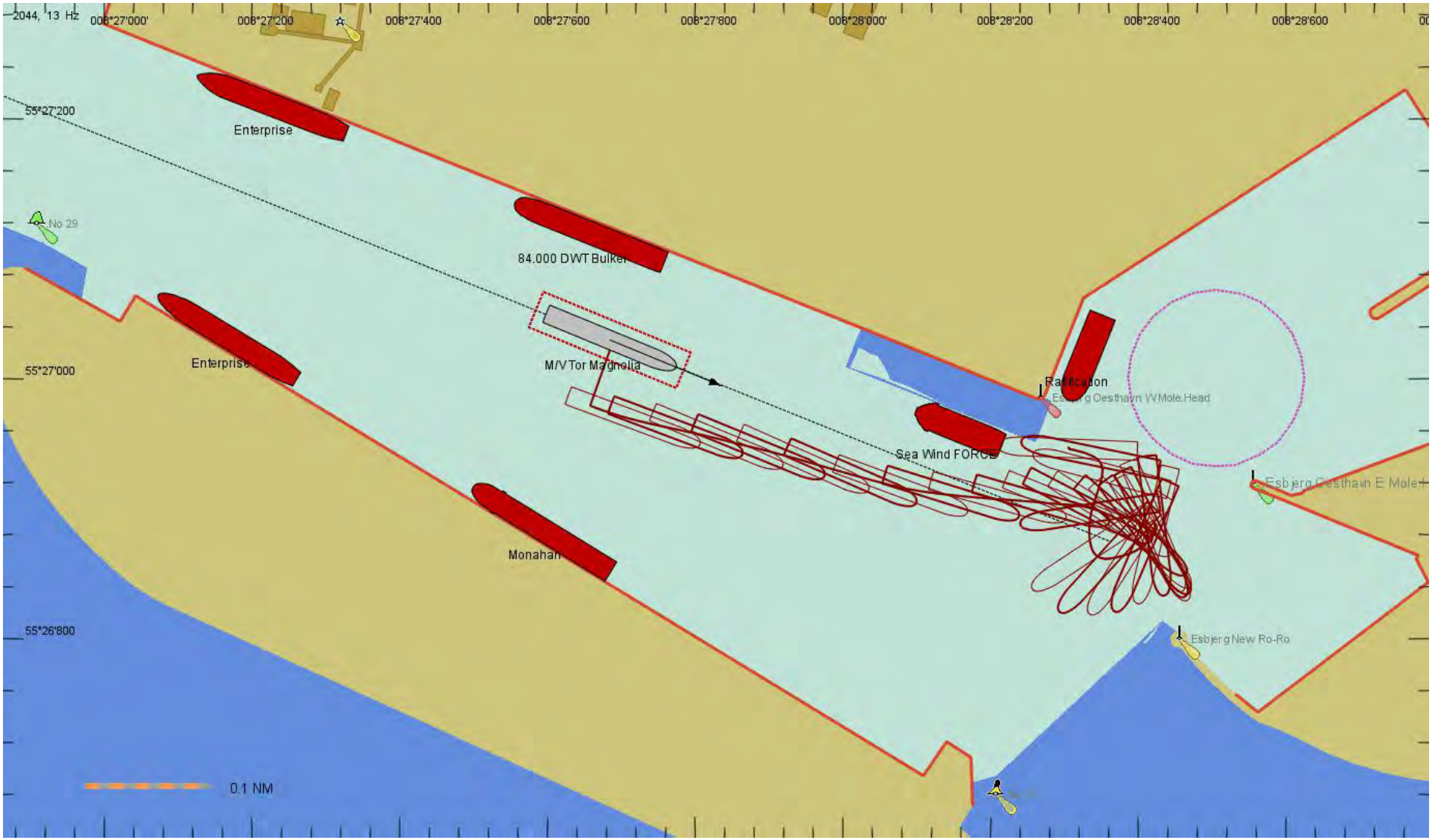

2014, 16 Hz
008°27'000'
008°27'200
008°27'400
008°27'600
008°27'800
008°28'000'
008°28'200
008°28'400
008°28'600
55°27'200
55°27'000
55°26'800
Gothia Seaways
No 29
Monahan
Esbjerg Oesthavn W Mole Head
Sea Wind FORCE
Esbjerg Oesthavn E Mole
Monahan
Esbjerg N
0.1 NM

RUN 108

Løb	Skib	Terminal	Vind		Strøm	
			Retning fra	Hastighed m/s	Retning til	Hastighed m/s
108	3297	L5.1 Ank	SV	10	NV	2.0

Instruktør	Lods/Kaptajn
Forsøg med TOR Magnolia ind tilL5.1. Svinger skibet styrbord rundt ud for det nye bassin ved ny Ro-Ro kaj. Forkert udsyn. Kolliderer med skib ved Geminikajen.	kajen kan ikke anbefales til større skibe special skibe installations fartøjer, uddybnings, slæbebåde etc. max længe 130-140 meter. Installationsskibet på kaj 722 fylder alt for meget den burde flyttes, den er både i vejen for 5.1 og for kajerne i Østhavnen.

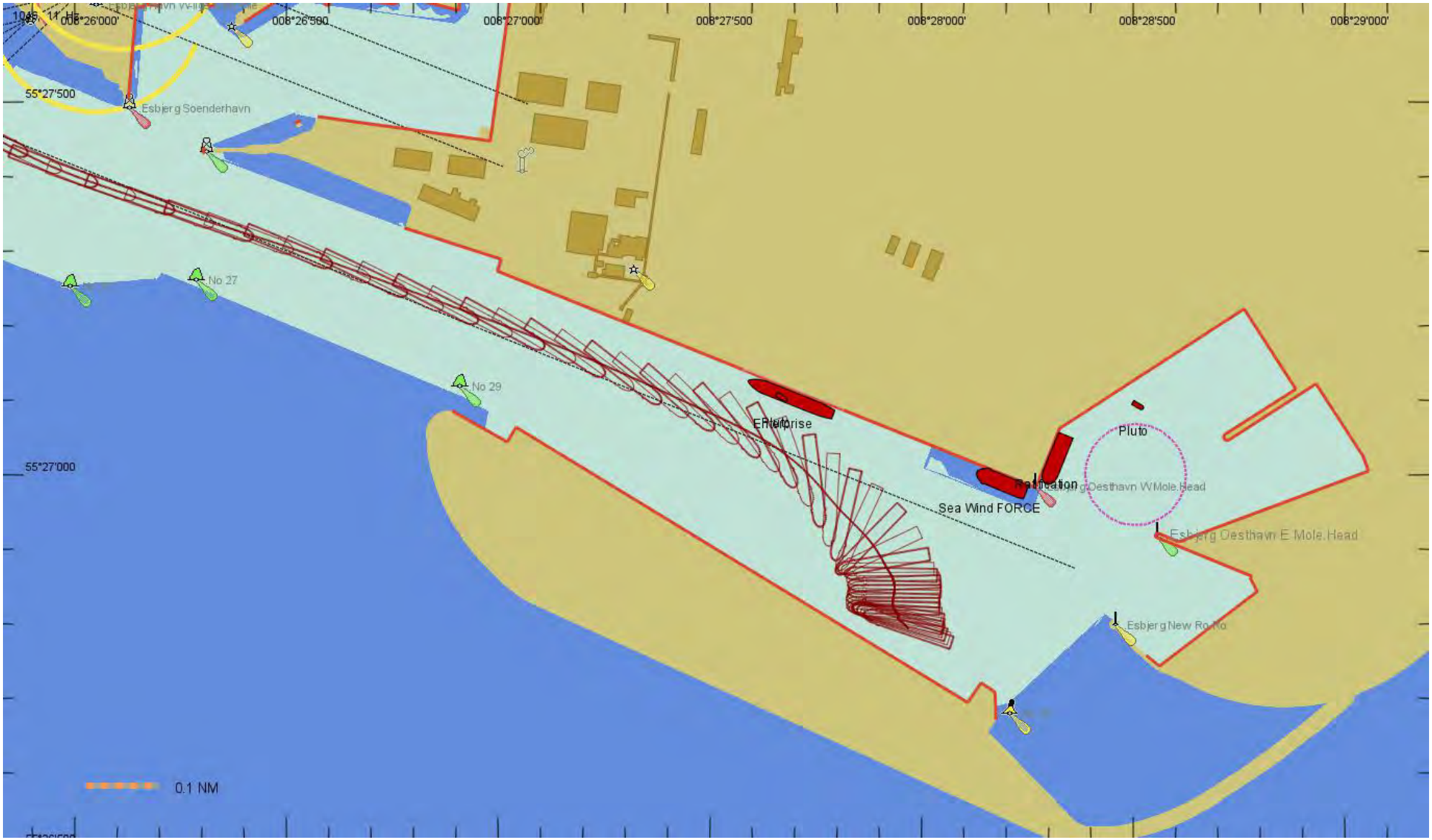

008°26'000'
008°26'500
008°27'000'
008°27'500
008°28'000'
008°28'500
008°29'000'
55°27'500
55°27'000
Pluto
Pluto
Venus
Pluto
No 27
No 29
Enterprise
Enterprise
84.000 DWT Bulker
M/V Tor Magnolia
Ratification
Monahan
Esbjerg Oesthavn W Mole Head
Esbjerg Oesthavn E Mole Head
Esbjerg New Ro-Ro
0.1 NM

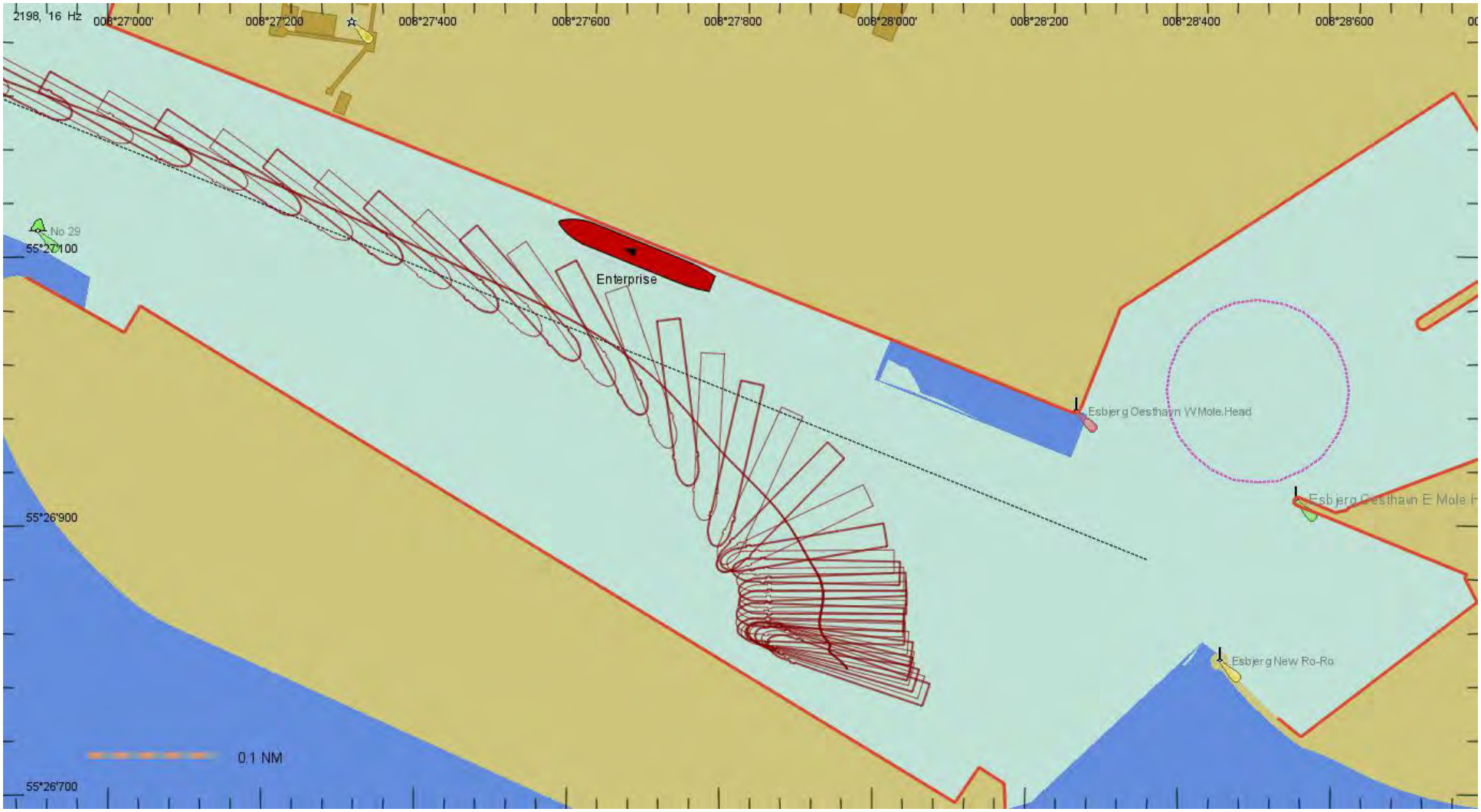

2044, 13 Hz
008°27'000'
008°27'200
008°27'400
008°27'600
008°27'800
008°28'000'
008°28'200
008°28'400
008°28'600
55°27'200
55°27'000
55°26'800
Enterprise
No 29
84.000 DWT Bulker
Enterprise
M/V Tor Magnolia
Sea Wind FORCE
Esbjerg Oesthavn E Mole
Esbjerg New Ro-Ro
Monahan
0.1 NM

RUN 109

Løb	Skib	Terminal	Vind		Strøm	
			Retning fra	Hastighed m/s	Retning til	Hastighed m/s
109	3557	L6.3 Ank	SV	12	SØ	1.7

Instruktør	Lods/Kaptajn
Ankomst med Car Carrier til L6.3. Slæbebåd center agter. Trækker med 100 %. Starter svinger ud for Tauruskajen. Kommer let rundt med strømmen skubbende skibet ned og ind mod kajen. Flytter slæbebåden til midtskibs for at skubbe til kaj.	Måtte anvende hårdt bagbord ror under det meste af sejladsen gennem "Tauruskanalen". Ingen problemer med at stoppe og dreje styrbord rundt. Hold vinkel således at strømmen pressede på styrbords side for at opveje vindens tryk på bagbords side. Ikke muligt at komme langs kaj uden anvendelse af tryk midtskibs fra slæbebåd.


008°26'000'
008°26'500
008°27'000'
008°27'500
008°28'000'
008°28'500
008°29'000'
55°27'500
55°27'000
Esbjerg Soenderhavn
No 27
No 29
Enterprise
Pluto
Sea Wind FORCE
Esbjerg Oesthavn W Mole Head
Esbjerg Oesthavn E Mole Head
Esbjerg New Ro-Ro
0.1 NM

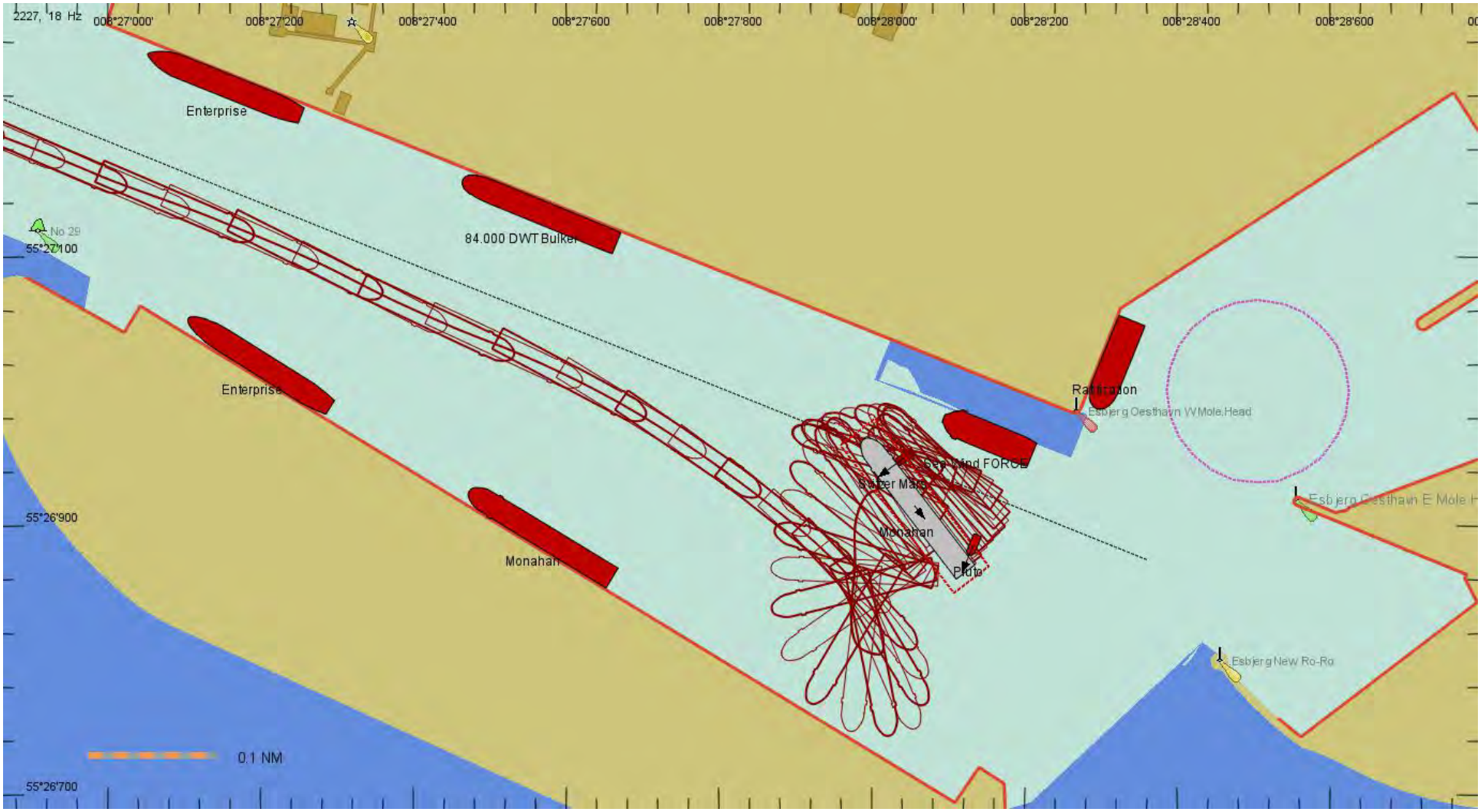

2198, 16 Hz
008°27'000'
008°27'200
008°27'400
008°27'600
008°27'800
008°28'000'
008°28'200
008°28'400
008°28'600
No 29
55°27'100
Enterprise
Esbjerg Oesthavn W Mole Head
Esbjerg Oesthavn E Mole H
55°26'900
Esbjerg New Ro-Ro
0.1 NM
55°26'700

RUN 110

Løb	Skib	Terminal	Vind		Strøm	
			Retning fra	Hastighed m/s	Retning til	Hastighed m/s
110	3557	L6.3 Ank	SV	12	NV	1.7

Instruktør	Lods/Kaptajn
Ankomst med Car Carrier til L6.3. Strømmen imod. Stopper maskine ud for L6.2. Svinger styrbord rundt med slæbebåd på 100 % i kl.8. Boven 4 m fra kajen når jeg kommer rundt. Slæbebåd flyttes til midtskibs og skubber 100 %. Nummer 2 slæbebåd på skulderen 100%. (Glemte at bruge bov thruster). Vinden skubber skibet mod Geminikajen. Svært at stoppe skibet. Var oppe mod skibet på Geminikajen før skibet begynder at komme tilbage.	Der skal to slæbebåde på. Strømmen skal over på styrbord side. For at presse agterenden ind. Det gælder om at holde sig tæt på kajen. Vinden er lige i overkanten.

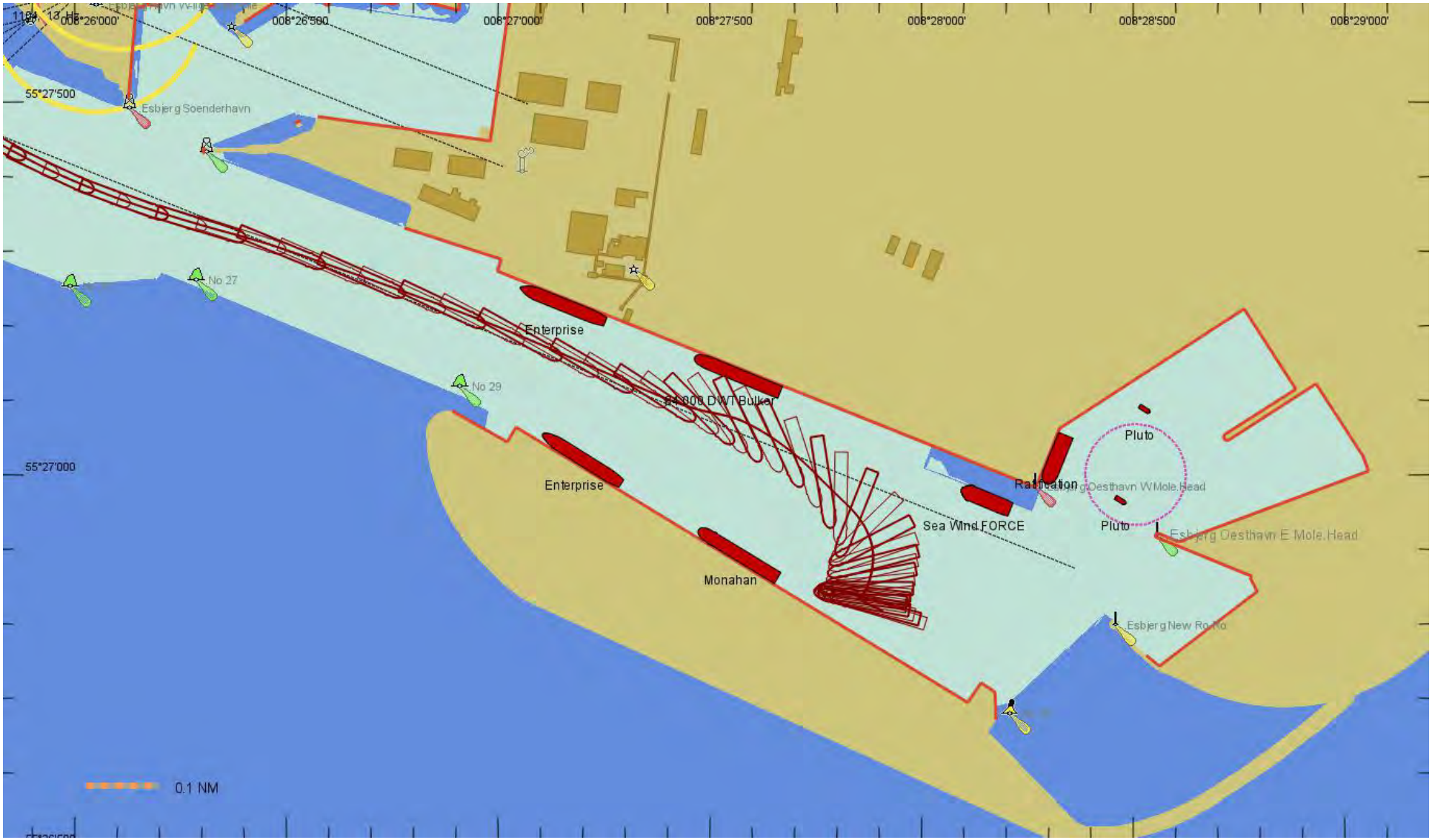
008°26'000'
008°26'500
008°27'000'
008°27'500
008°28'000'
008°28'500
008°29'000'
55°27'500
55°27'000
Esbjerg Soenderhavn
No 27
No 29
Enterprise
84.000 DWT Bulker
Enterprise
Monahan
Pluto
Pluto
Esbjerg Oesthavn E Mole Head
Esbjerg New Ro-Ro
0.1 NM

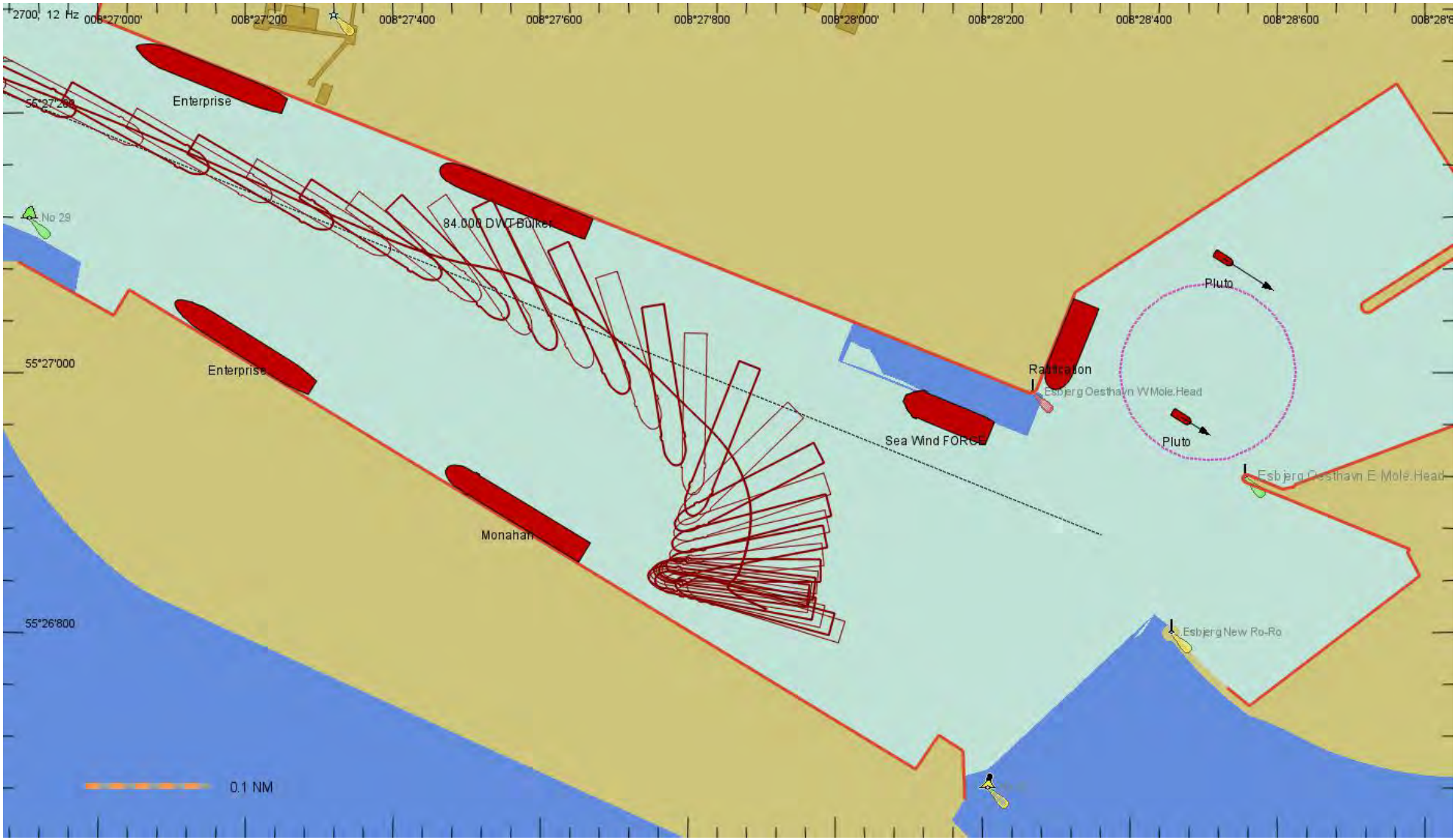

2227, 18 Hz
008°27'000'
008°27'200
008°27'400
008°27'600
008°27'800
008°28'000'
008°28'200
008°28'400
008°28'600
Enterprise
84.000 DWT Bulker
No 29
55°27'100
Enterprise
Esbjerg Oesthavn W Mole Head
Sea Wind FORCE
Monahan
Pluto
55°26'900
Monahan
Esbjerg New Ro-Ro
0.1 NM
55°26'700

RUN 201

Løb	Skib	Terminal	Vind		Strøm	
			Retning fra	Hastighed m/s	Retning til	Hastighed m/s
201	3557	L6.3 Ank	SV	12	SØ	1.7

Instruktør	Lods/Kaptajn
Ankomst til L6.3. Center agterste slæbebåd i kl.6 med 75% kraft. Agterskibet rørte skibet ved Tauruskajen. Ifølge ”SafePilot” var skibet klart. Kom ok rundt og vinklede skibe så strømmen hjalp med at skubbe mod kajen.	Samme erfaring som tilsvarende løb i går, dog skulle der ikke bruges så meget kompenserende bagbords ror gennem Taurus kanalen, hvor der ikke blev brugt 10% træk fra slæbebåd agter. Iflg. Simulator var der kollision med det fortøjede skib på kaj 713, men iflg. "SafePilot" var der mindst 10 meter klar til skibet og altså ingen kollision.


008°26'000'
008°26'500
008°27'000'
008°27'500
008°28'000'
008°28'500
008°29'000'
55°27'500
55°27'000
Esbjerg Soenderhavn
No 27
No 29
Enterprise
Enterprise
84 000 DWT Bulker
Monahan
Sea Wind FORCE
Ratification
Pluto
Pluto
Esbjerg Oesthavn W Mole Head
Esbjerg Oesthavn E Mole Head
Esbjerg New Ro-Ro
0.1 NM

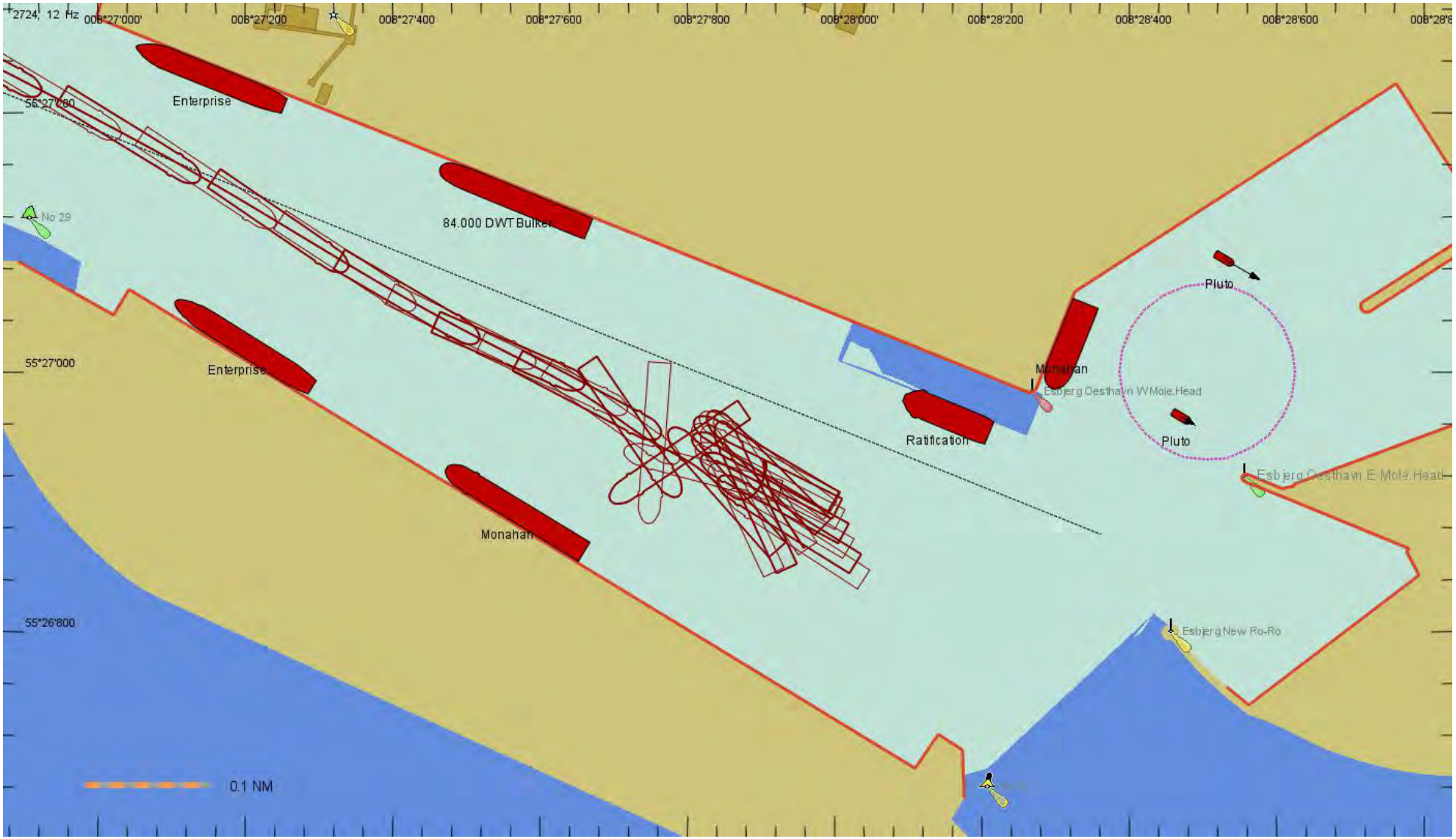

2700, 12 Hz
008°27'000'
008°27'200
008°27'400
008°27'600
008°27'800
008°28'000'
008°28'200
008°28'400
008°28'600
55°27'200
55°27'000
55°26'800
Enterprise
No 29
84.000 DWT Bulker
Enterprise
Monahan
Sea Wind FORCE
Pluto
Pluto
Esbjerg Oesthavn W Mole Head
Esbjerg Oesthavn E Mole Head
Esbjerg New Ro-Ro
0.1 NM

RUN 202

Løb	Skib	Terminal	Vind		Strøm	
			Retning fra	Hastighed m/s	Retning til	Hastighed m/s
202	3557	L6.3 Ank	NV	15	SØ	1.7

Instruktør	Lods/Kaptajn
Samme som forrige, men fanden vind. Svinger styrbord rundt i midten af kanalen med boven "fastlåst" bag skibet ved kaj L.6.2. Kom meget hurtigt rundt. Anden slæbebåd midtskibs skubber fuldt.	Der skulle holdes en del styrefart for at opveje afdriften i Taurus Kanalen. Drejehastigheden blev for høj, hvilket resulterede i at skibet "overskød" og fik vind og strøm ind på modsat tænkt side. Efter mine erfaring fra lignende skibe, ville kræfterne fra vind og strøm have bremset drejehastigheden. Ankomsten blev reddet vha. nogle lidt hårde manøvre med skibets hovedmaskine og ror. Jeg tror ikke at yderligere slæbebåde kunne have hjulpet med ikke at "overskyde".

008°26'000'
008°26'500
008°27'000'
008°27'500
008°28'000'
008°28'500
008°29'000'
55°27'500
55°27'000
Esbjerg Soenderhavn
No 27
No 29
Enterprise
84.000 DWT Bulker
Enterprise
Monahan
Sea Wind FORCE
Ratification
Pluto
Pluto
Esbjerg Oesthavn W Mole Head
Esbjerg Oesthavn E Mole Head
Esbjerg New Ro-Ro
0.1 NM

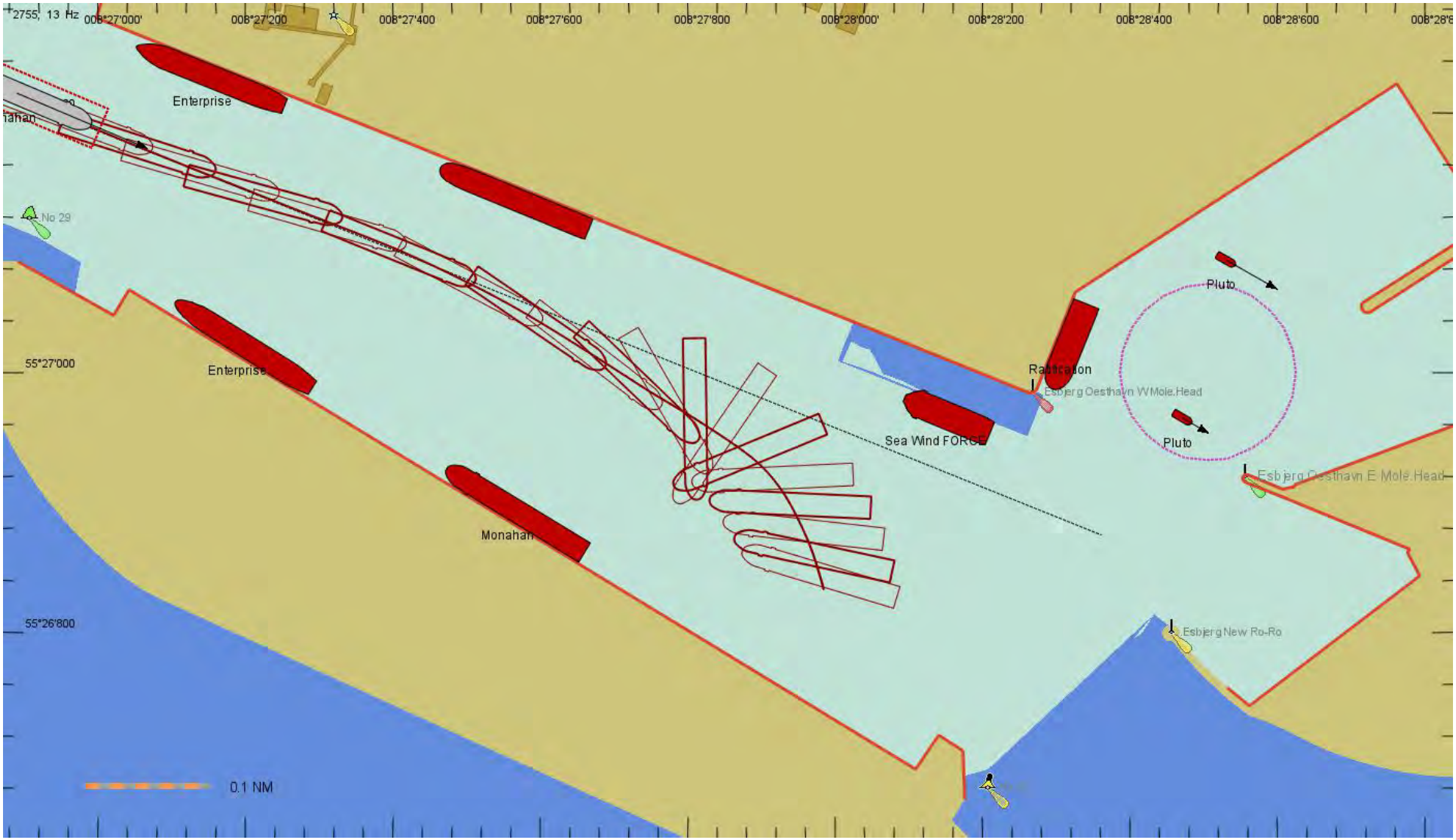

2724, 12 Hz
008°27'000'
008°27'200
008°27'400
008°27'600
008°27'800
008°28'000'
008°28'200
008°28'400
008°28'600
55°27'200
55°27'000
55°26'800
Enterprise
84.000 DWT Bulker
No 29
Enterprise
Monahan
Ratification
Monahan
Esbjerg Oesthavn W Mole Head
Pluto
Pluto
Esbjerg Oesthavn E Mole Head
Esbjerg New Ro-Ro
0.1 NM

RUN 203

Løb	Skib	Terminal	Vind		Strøm	
			Retning fra	Hastighed m/s	Retning til	Hastighed m/s
203	3557	L6.3 Ank	NV	12	SØ	1.7

Instruktør	Lods/Kaptajn
Gentagelse af forrige løb startende fra sving positionen. Agterskibet svinger meget hurtigt, dog langsommere end forrige løb.	Samme som før. Lidt mindre fart og mere fokus på drejehastighed. Mere kontrollabel anduvning.

008°26'000'
008°26'500
008°27'000'
008°27'500
008°28'000'
008°28'500
008°29'000'
55°27'500
55°27'000
Esbjerg Soenderhavn
No 27
No 29
3292001
Monahan
Enterprise
Enterprise
Monahan
Pluto
Pluto
Esbjerg Oesthavn W Mole Head
Esbjerg Oesthavn E Mole Head
Esbjerg New Ro-Ro
Sea Wind FORCE
0.1 NM

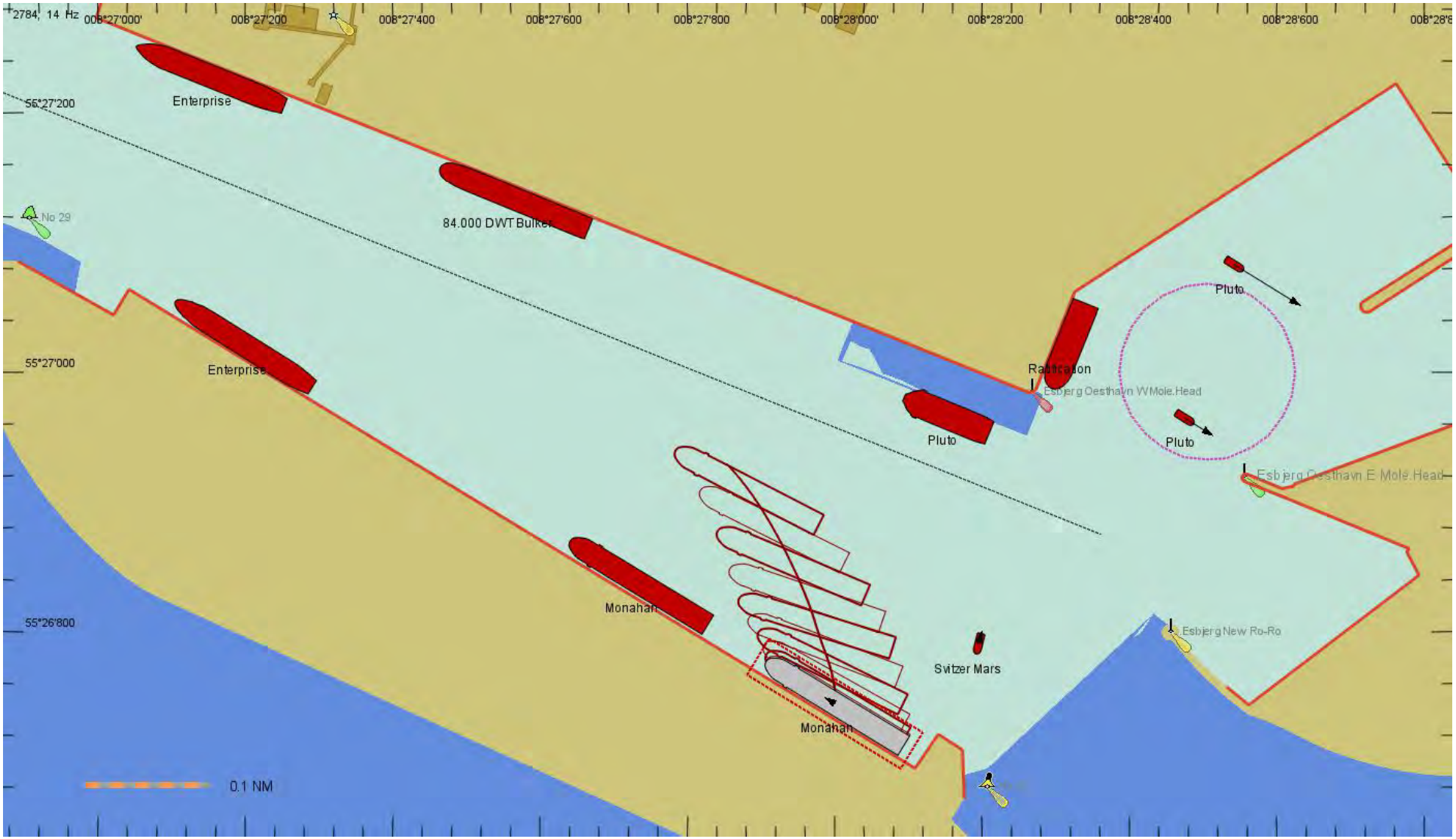

2755, 13 Hz
008°27'000'
008°27'200
008°27'400
008°27'600
008°27'800
008°28'000'
008°28'200
008°28'400
008°28'600
Enterprise
No 29
55°27'000
Enterprise
Pluto
Ratification
Esbjerg Oesthavn W Mole Head
Sea Wind FORCE
Pluto
Esbjerg Oesthavn E Mole Head
Monahan
55°26'800
Esbjerg New Ro-Ro
0.1 NM

RUN 204

Løb	Skib	Terminal	Vind		Strøm	
			Retning fra	Hastighed m/s	Retning til	Hastighed m/s
204	3557	L6.3 Afg	SV	12	NV	2.0

Instruktør	Lods/Kaptajn
Afgang fra L6.3. Vinder løfter skibet klart af kajen. Boven 39 m fra skibet ved kaj L6.2. Strømmen mellem skib og kaj hjælper med at skubbe ud.	Ingen problemer uden slæbebåd. Hårdt bagbord ror og lidt frem på maskine. Holder stævnen inde med bov-thruster, indtil agterenden er godt ude og strømmen og strømmen på bagbords side. Herefter stabiliseres skibet og der gives frem.

008°26'000'
008°26'500
008°27'000'
008°27'500
008°28'000'
008°28'500
008°29'000'
55°27'500
55°27'000
Esbjerg Soenderhavn
No 27
No 29
Enterprise
84.000 DWT Bulker
Enterprise
Pluto
Ratification
Esbjerg Oesthavn W Mole Head
Sea Wind FORCE
Pluto
Esbjerg Oesthavn E Mole Head
Monahan
Esbjerg New Ro-Ro
3292001
Monahan
0.1 NM

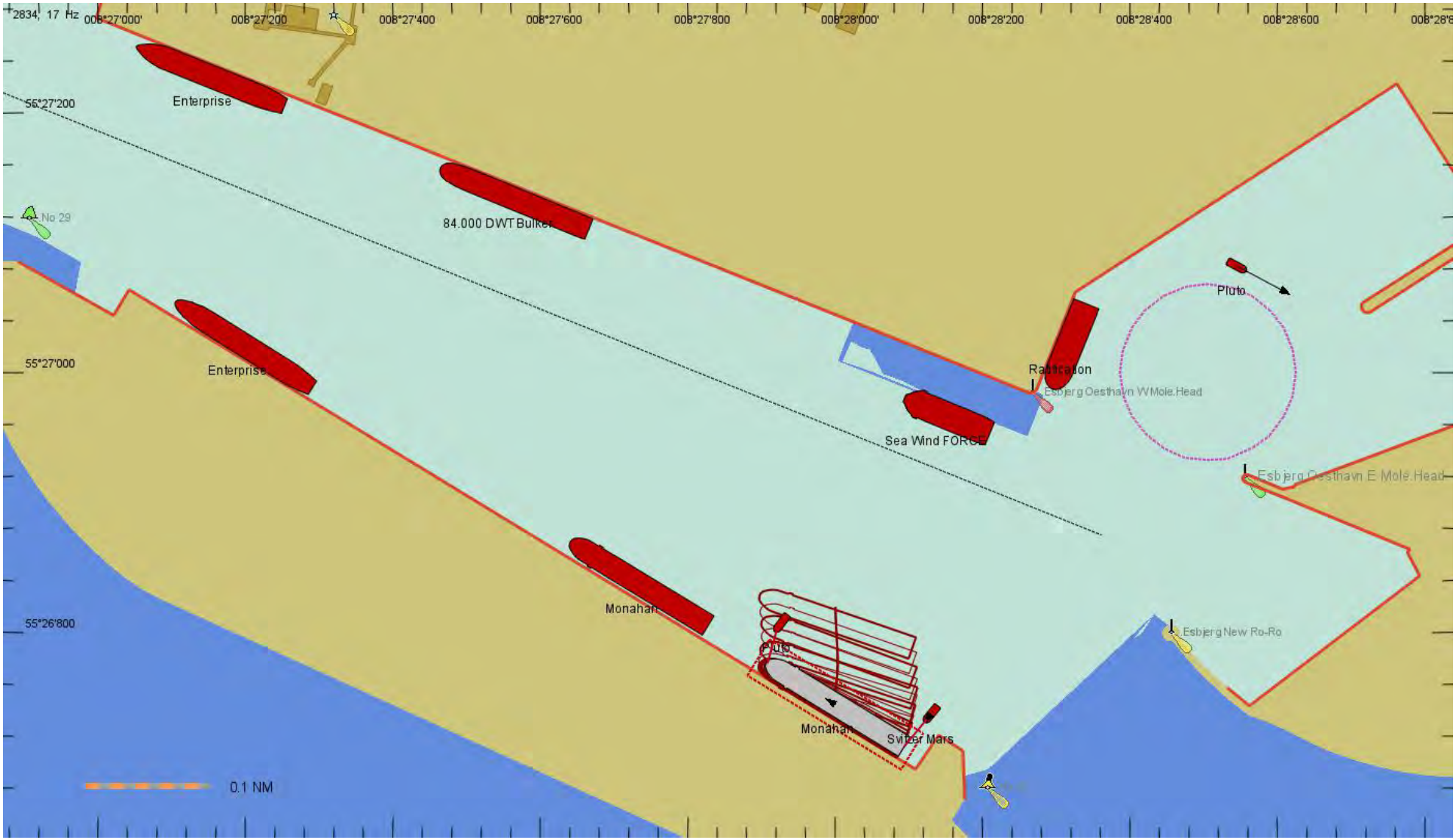

2784, 14 Hz
008°27'000'
008°27'200
008°27'400
008°27'600
008°27'800
008°28'000'
008°28'200
008°28'400
008°28'600
55°27'200
55°27'000
55°26'800
Enterprise
No 29
84.000 DWT Bulker
Enterprise
Pluto
Radiation
Esbjerg Oesthavn W Mole Head
Pluto
Pluto
Esbjerg Oesthavn E Mole Head
Monahan
Svitzer Mars
Esbjerg New Ro-Ro
Monahan
0.1 NM

RUN 205

Løb	Skib	Terminal	Vind		Strøm	
			Retning fra	Hastighed m/s	Retning til	Hastighed m/s
205	3557	L6.2 Afg	NE	12	NV	2.0

Instruktør	Lods/Kaptajn
Afgang fra L6.3. Forreste spring sat. Kan ikke løfte af. Slæbebåde center for og agter 50% og 75%. Derefter 100 % på begge. Fuld thruster. Vinkler skib så strømmen hjælper med at skubbe fra.	Afgang med 2 stk. slæbebåde uden problemer og realistisk.

008°26'000'
008°26'500
008°27'000'
008°27'500
008°28'000'
008°28'500
008°29'000'
55°27'500
55°27'000
Esbjerg Soenderhavn
No 27
No 29
Enterprise
84.000 DWT Bulker
Enterprise
Pluto
Esbjerg Oesthavn W Mole Head
Sea Wind FORCE
Esbjerg Oesthavn E Mole Head
Monahan
Pluto
Esbjerg New Ro-Ro
Monahan 32.03.2001
0.1 NM

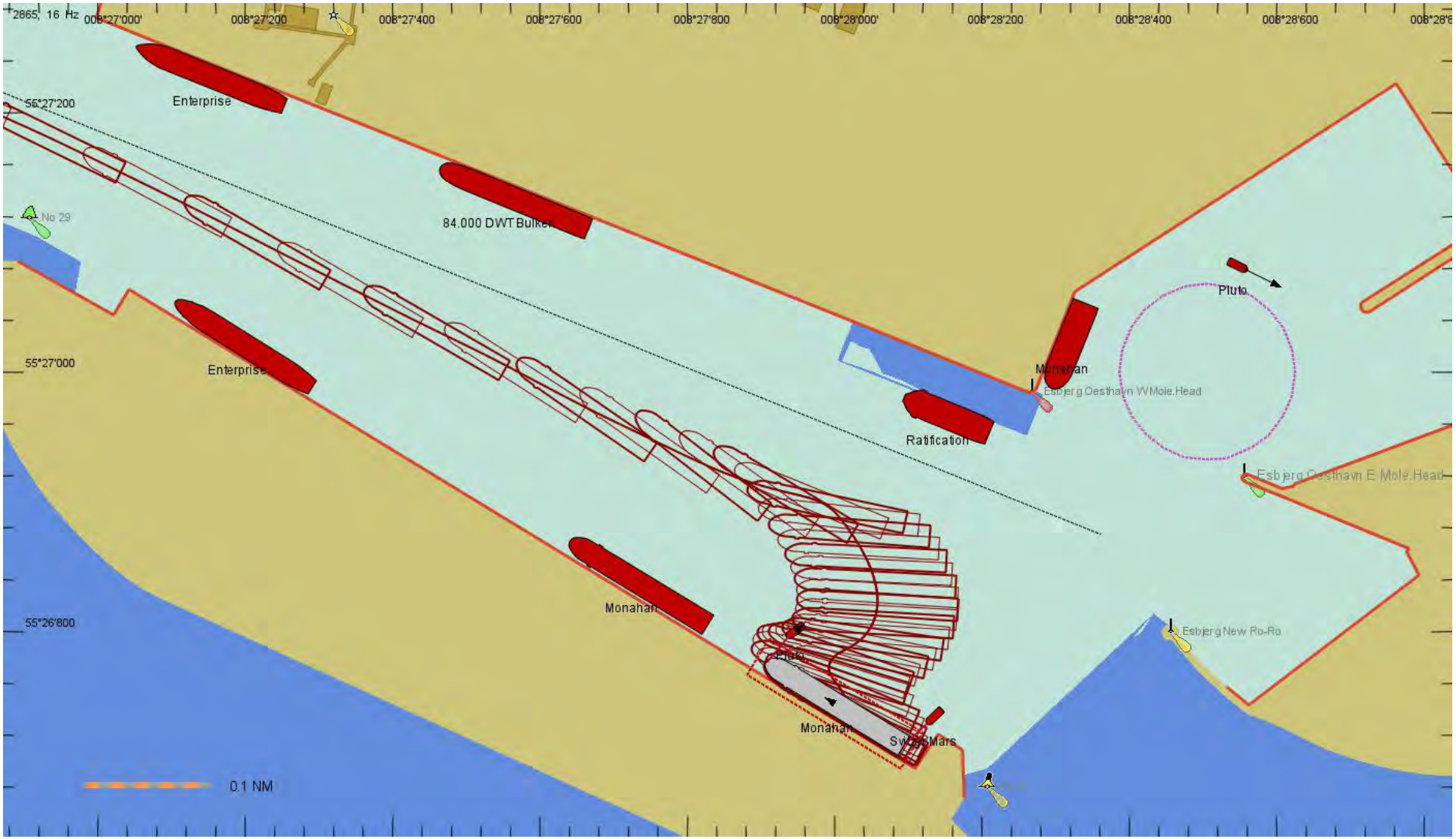

2834, 17 Hz
008°27'000'
008°27'200
008°27'400
008°27'600
008°27'800
008°28'000'
008°28'200
008°28'400
008°28'600
55°27'200
55°27'000
55°26'800
Enterprise
No 29
84.000 DWT Bulker
Enterprise
Pluto
Esbjerg Oesthavn W Mole Head
Sea Wind FORCE
Esbjerg Oesthavn E Mole Head
Monahan
Esbjerg New Ro-Ro
Pluto
Monahan
Svitzer Mars
0.1 NM

RUN 206

Løb	Skib	Terminal	Vind		Strøm	
			Retning fra	Hastighed m/s	Retning til	Hastighed m/s
206	3557	L6.3 Afg	NE	15	NV	2.0

Instruktør	Lods/Kaptajn
Gentagelse af forrige løb med mere vind. 100% agter slæbebåd og 75% forreste. Brug al tilgængelig kraft til at løfte skibet fra kaj. Sejler ud for at se hvor meget fart der er brug for, for sikker styring under disse forhold.	2 stk. slæbebåde måtte arbejde hårdt for at få skibet fra kaj, men muligt. Der skal løftes godt fra kaj inden slæbebåde slippes. Vær opmærksom på skibets langsomme acceleration. Der skal bruges rigeligt med maskinkraft for at opnå styrefart. Der skal sejles med god fart for at undgå for meget afdrift. Det kan overvejes at holde en slæbebåd agter til Escort. Skibet krængede op til 6 grader under drejet ved bøje 22. Opmærksomheden henledes på skibets forøgede dybgang som følge af denne krængning. Ved lav vandstand kan forventes bundberøring og reduceret drejeegenskaber.

008°26'000'
008°26'500
008°27'000'
008°27'500
008°28'000'
008°28'500
008°29'000'
55°27'500
55°27'000
Esbjerg Soenderhavn
No 27
No 29
Enterprise
84.000 DWT Bulker
Enterprise
Pluto
Ratification
Esbjerg Oesthavn W Mole Head
Sea Wind FORCE
Esbjerg Oesthavn E Mole Head
Monahan
Esbjerg New Ro-Ro
Pluto
Monahan
0.1 NM

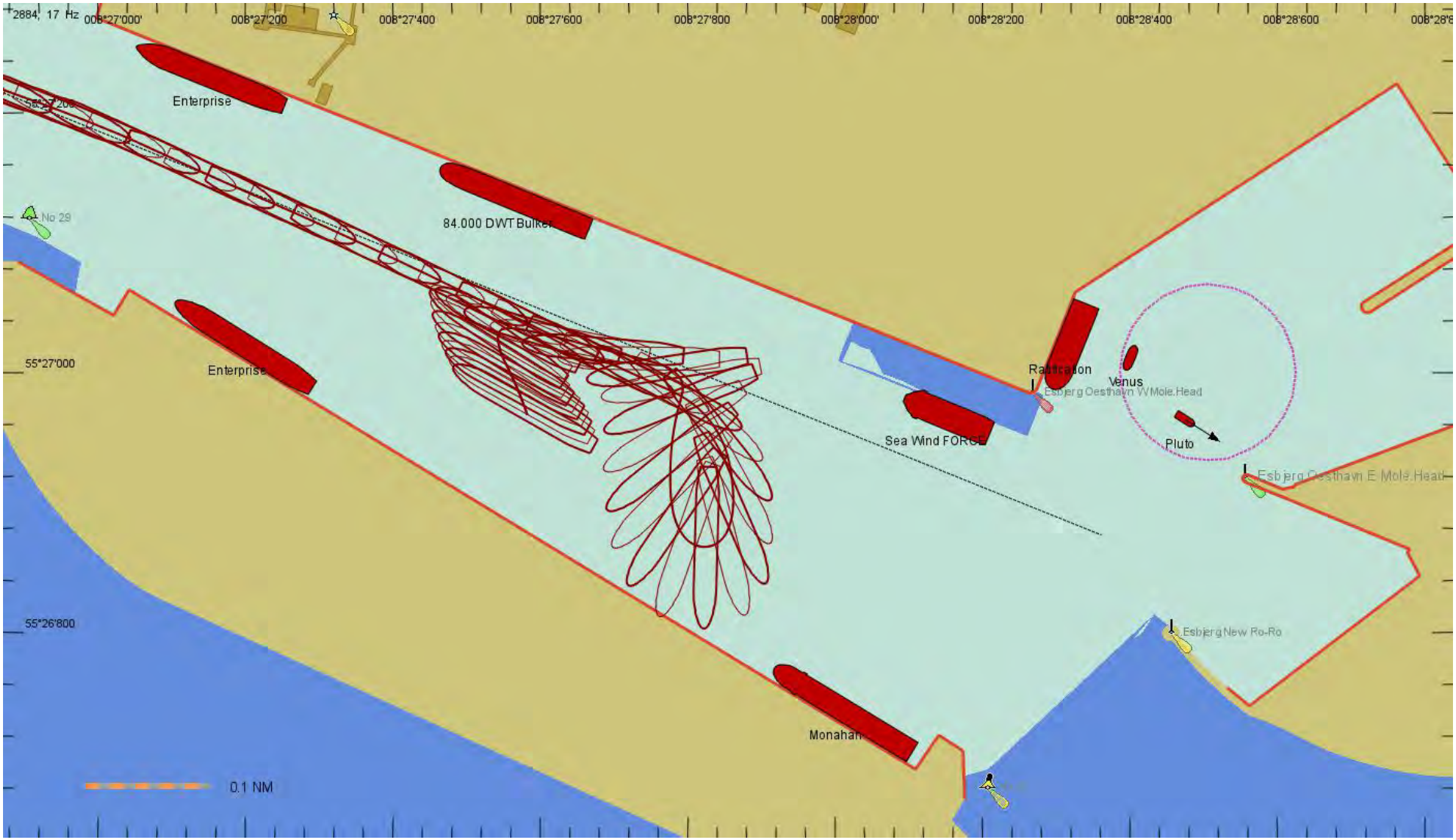

2865, 16 Hz
008°27'000'
008°27'200
008°27'400
008°27'600
008°27'800
008°28'000'
008°28'200
008°28'400
008°28'600
55°27'200
55°27'000
55°26'800
Enterprise
No 29
84.000 DWT Bulker
Enterprise
Monahan
Esbjerg Oesthavn W Mole Head
Ratification
Pluto
Esbjerg Oesthavn E Mole Head
Esbjerg New Ro-Ro
Monahan
Monahan
0.1 NM

RUN 207

Løb	Skib	Terminal	Vind		Strøm	
			Retning fra	Hastighed m/s	Retning til	Hastighed m/s
207	3234	L6.1 Ank	NV	15	NV	2.0

Instruktør	Lods/Kaptajn
Ankomst til L6.2. Slæbebåde sat fast center agter og på styrbords skulder. Svinger styrbord rundt. Bove op mod kajen. Kommer rundt og vinkler så strømmen skubber mod kaj. Agterste slæbebåd flyttes til agten for tværs.	Vær opmærksom på svag maskinkraft. Muligt men vil være at foretrække på "slæk vande".

008°26'000'
008°26'500
008°27'000'
008°27'500
008°28'000'
008°28'500
008°29'000'
55°27'500
55°27'000
Esbjerg Soenderhavn
No 27
No 29
Venus
84.000 DWT Bulker
Enterprise
Sea Wind FORCE
Ratification
Venus
Pluto
Esbjerg Oesthavn W Mole Head
Esbjerg Oesthavn E Mole Head
Esbjerg New Ro-Ro
Monahan
0.1 NM

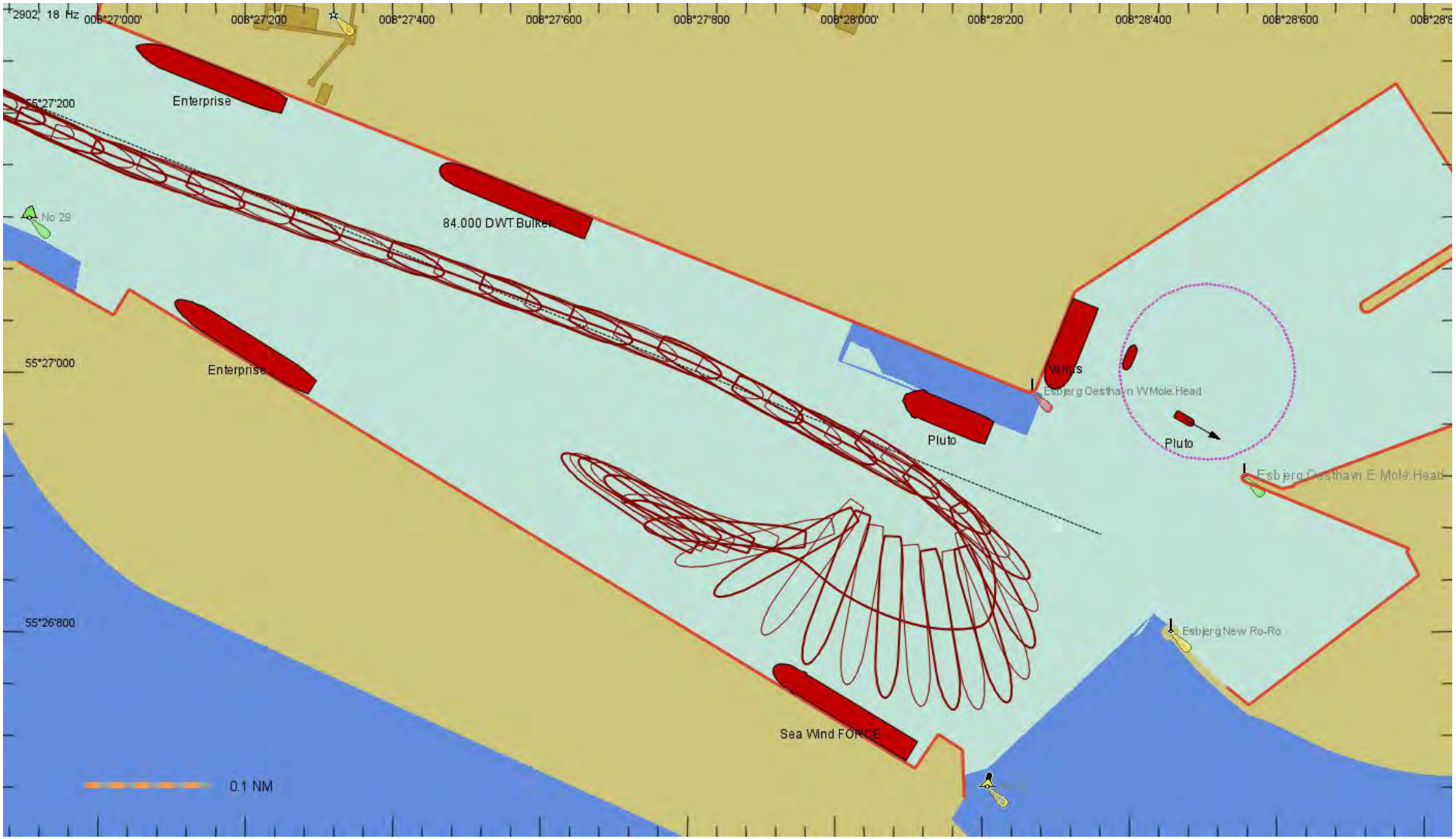

2884, 17 Hz
008°27'000'
008°27'200
008°27'400
008°27'600
008°27'800
008°28'000'
008°28'200
008°28'400
008°28'600
Enterprise
No 29
84.000 DWT Bulker
55°27'000
Enterprise
Ratification
Venus
Esbjerg Oesthavn W Mole Head
Pluto
Sea Wind FORCE
Esbjerg Oesthavn E Mole Head
55°26'800
Esbjerg New Ro-Ro
Monahan
0.1 NM

RUN 208

Løb	Skib	Terminal	Vind		Strøm	
			Retning fra	Hastighed m/s	Retning til	Hastighed m/s
208	3234	L6.2 Ank	NE	15	NV	2.0

Instruktør	Lods/Kaptajn
Ankomst til L6.2. Kommer ned mod enden af L.6.3 og svinger styrbord rundt. Boven 11 m fra Car Carrieren på L6.3	Kontrolleret anløb, men skibet er "tungt" at manøvrerer. "Slæk vande" bør overvejes.

008°26'000'
008°26'500
008°27'000'
008°27'500
008°28'000'
008°28'500
008°29'000'
55°27'500
55°27'000
Esbjerg Soenderhavn
2001
Enterprise
Pluto
No 27
No 29
Enterprise
34 000 DWT Bulker
Enterprise
Ratification
Venus
Pluto
Esbjerg Oesthavn W Mole Head
Esbjerg Oesthavn E Mole Head
Esbjerg New Ro-Ro
Monahan
0.1 NM

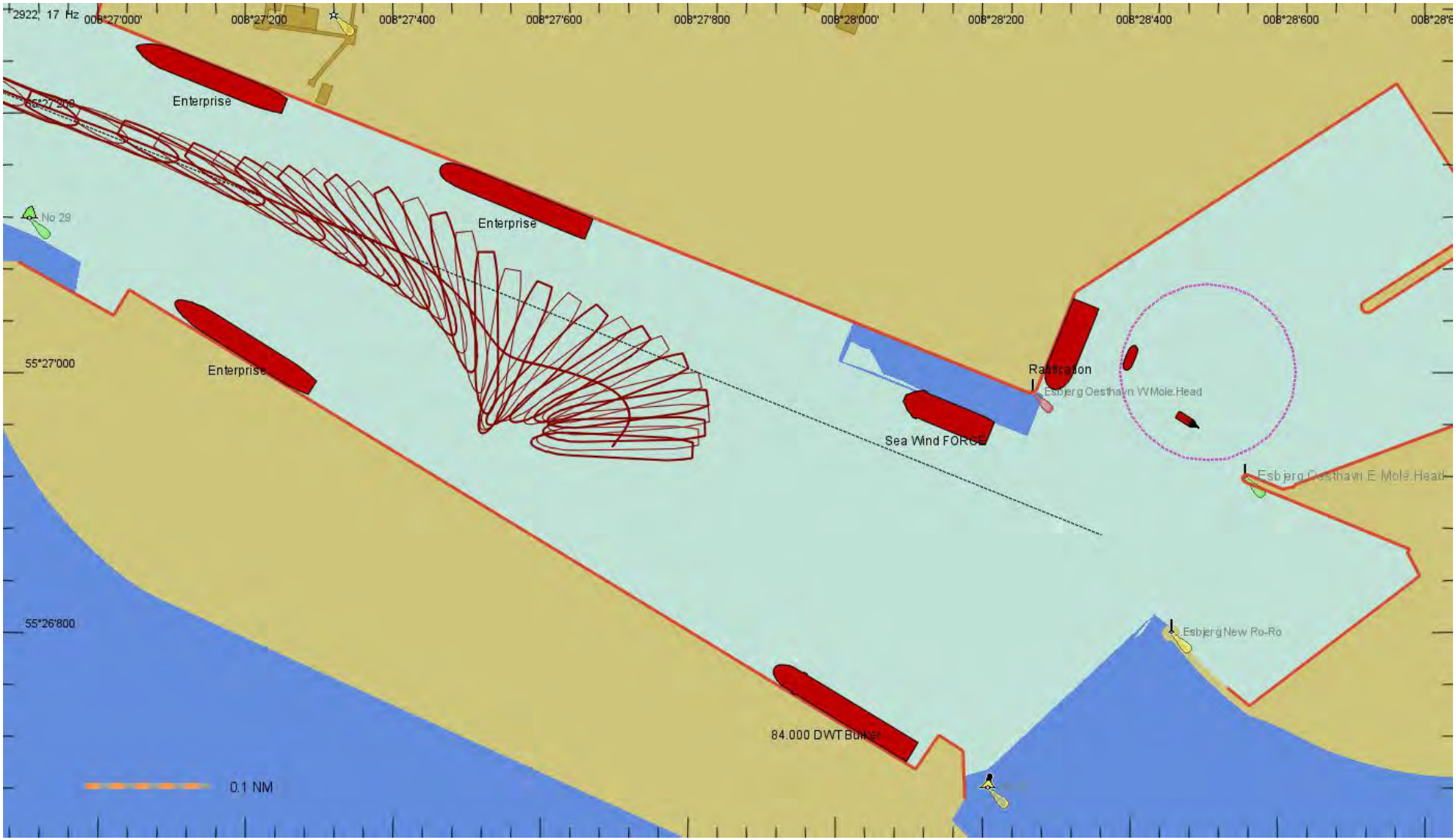

2902, 18 Hz
008°27'000'
008°27'200
008°27'400
008°27'600
008°27'800
008°28'000'
008°28'200
008°28'400
008°28'600
55°27'200
55°27'000
55°26'800
Enterprise
No 29
84.000 DWT Bulker
Enterprise
Pluto
Pluto
Esbjerg Oesthavn W Mole Head
Esbjerg New Ro-Ro
Sea Wind FORCE
0.1 NM

RUN 209

Løb	Skib	Terminal	Vind		Strøm	
			Retning fra	Hastighed m/s	Retning til	Hastighed m/s
209	3234	L6.3 Ank	SV	15	SØ	2.0

Instruktør	Lods/Kaptajn
Ankomst til L6.2. Får kontrol over farten og svinger styrbord rundt ved hjælp af strømmen. Svinger rundt i midten af kanalen. Strømmen skubber skibet mod kajen.	Kontrolleret anløb, men fortsat tungt. Udfordringer med at styre præcist i den medløbende strøm. Slækvande anbefales.

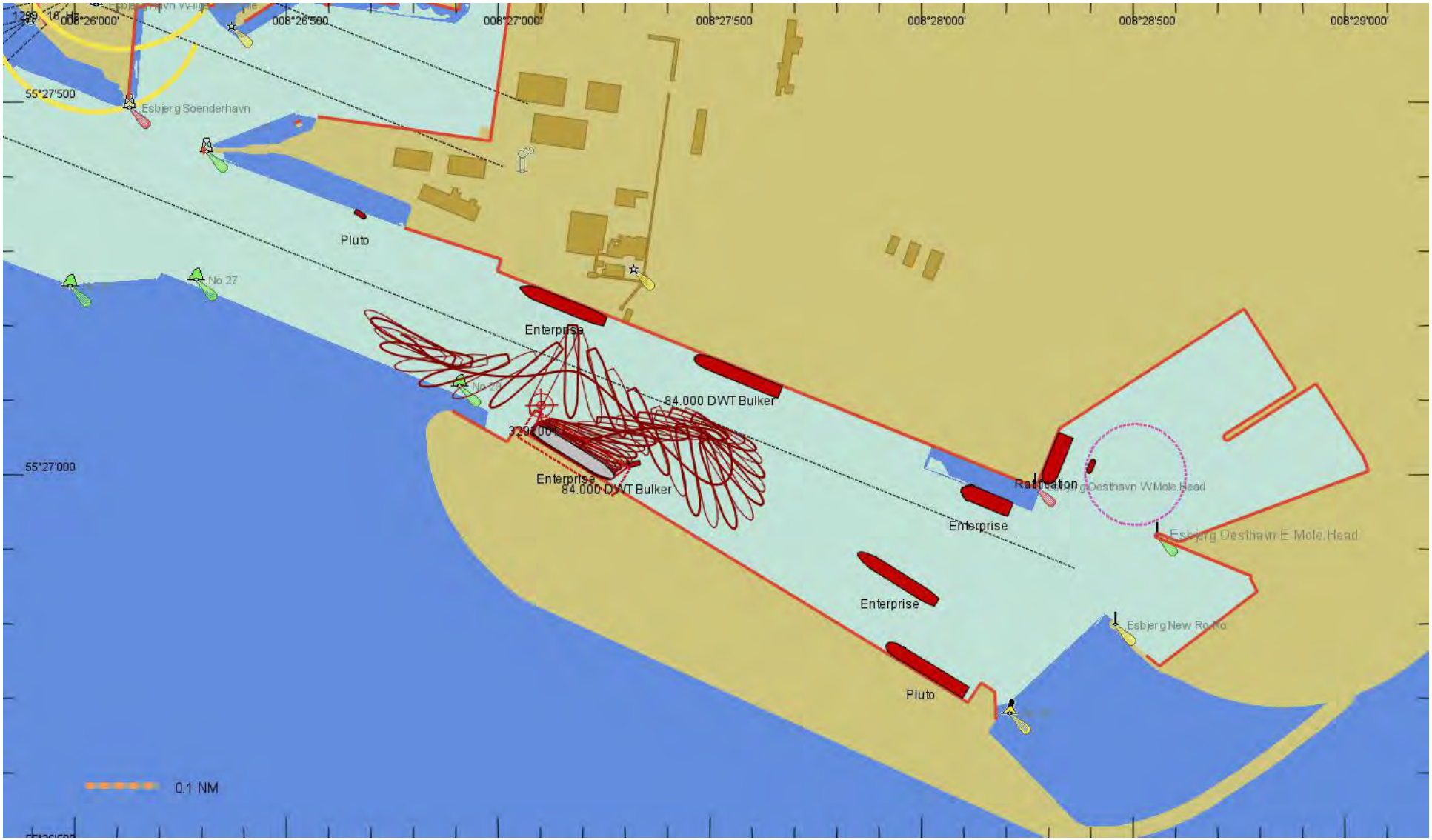
008°26'000'
008°26'500
008°27'000'
008°27'500
008°28'000'
008°28'500
008°29'000'
55°27'500
55°27'000
Esbjerg Soenderhavn
2001
Venus
Pluto
No 27
No 29
24,000 DWT Bulker
Monahan
Pluto
Venus
Pluto
Esbjerg Oesthavn W Mole Head
Esbjerg Oesthavn E Mole Head
Esbjerg New Ro-Ro
Venus
0.1 NM

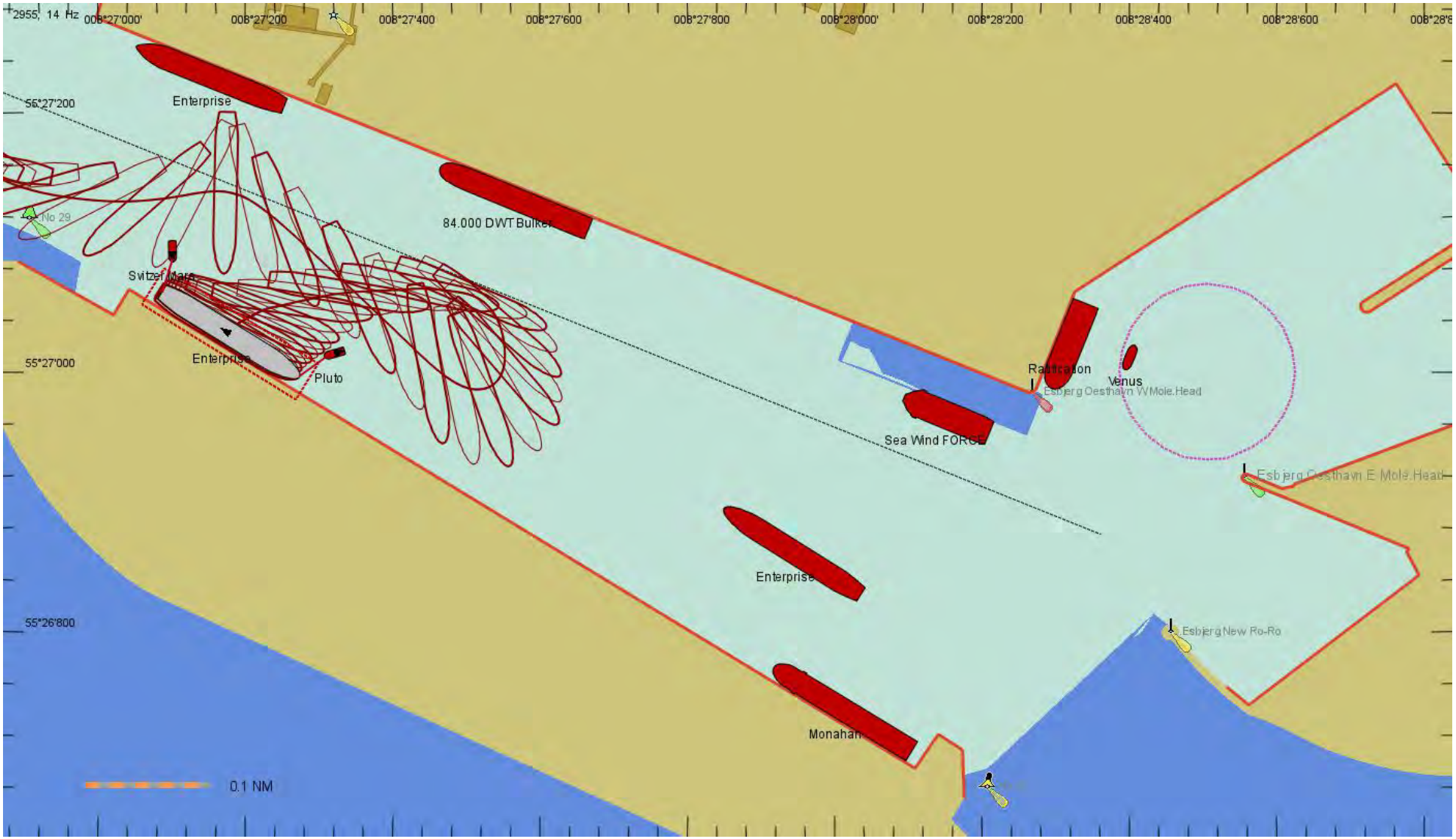

2922, 17 Hz
008°27'000'
008°27'200
008°27'400
008°27'600
008°27'800
008°28'000'
008°28'200
008°28'400
008°28'600
Enterprise
Enterprise
Enterprise
No 29
55°27'000
55°26'800
Sea Wind FORCE
Esbjerg Oesthavn W Mole Head
Esbjerg Oesthavn E Mole Head
Esbjerg New Ro-Ro
84.000 DWT Bulker
0.1 NM

RUN 210

Løb	Skib	Terminal	Vind		Strøm	
			Retning fra	Hastighed m/s	Retning til	Hastighed m/s
210	3234	L6.1 Afg	NE	15	NV	2.0

Instruktør	Lods/Kaptajn
Afgang fra L6.1. Styrbords side til kaj. Trækker ud med 2 slæbebåde på fuld kraft for at vinkle for at få strømmen mellem skib og kaj. Vinkler boven udad, løfter af mod Tauruskaj før der svinges styrbord rundt. Boven 2 m fra skibet på L6.2. Derefter bakkes på tværs af kanalen hen mod skibet på Arieskaj.	Der måtte anvendes stor kraft fra slæbebåde for at komme fra kaj. Skibet vendtes for tidligt, hvilket resulterede i nogle forholdsmæssigt hårde manøvre. Der skulle være taget mere højde for at give mere plads til at vende skibet. Det burde overvejes om skibet skulle være vendt bagbord rundt.


008°26'000'
008°26'500
008°27'000'
008°27'500
008°28'000'
008°28'500
008°29'000'
55°27'500
55°27'000
Esbjerg Soenderhavn
Pluto
No 27
No 29
Enterprise
84.000 DWT Bulker
Enterprise
84.000 DWT Bulker
Enterprise
Enterprise
Pluto
Esbjerg Oesthavn W Mole Head
Esbjerg Oesthavn E Mole Head
Esbjerg New Ro-Ro
0.1 NM

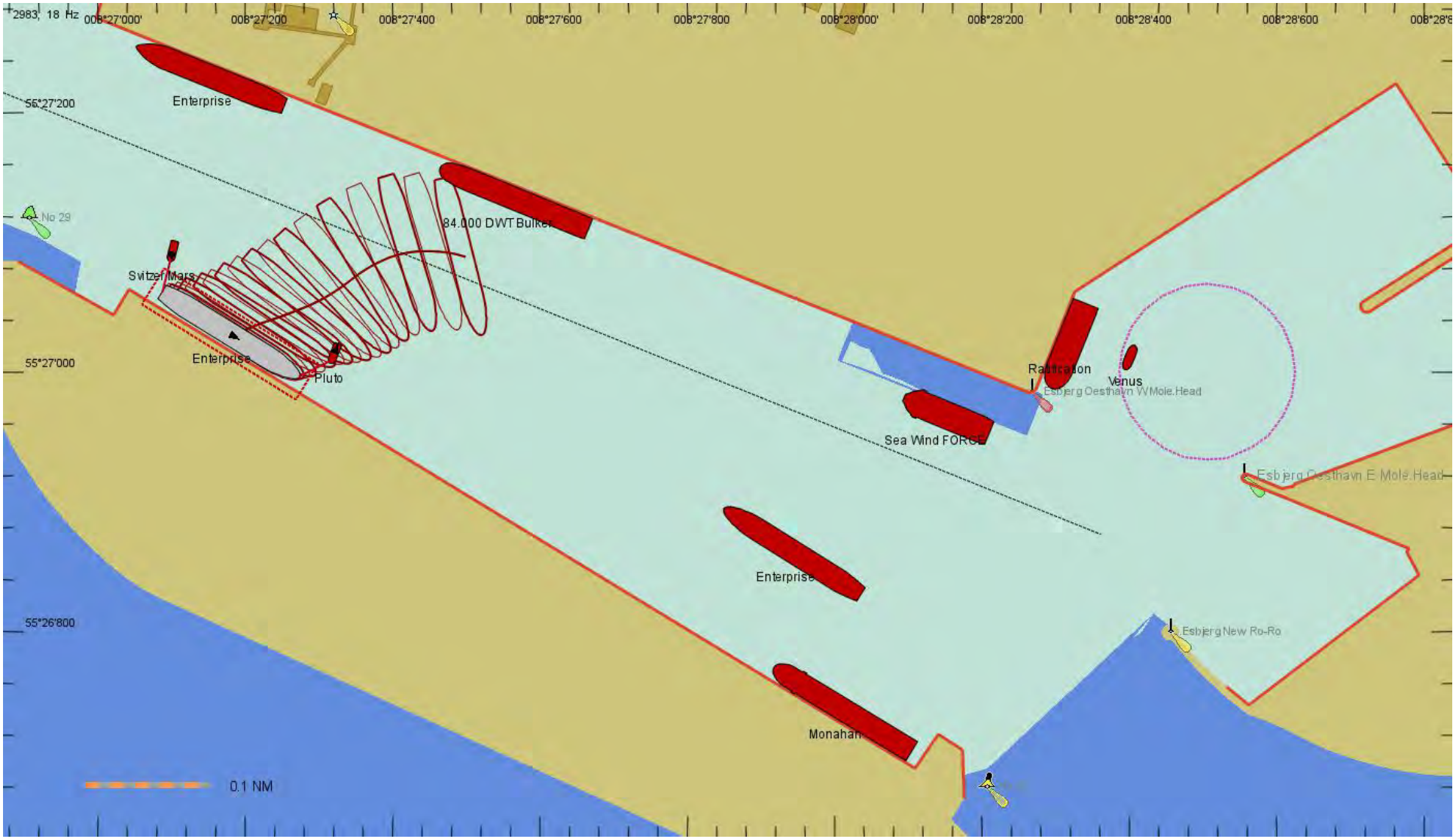

2955, 14 Hz
008°27'000'
008°27'200
008°27'400
008°27'600
008°27'800
008°28'000'
008°28'200
008°28'400
008°28'600
55°27'200
55°27'000
55°26'800
Enterprise
No 29
84.000 DWT Bulker
Svitzer Mars
Enterprise
Pluto
Sea Wind FORCE
Ratification
Venus
Esbjerg Oesthavn W Mole Head
Esbjerg Oesthavn E Mole Head
Enterprise
Esbjerg New Ro-Ro
Monahan
0.1 NM

RUN 211

Løb	Skib	Terminal	Vind		Strøm	
			Retning fra	Hastighed m/s	Retning til	Hastighed m/s
211	3234	L6.1 Afg	SV	15	SØ	2.0

Instruktør	Lods/Kaptajn
Afgang fra L6.1. Styrbords side ved kaj. 75% på begge slæbebåde. Kom af og så fremad hvorefter man prøvede at dreje styrbord rundt, men bakkede hurtigt ind i skibet ved Arieskaj.	Fint fra kaj med to slæbebåde. Skulle have gået længere frem, for ikke at svinge udfor andet skib ved modsatte kaj. Bruge slæbebådene bedre.

008°26'000'
008°26'500
008°27'000'
008°27'500
008°28'000'
008°28'500
008°29'000'
55°27'500
55°27'000
Esbjerg Soenderhavn
Ratification
No 27
No 29
Enterprise
84 000 DWT Bulker
329'00"
Enterprise
Pluto
Ratification
Sea Wind FORCE
Esbjerg Oesthavn W Mole Head
Esbjerg Oesthavn E Mole Head
Enterprise
Esbjerg New Ro-Ro
Monahan
0.1 NM

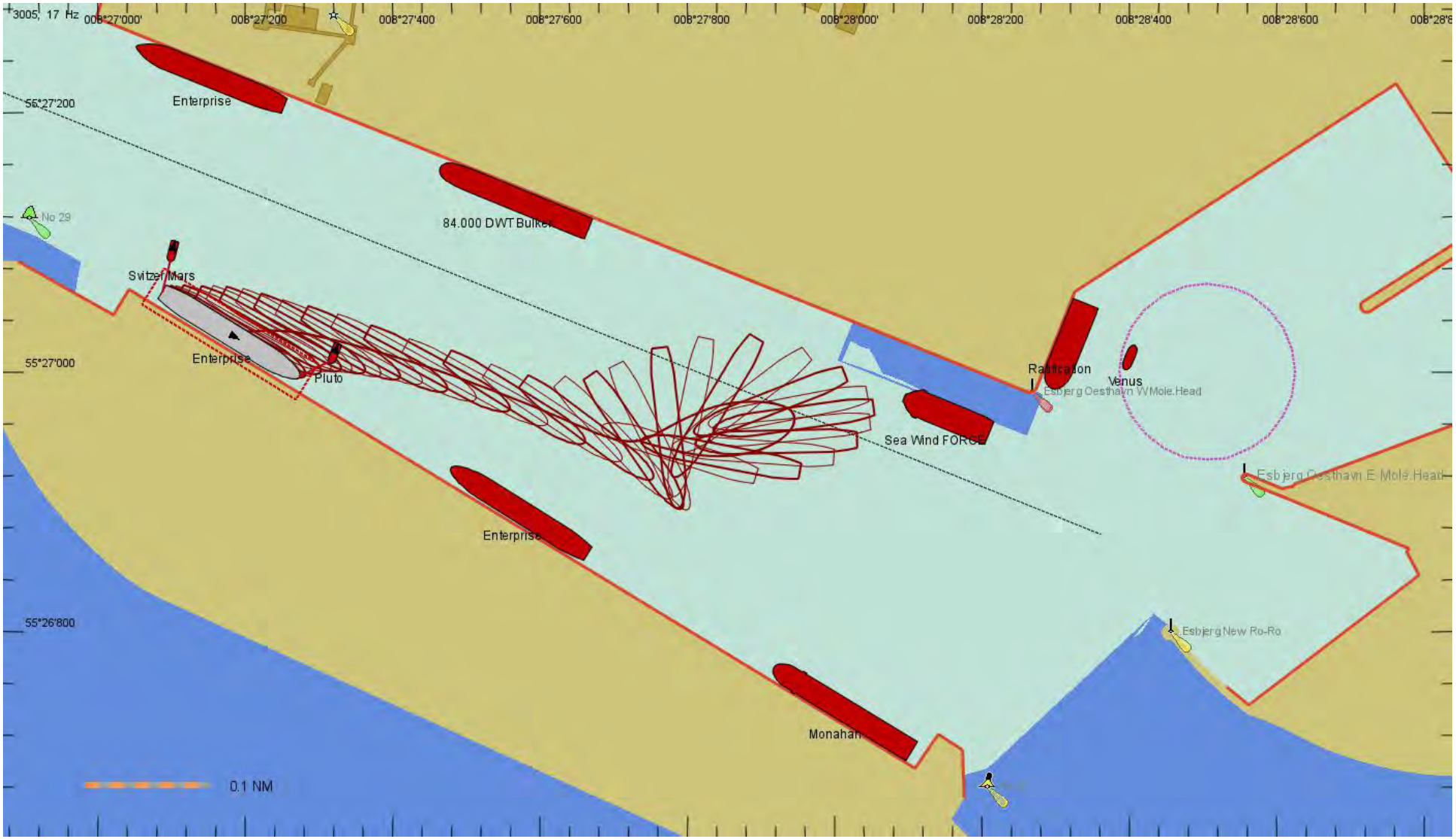

2983, 18 Hz
008°27'000'
008°27'200
008°27'400
008°27'600
008°27'800
008°28'000'
008°28'200
008°28'400
008°28'600
55°27'200
55°27'000
55°26'800
Enterprise
No 29
84.000 DWT Bulker
Svitzer Mars
Enterprise
Pluto
Sea Wind FORCE
Venus
Esbjerg Oesthavn W Mole Head
Esbjerg Oesthavn E Mole Head
Enterprise
Esbjerg New Ro-Ro
Monahan
0.1 NM

RUN 212

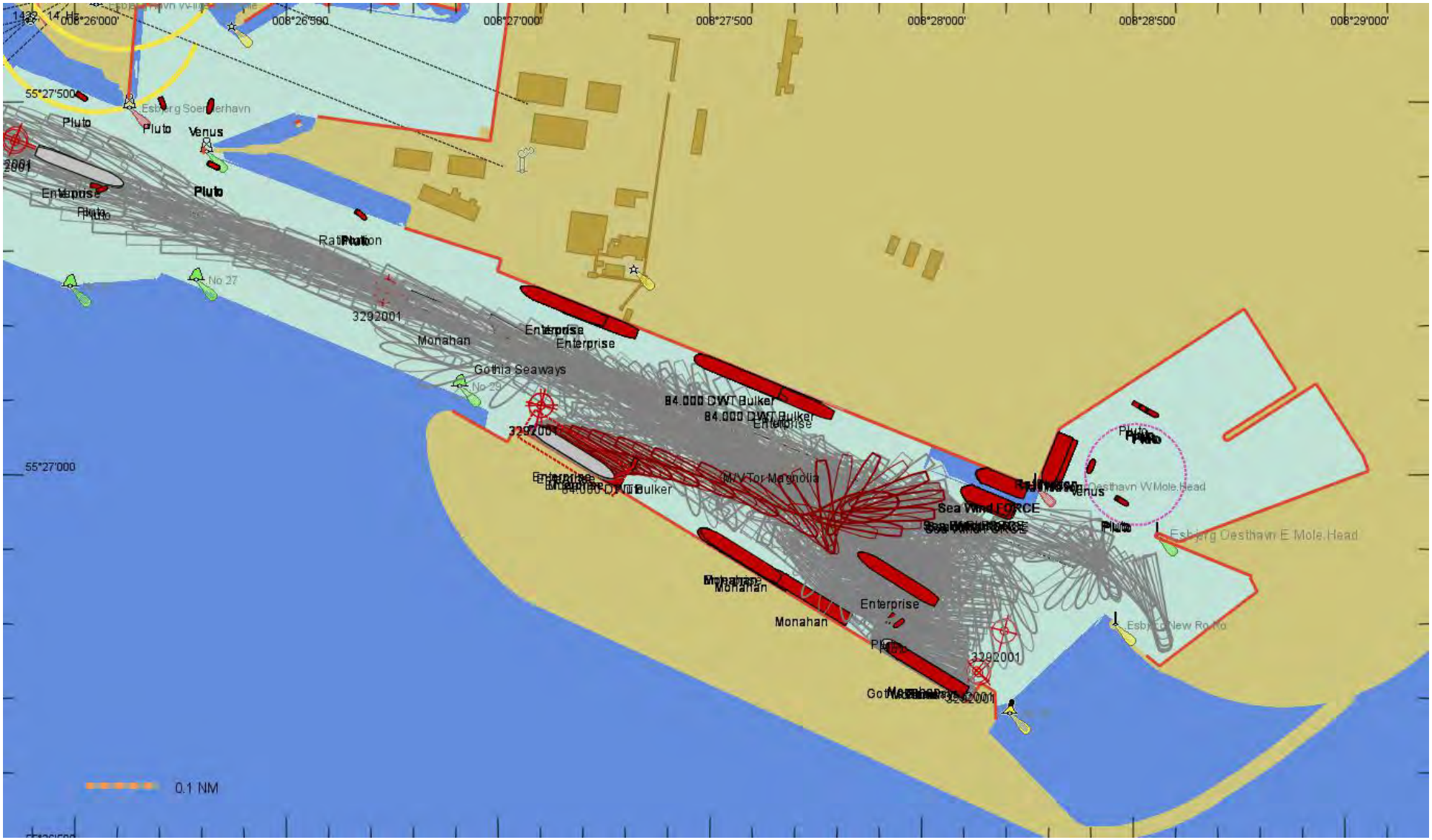
Løb	Skib	Terminal	Vind		Strøm	
			Retning fra	Hastighed m/s	Retning til	Hastighed m/s
212	3234	L6.1 Afg	SV	15	SØ	2.0

Instruktør	Lods/Kaptajn
gentagelse af forrige løb. Løfter af og kommer så ned mod skibet på L6.2 før der svinges styrbord rundt. Bakker ned mod skibet ved Geminikaj, men stopper 42 m fra, før der sejles fremad og ud.	Mere kontrolleret afgang. Slæk vande må foretrækkes.

008°26'000'
008°26'500
008°27'000'
008°27'500
008°28'000'
008°28'500
008°29'000'
55°27'500
55°27'000
Esbjerg Soenderhavn
Pluto
No 27
Enterprise
No 29
84.000 DWT Bulker
329'00"
Enterprise
Pluto
Sea Wind FORCE
Enterprise
Monahan
Esbjerg New Ro-Ro
0.1 NM


3005, 17 Hz
008°27'000'
008°27'200
008°27'400
008°27'600
008°27'800
008°28'000'
008°28'200
008°28'400
008°28'600
55°27'200
55°27'000
55°26'800
Enterprise
84.000 DWT Bulker
No 29
Svitzer Mars
Enterprise
Pluto
Enterprise
Sea Wind FORCE
Ratification
Venus
Esbjerg Oesthavn W Mole Head
Esbjerg Oesthavn E Mole Head
Esbjerg New Ro-Ro
Monahan
0.1 NM

Sweep plots


008°26'000'
008°26'500
008°27'000'
008°27'500
008°28'000'
008°28'500
008°29'000'
55°27'500
55°27'000
Esbjerg Soenderhavn
Pluto
Venus
Enterprise
Monahan
Gothia Seaways
No 27
No 29
3292001
84.000 DWT Bulker
M/V Tor Magnolia
Sea Wind FORCE
Esbjerg Oesthavn W Mole Head
Esbjerg Oesthavn E Mole Head
Esbjerg New Ro Ro
0.1 NM

Appendiks B

Skibsbeskrivelser:

3557, Car Carrier 230,0 meter

3234, Bulk Carrier 228.6 meter

3895, Ro-Ro 237.4 meter

Mathematical Ship Model No. 3557

"Monahan"

FORCE 110-22386-2 / 2013-06-27

Title of report and Project No.:

Ship Description

Ship 3557

Car Carrier

Loaded Condition

"Monahan"

Client:		***Ref.:***	110-22386-2		
Author(s):	Georgij Vasilev	***Date:***	2013-06-27		
		Approved by:			
Revision	***Description***	***By:***	***Checked:***	***Approved:***	***Date:***
4.0	Correction of 3 D model	GEV	OT		2013-06-27
3.0	Updated version	GEV	OT		2013-05-07
2.0	Draft version	GEV	KA	CRS	2010-09-16
1.0	Final version	GEV	KA	CRS	2010-09-01

Keywords:

Manoeuvring characteristics
Ship characteristics
Equilibrium speeds
Standard manoeuvres
Other characteristic manoeuvres

Classification:

Open
Internal
X Confidential

List of Contents

1 Ship Description 1
2 Basis for Mathematical Ship Model 1
3 Manoeuvring Characteristics 2
4 Ship Particulars 3
5 Equilibrium Speeds 4
6 References 5

Appendix A: Plots of Standard and Check Manoeuvres

Nomenclature and Definitions

LCB	Longitudinal centre of buoyancy
L_{pp}	Length between perpendiculars
R	Radius of propeller
T	Draught

The ship is defined in a right hand coordinate system with x positive forward and y positive to starboard. The path of the ship is referred to the origin of the ship, i.e. at the intersection between amidships and the centreline. Rudder angles are defined positive to port.

Wind direction : Wind coming from [angle]
Wave direction: Waves going to [angle]
Current direction: Current going to [angle]

1 Ship Description

The ship is a 230 m long and 32.2 m wide car carrier with a capacity of approx. 6400 cars. It is driven by one diesel engine of 18 MW and has one fixed pitch propeller. The service speed at the design draught is 20.1 knots. The vessel is equipped with one horn rudder and has one bow thruster.

2 Basis for Mathematical Ship Model

The mathematical model of the ship is based on results from PMM tests in the deep water towing tank at FORCE with a scaled (1:34.21) model of the car carrier equipped with stock propeller and movable rudder. The seakeeping properties of the ship have been determined using the in-house 3D-panel method S-OMEGA. The model tests are documented in Ref. /1/. Shallow water effects on the hull forces have been scaled from a similar model to fit the conditions of present ship. Wind load data has been obtained from wind tunnel test measurements of a similar ship.

The basis for the mathematical ship model is summarized in Table 2-1.

Effect (device)	Scaled from similar model	Predicted using database tool (ShipYard)	Specific model tests (PMM / wind tunnel)	Specific calculations (CFD / OMEGA)	Full scale trial data
Hull hydrodynamics			X		
Shallow water effects	X				
Propulsion & rudder			X		
Thrusters	X				
Wave loads				X	
Wind loads	X				
Bank effects	X				
Ship-ship interaction	X				
Hydrostatic forces	X				
Engine char.	X				
Anchor char.	X				

Table 2-1: Basis for Mathematical Ship Model

3 Manoeuvring Characteristics

The ship is course stable as can be seen from the spiral test. Its turning ability is as seen from the turning circle is slightly below average with a tactical diameter of 3.4 Lpp. Despite this the vessel still fulfils the IMO recommendation, see Table 3-1. The yaw-checking ability at full speed is good with a first overshoot of 7.7 deg. in a 20-20 zig-zag. The ship is seaworthy and does not roll much. The stopping ability is poor and just below the IMO limits of 15 Lpp.

The main manoeuvring characteristics of the ship model are listed in Table 3-1.

Parameter	**Car Carrier**	**IMO limit**
Turning circle, Advance	$3.0 \cdot L_{pp}$	$4.5 \cdot L_{pp}$
Turning circle, Tactical diameter	$3.4 \cdot L_{pp}$	$5.0 \cdot L_{pp}$
10/10 zig-zag, 1st overshoot angle	3.7 deg	20.0 deg
10/10 zig-zag, 2nd overshoot angle	5.4 deg	40.0 deg
20/20 zig-zag, 1st overshoot angle	7.7 deg	25.0 deg
Crash stop, Track reach	$15.0 \cdot L_{pp}$	$15 \cdot L_{pp}$

Table 3-1: Manoeuvring Characteristics

4 Ship Particulars

Type of ship Condition Ship No.		Car Carrier Loaded 3557
Length between Perpendiculars	m	220.0
Length overall	m	230.0
Breadth moulded	m	32.2
Draught fore/aft	m	8.8 / 8.8
Displacement	m^3	38987
Wetted Surface	m^2	8263
Frontal wind Area	m^2	1142
Lateral wind Area	m^2	7132
Block Coefficient based on Lpp	-	0.6254
Trim by the Stern	%	0.0
Metacentric Height	m	1.0
LCB, % of LPP forw. of LPP/2	%	-1.55
Radius of Inertia, % of LPP	%	25
Type of Engine		Diesel
Number of Propellers		1
Type of Propellers		FP
Direction of Rotation		Clockwise
Number of Blades		4
Propeller Diameter	m	6.5
Pitch Ratio at 0.7R		0.97
Area Ratio		0.65
Shaft Power (ahead) total	kW	18000
Number of Rudders		1
Type of Rudders		Horn
Position off CL	m	0
Area of Rudder (movable part)	m^2	46.1
Total rudder Area/(LPP x T)	%	2.38
Turning Velocity of Rudder (two Pumps)	deg/s	4.6
Max. rudder Angle	deg	35
Anchor Weight	kg	2 x 33000
Chain Weight	kg/m	464
Number of bow Thrusters		1
Nominal bow thruster Power	kW	1500
Number of stern Thrusters		0

Table 4-1: Ship Particulars

5 Equilibrium Speeds

Ship Engine Setting	Propeller		Speed, knots	
	RPM	Pitch	1000 m	10.6 m
1.0	118	0.97	20.1	13.5
0.8	67	"	12.1	10.4
0.5	50	"	9.0	8.2
0.25	36	"	6.5	6.2
0.125	25	"	4.4	4.2
-0.125	-25	"	-2.3	-1.4
-0.25	-36	"	-4.6	-3.5
-0.5	-50	"	-6.4	-5.4
-1.0	-82	"	-9.5	-8.9

Table 5-1: Propeller RPM and pitch, and equilibrium speeds for various handle settings for two water depths: deep water and shallow water corresponding to 1.2 times the mean draught.

6 References

/1/ FORCE Report No. 110-22386-1 “Car Carrier, Model Tests and Calculations”, Lyngby, Sept. 2010.

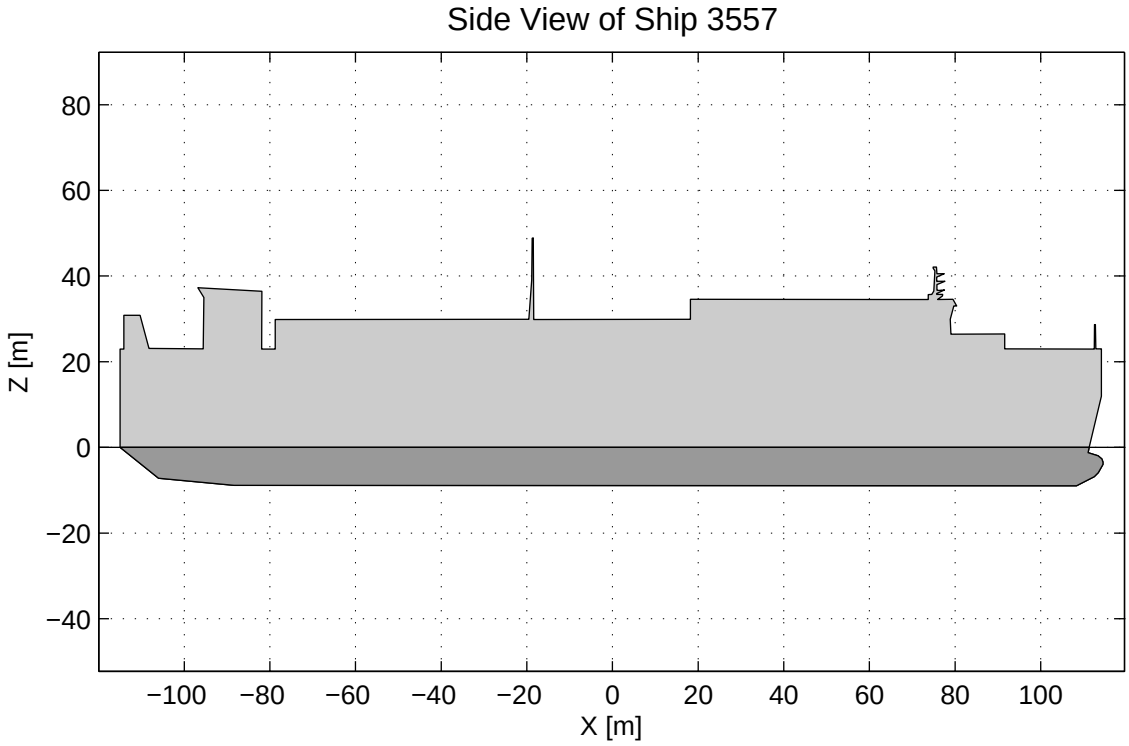
Appendix A.

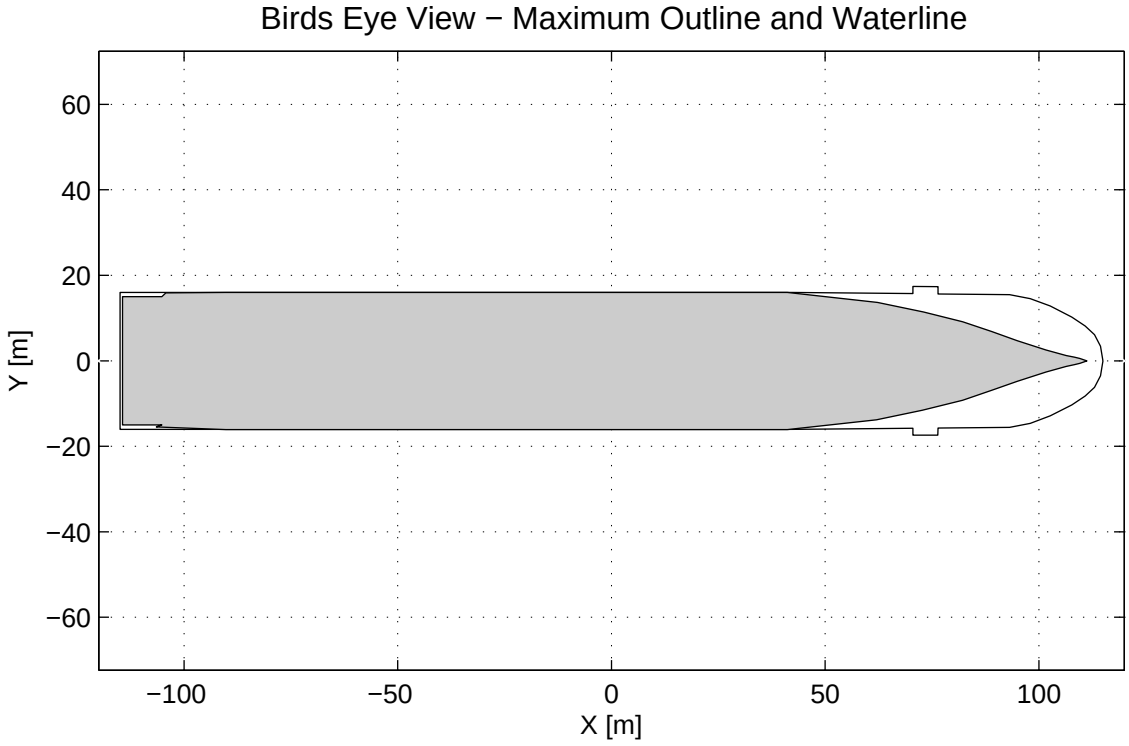
Mathematical Ship Model No. 3557 Monahan

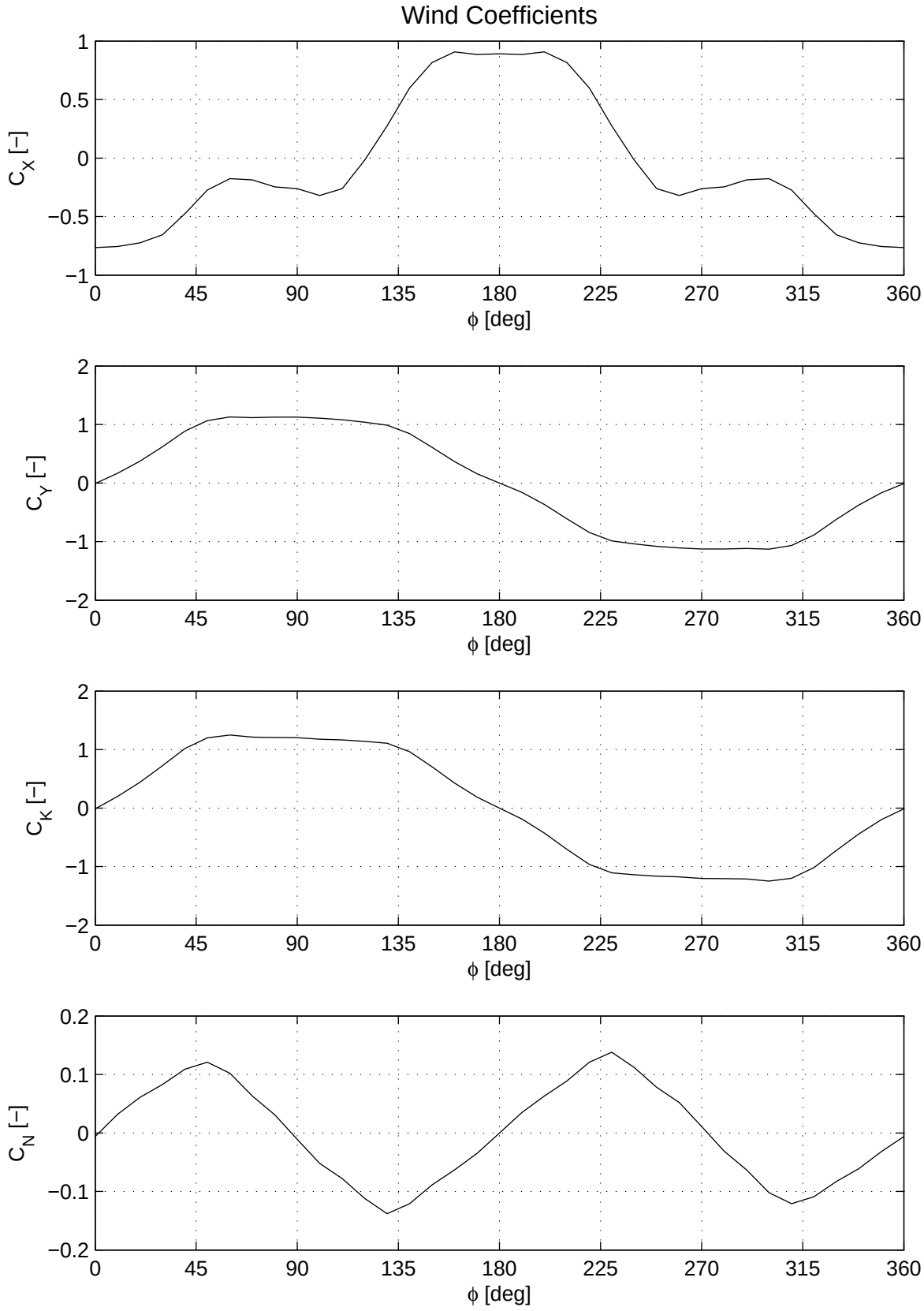
Plots of Standard and Check Manoeuvres

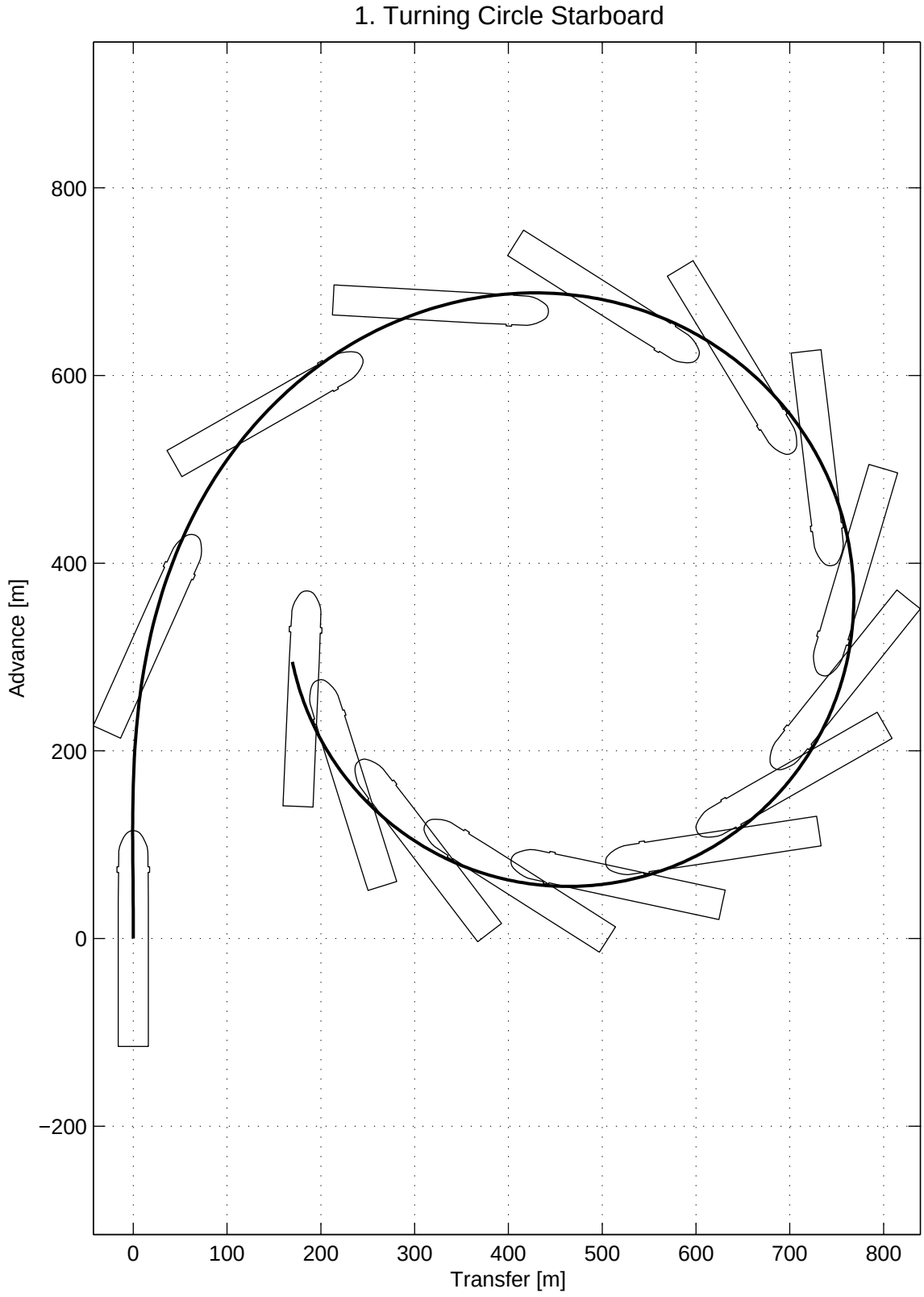
List of Contents

Side View and Birds Eye View	3
Wind Coefficients	4
1. Turning Circle Starboard	5
2. Turning Circle Port	7
3. Turning Circle Starboard, Shallow Water	9
4. Zig−zag 10/10	11
5. Zig−zag 20/20	12
6. Combined Dieudonne− and Reverse Spiral	13
7. Acceleration	14
8. Crash Stop	15
9. Coasting Stop	16
10. Going Astern	17
11. Drifting in Wind	18
12. Sailing with Autopilot in Wind	20
13. Drifting in Current	22
14. Sailing with Autopilot in Current	24
15. Drifting in Waves	26
16. Sailing with Autopilot in Waves	28


Side View of Ship 3557
Z [m]
X [m]
80
60
40
20
0
−20
−40
−100
−80
−60
−40
−20
0
20
40
60
80
100


Birds Eye View − Maximum Outline and Waterline
Y [m]
X [m]
60
40
20
0
−20
−40
−60
−100
−50
0
50
100


Wind Coefficients
C_X [–]
C_Y [–]
C_K [–]
C_N [–]
ϕ [deg]
0
45
90
135
180
225
270
315
360


1. Turning Circle Starboard
800
600
400
200
0
−200
Advance [m]
0
100
200
300
400
500
600
700
800
Transfer [m]

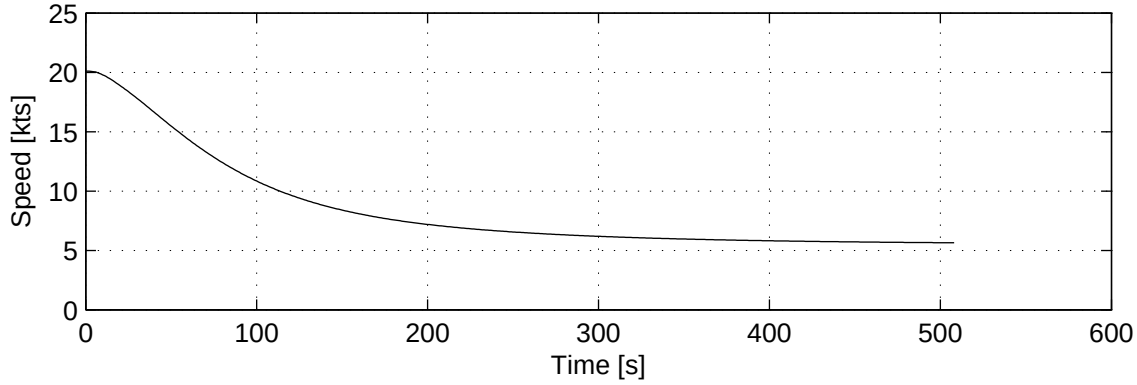
1. Turning Circle Starboard

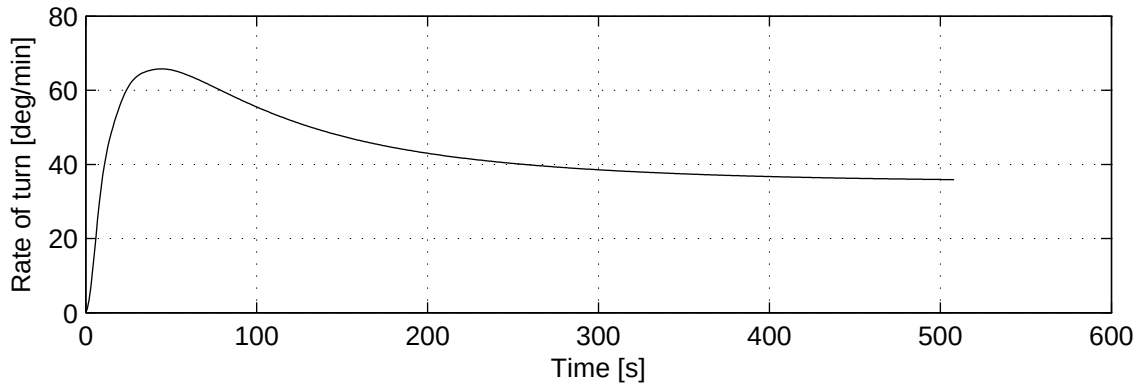
Initial Conditions and Controls

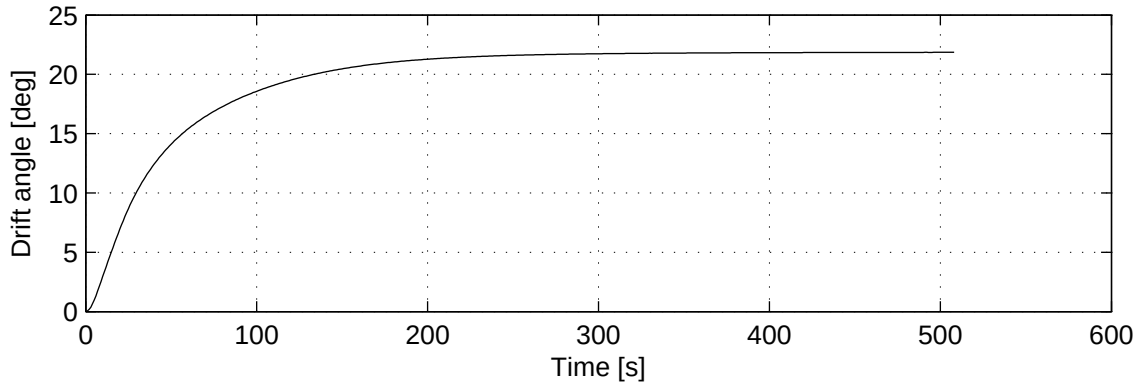
Approach speed	: 20.1 knots
Rudder deflection	: −35 deg
Water depth	: h/T = ∞

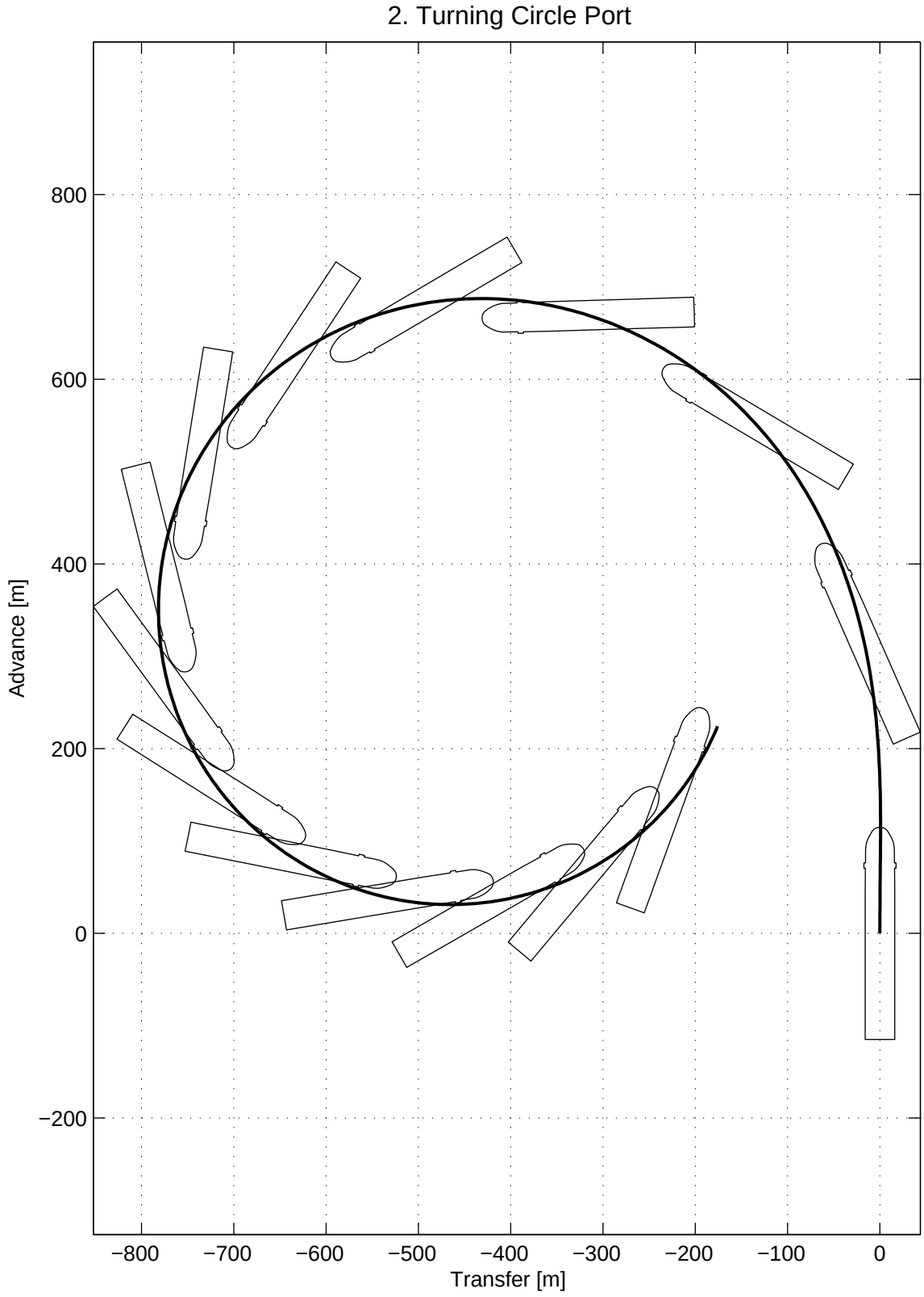
Results and Equilibrium Values

Advance	: 669 m
Transfer	: 311 m
Tactical diameter	: 747 m
Steady diameter	: 582 m








2. Turning Circle Port
800
600
400
200
0
−200
Advance [m]
−800
−700
−600
−500
−400
−300
−200
−100
0
Transfer [m]

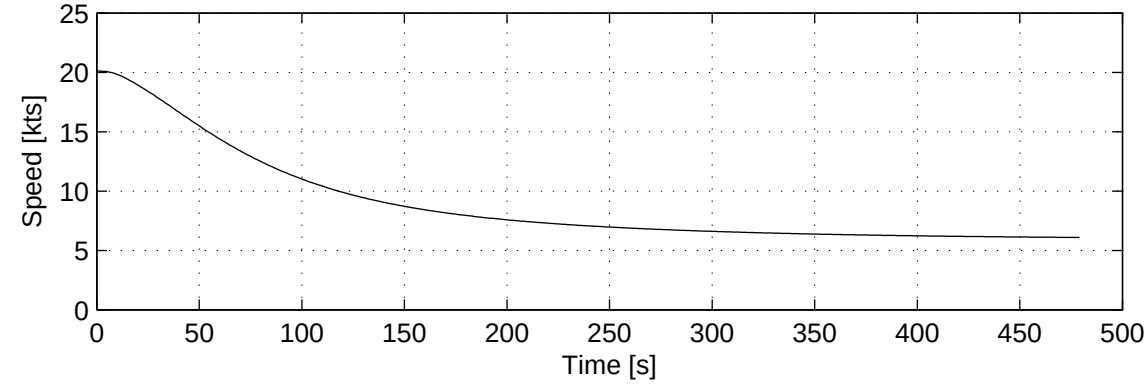
2. Turning Circle Port

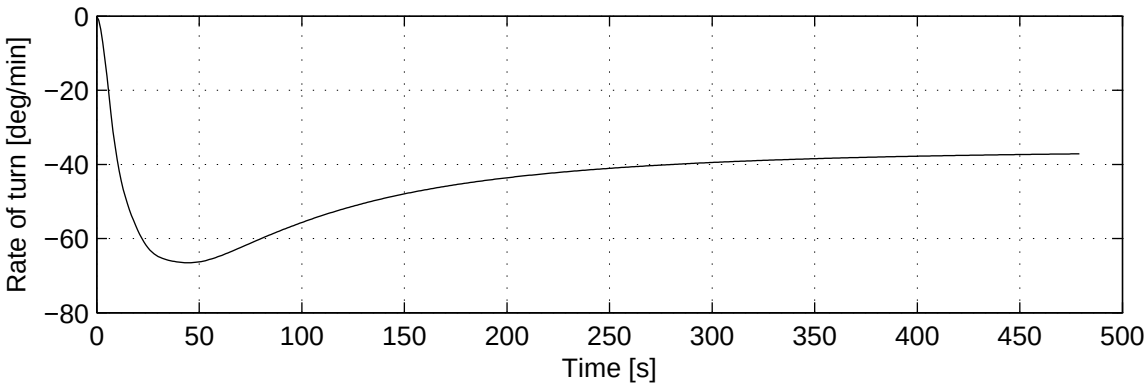
Initial Conditions and Controls

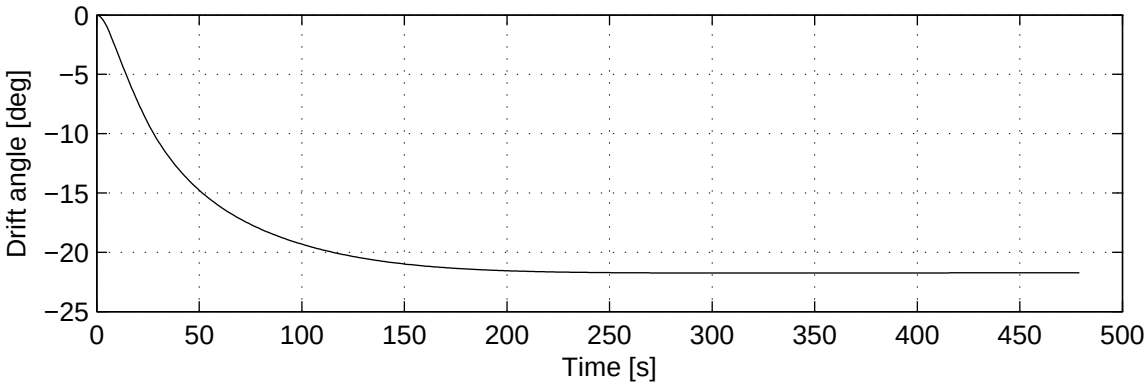
Approach speed	: 20.1 knots
Rudder deflection	: 35 deg
Water depth	: h/T = ∞

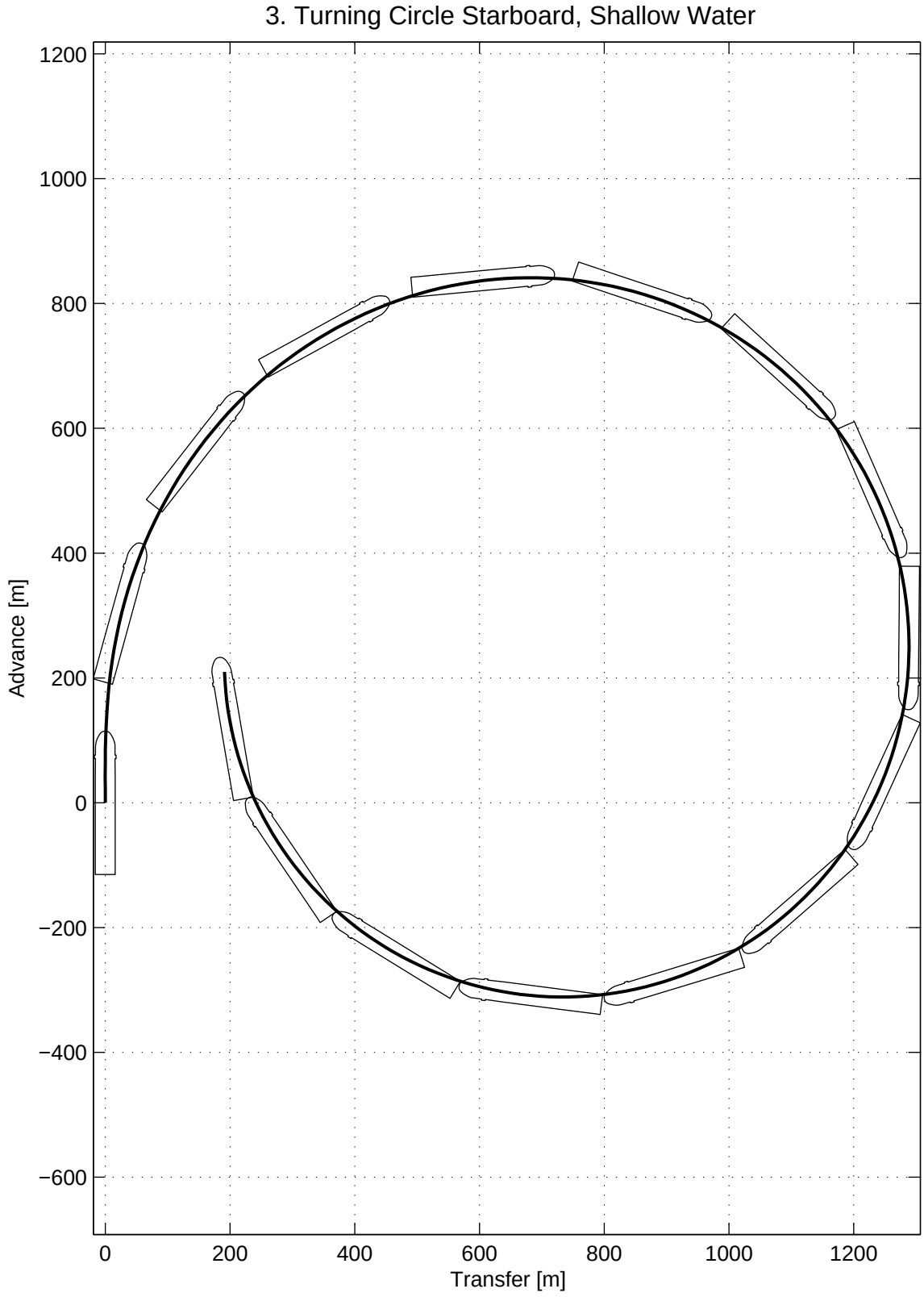
Results and Equilibrium Values

Advance	: 666 m
Transfer	: 304 m
Tactical diameter	: 758 m
Steady diameter	: 604 m








3. Turning Circle Starboard, Shallow Water
Advance [m]
Transfer [m]
1200
1000
800
600
400
200
0
−200
−400
−600
0
200
400
600
800
1000
1200

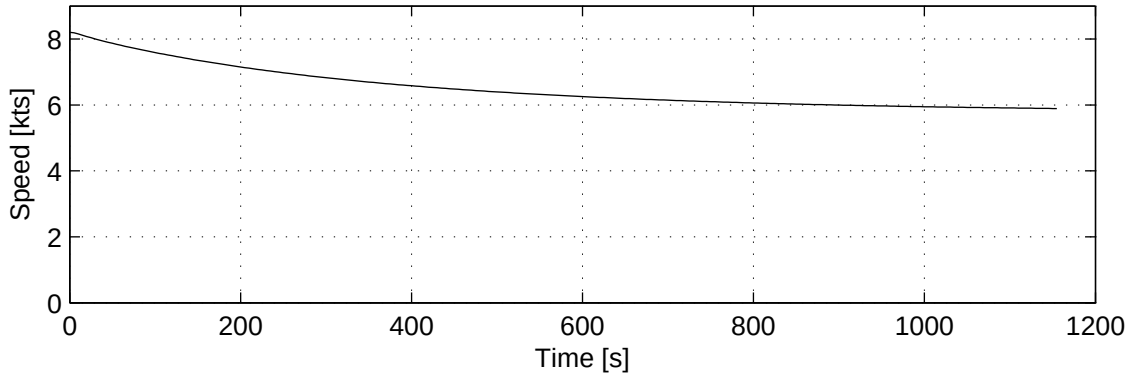
3. Turning Circle Starboard, Shallow Water

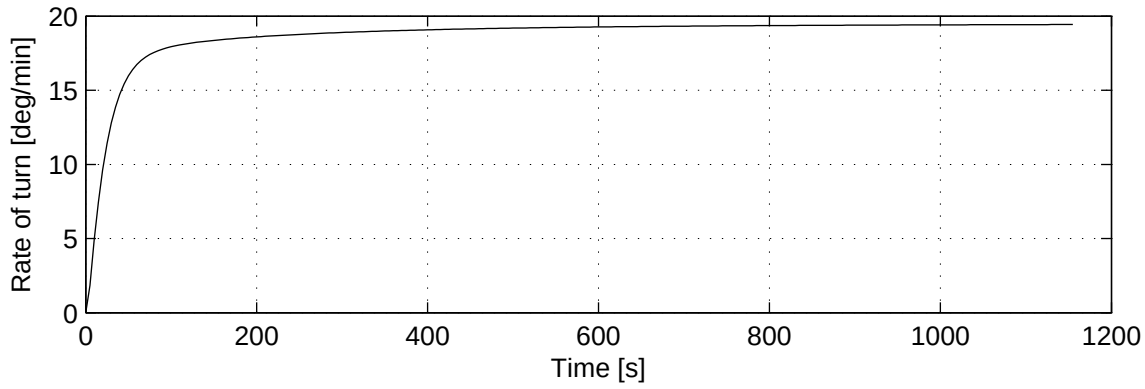
Initial Conditions and Controls

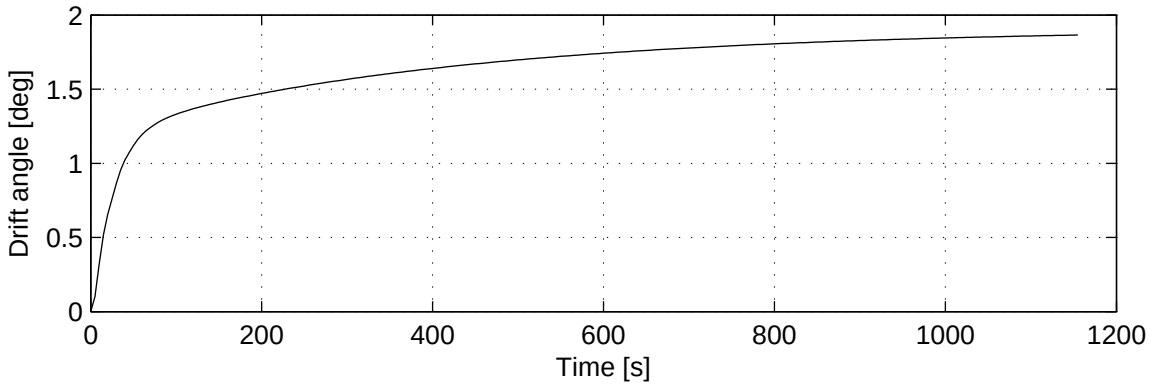
Approach speed	: 8.2 knots
Rudder deflection	: −35 deg
Water depth	: h/T = 1.2

Results and Equilibrium Values

Advance	: 841 m
Transfer	: 676 m
Tactical diameter	: 1288 m
Steady diameter	: 1097 m







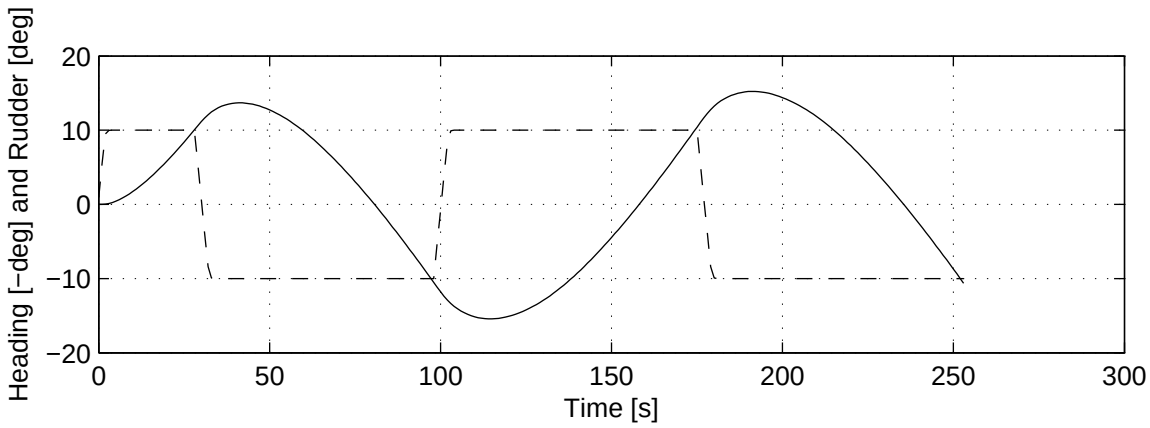
4. Zig−zag 10/10

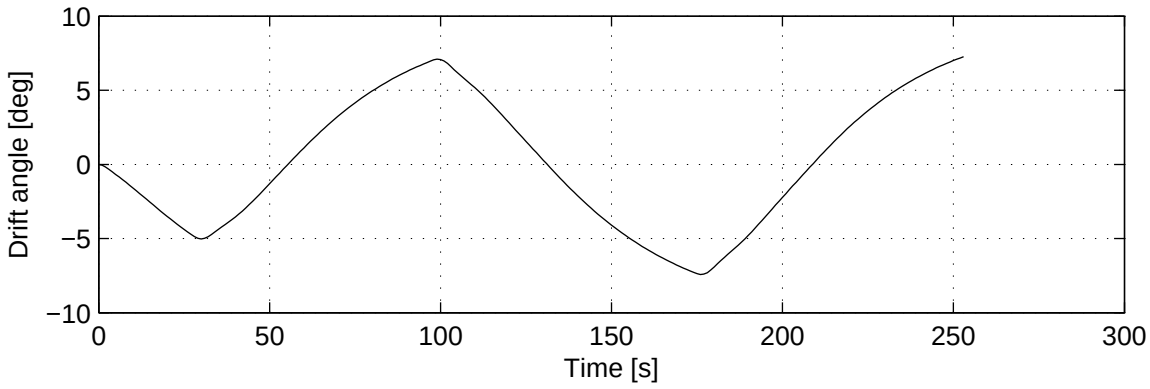
Initial Conditions and Controls

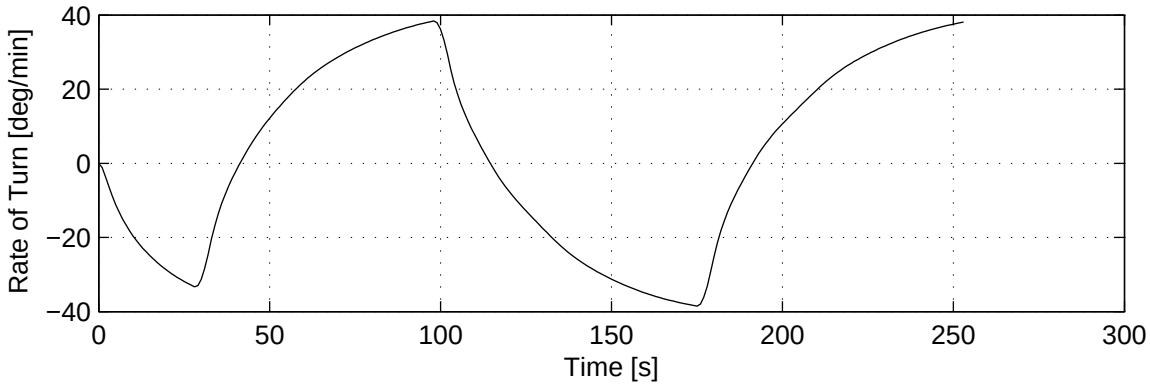
Approach speed	: 20.1 knots
Rudder/heading deflection	: 10/10 deg

Results and Equilibrium Values

1st Overshoot Angle	: 3.7 deg
2nd Overshoot Angle	: 5.4 deg
Initial turning ability	: 278 m







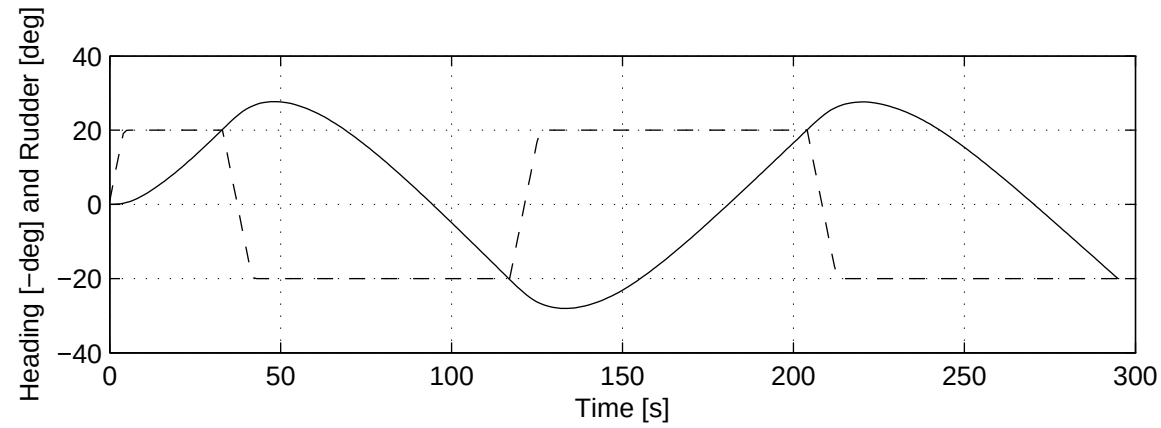
5. Zig−zag 20/20

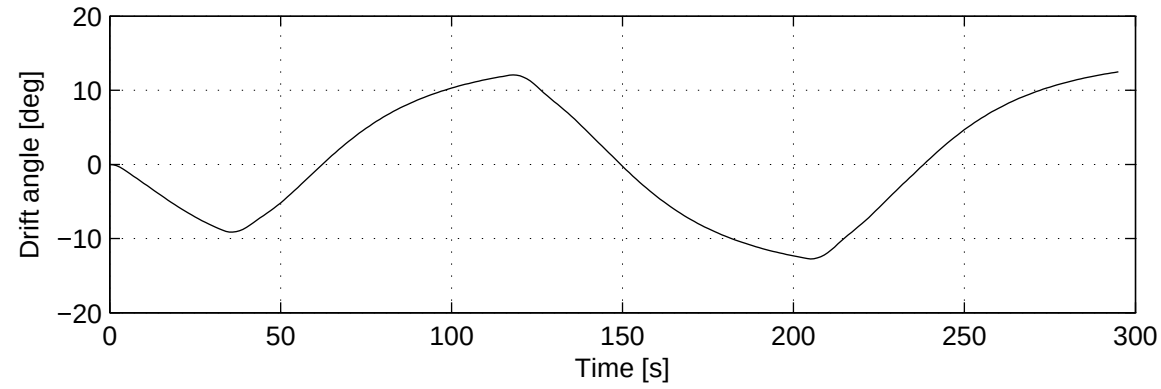
Initial Conditions and Controls

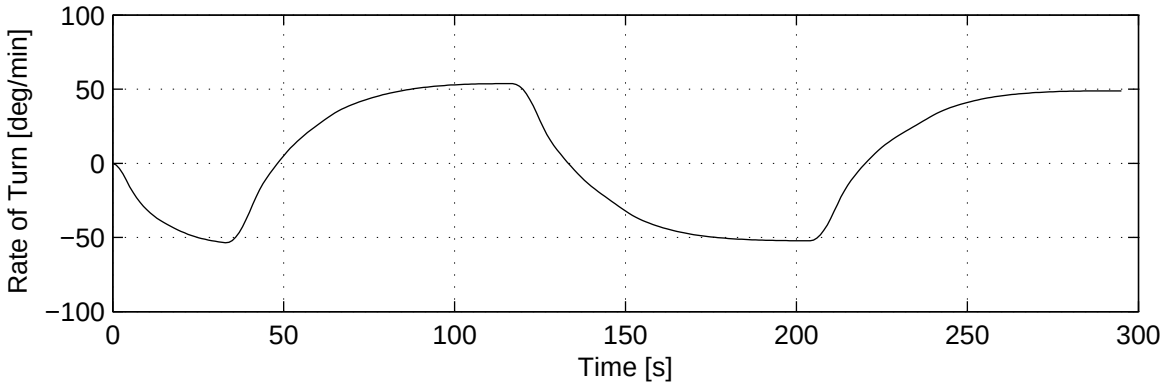
Approach speed	: 20.1 knots
Rudder/heading deflection	: 20/20 deg

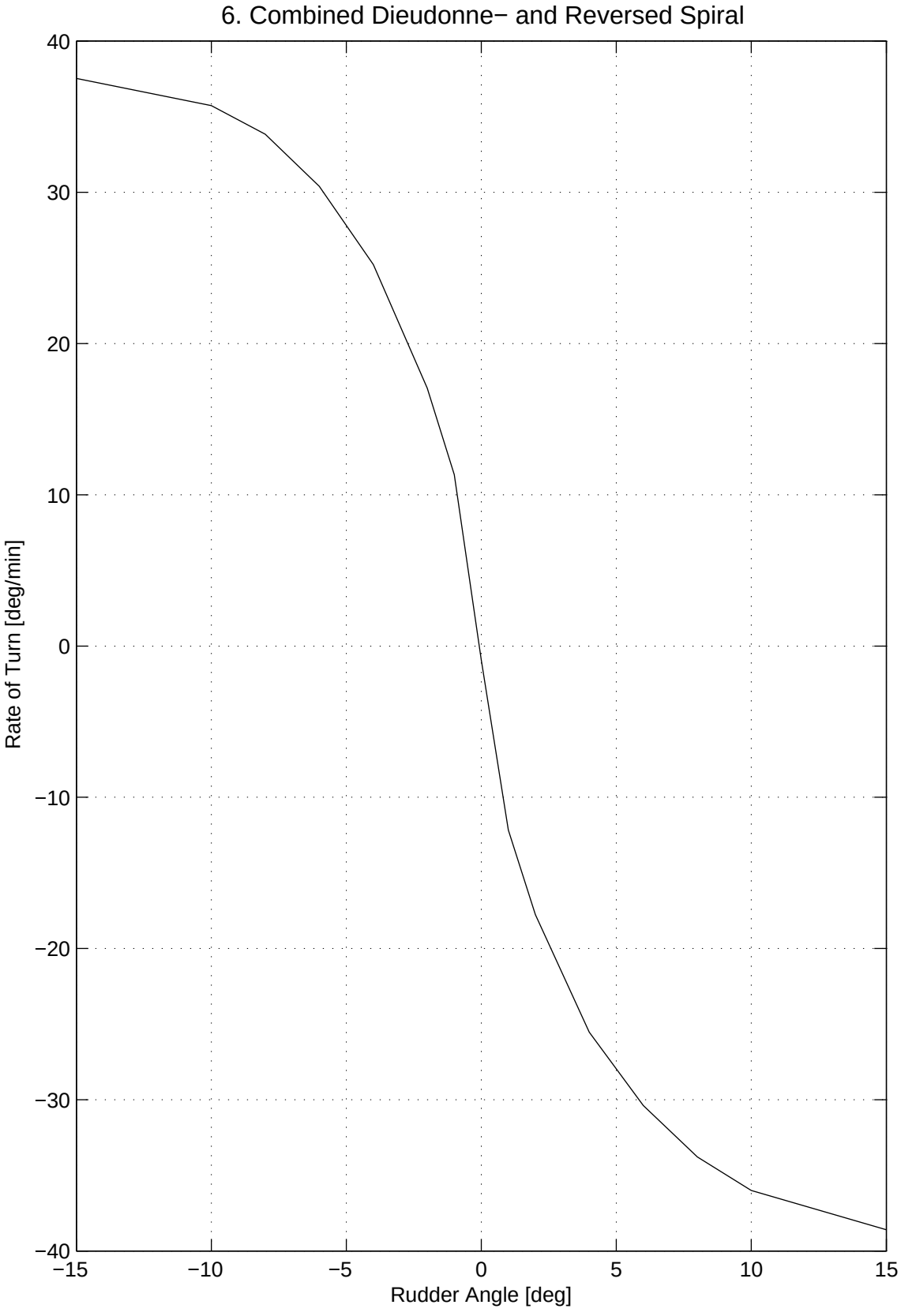
Results and Equilibrium Values

1st Overshoot Angle	: 7.7 deg
2nd Overshoot Angle	: 8.1 deg
Initial turning ability	: 324 m








6. Combined Dieudonne− and Reversed Spiral
Rate of Turn [deg/min]
Rudder Angle [deg]
40
30
20
10
0
−10
−20
−30
−40
−15
−10
−5
0
5
10
15

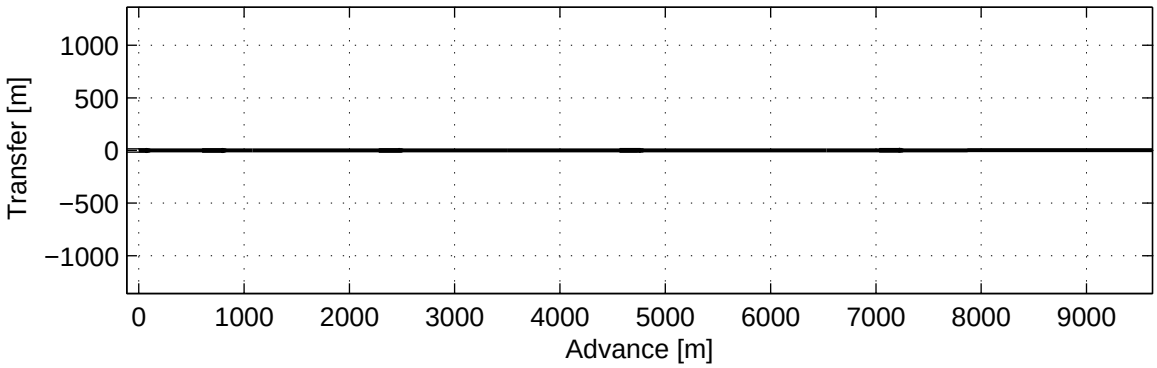
7. Acceleration

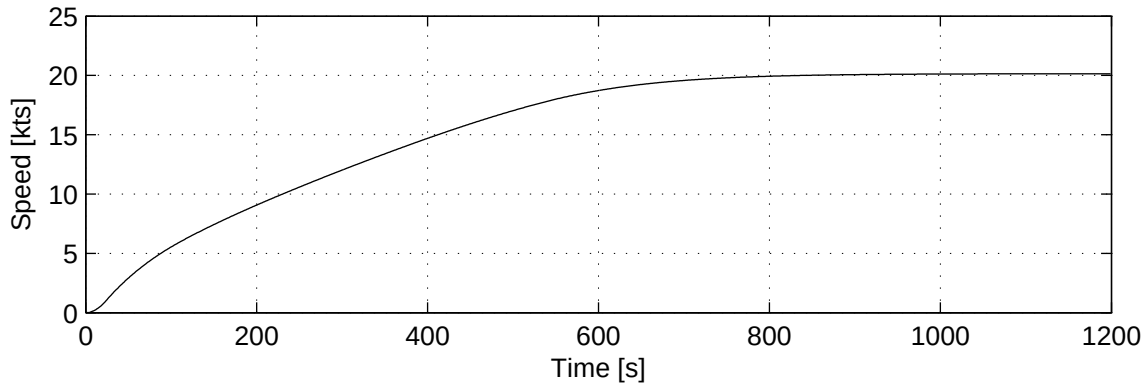
Initial Conditions and Controls

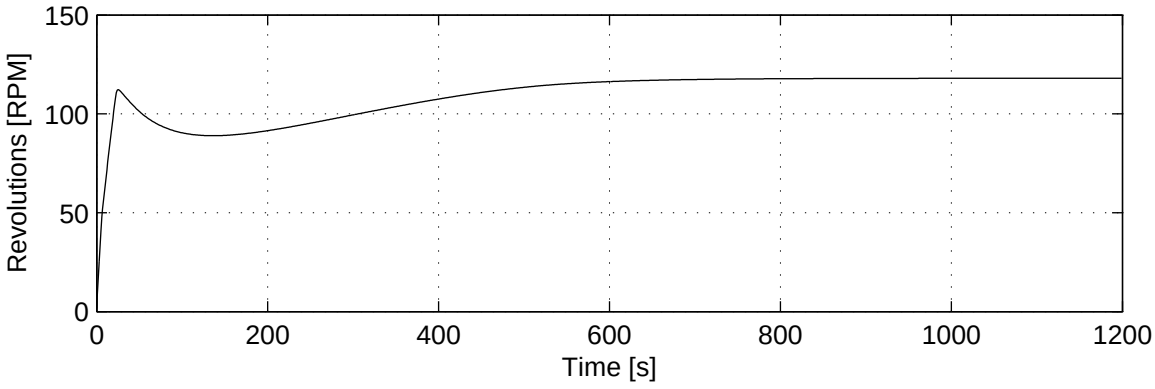
Initial speed	: 0.0 knots
Water depth	: h/T = ∞

Results and Equilibrium Values

Advance	: 9625 m
Speed	: 20.1 knots
Revolutions	: 118.0 RPM
Time	: 1199 s







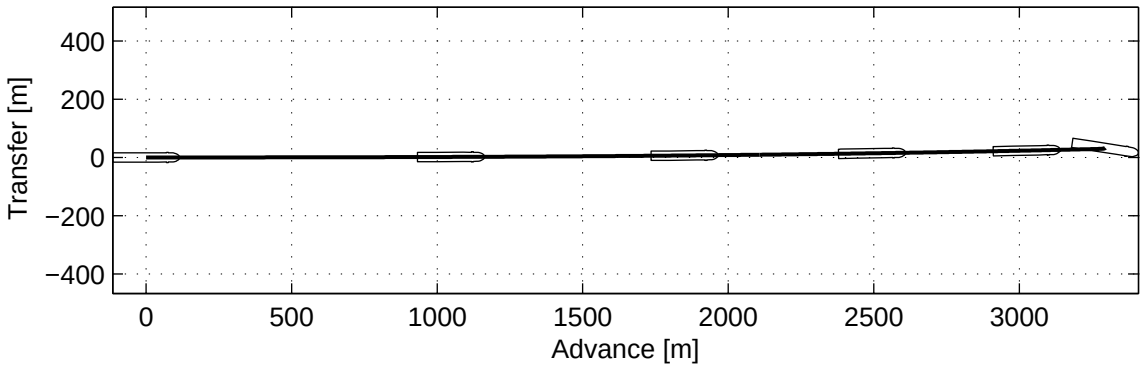
8. Crash Stop

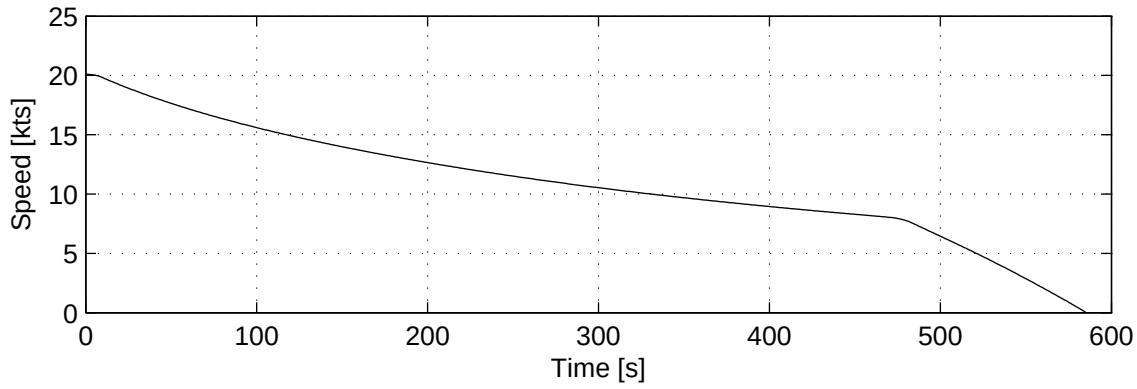
Initial Conditions and Controls

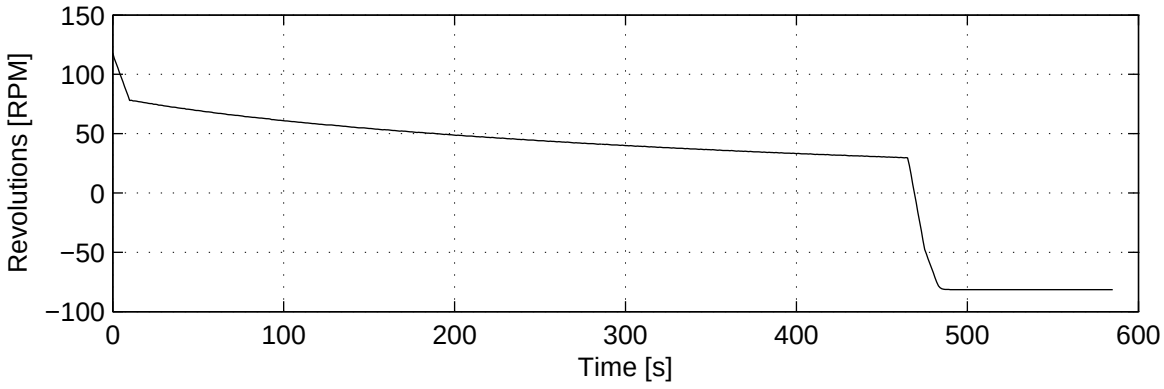
Initial speed	: 20.1 knots
Water depth	: h/T = ∞

Results and Equilibrium Values

Advance	: 3296 m
Speed	: 0.0 knots
Revolutions	: −81.5 RPM
Time	: 585 s







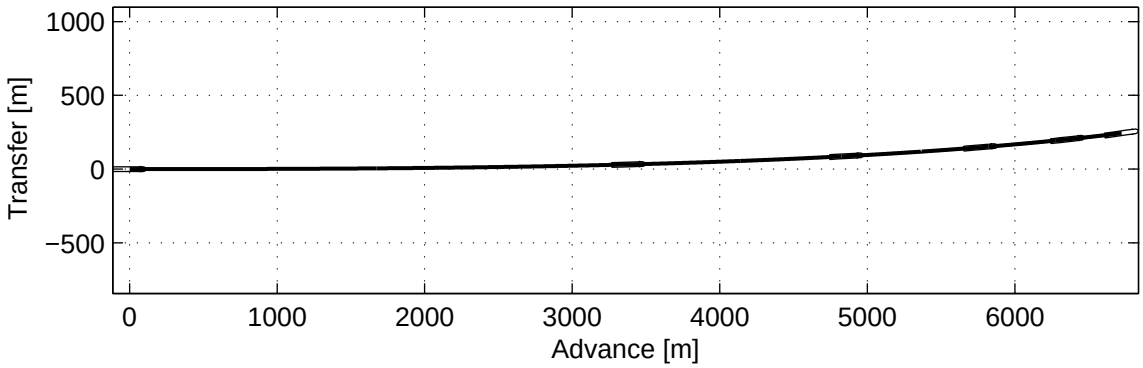
9. Coasting Stop

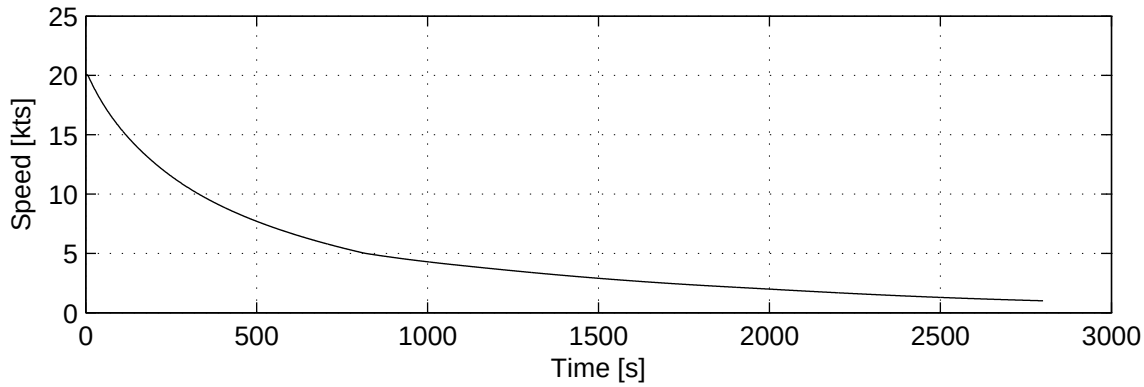
Initial Conditions and Controls

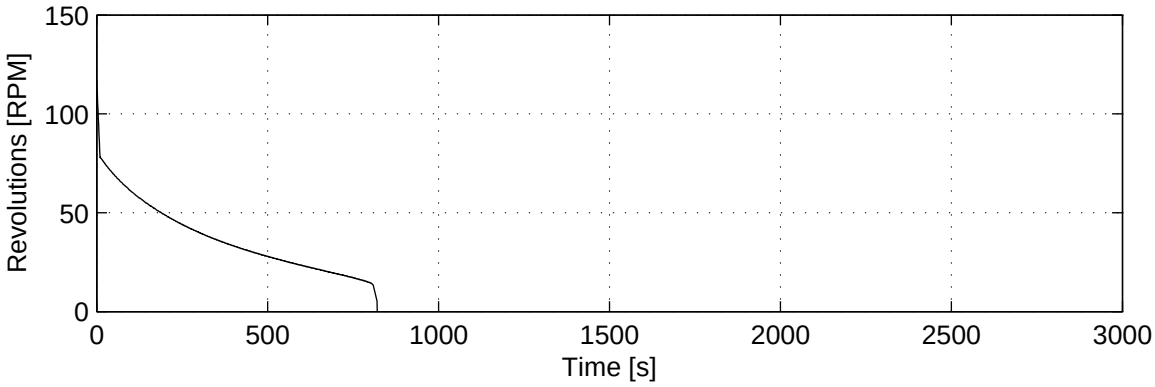
Initial speed	: 20.1 knots
Water depth	: h/T = ∞

Results and Equilibrium Values

Advance	: 6723 m
Speed	: 1.0 knots
Revolutions	: 0.0 RPM
Time	: 2800 s







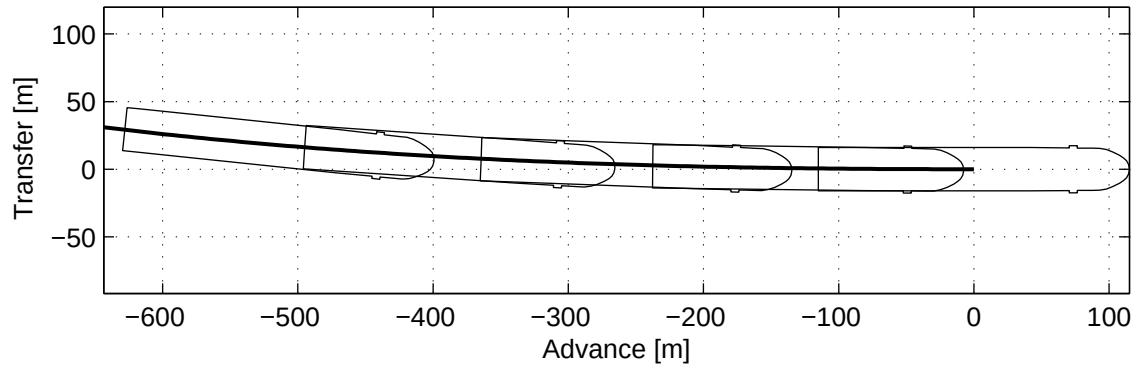
10. Going Astern

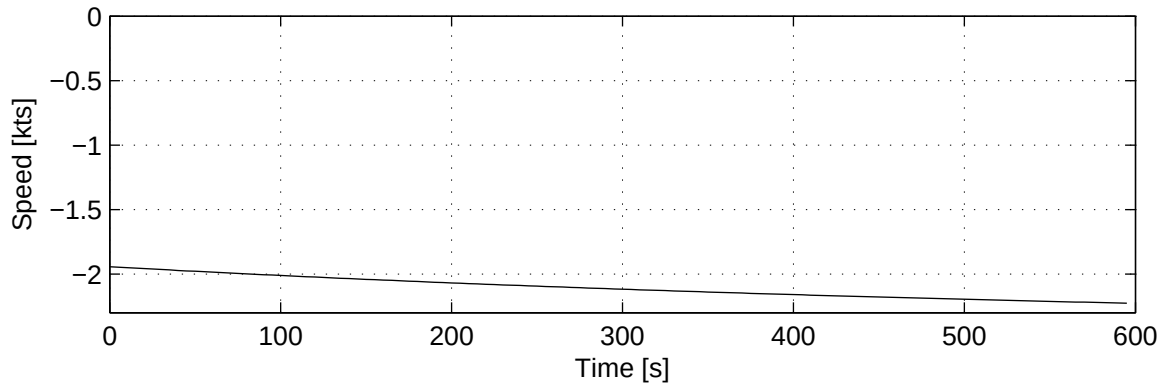
Initial Conditions and Controls

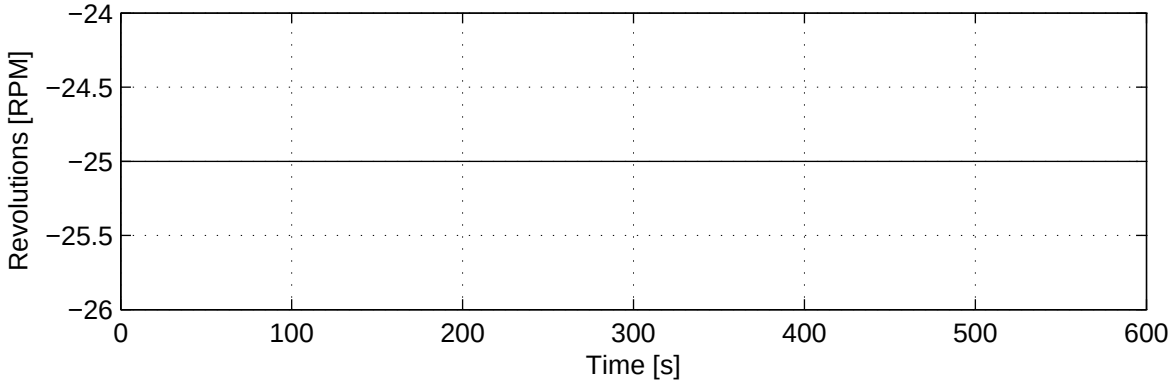
Initial speed	: −1.9 knots
Water depth	: h/T = ∞

Results and Equilibrium Values

Advance	: −644 m
Speed	: −2.2 knots
Revolutions	: −25.0 RPM
Time	: 595 s







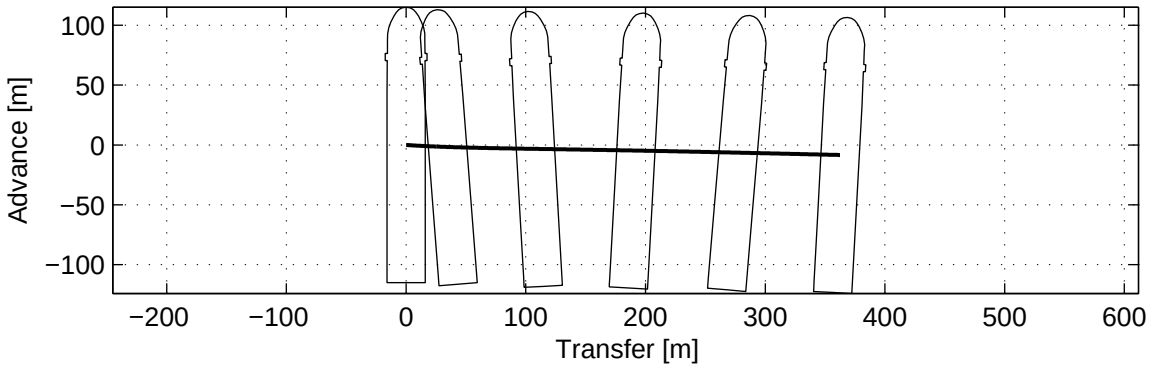
11. Drifting in Wind

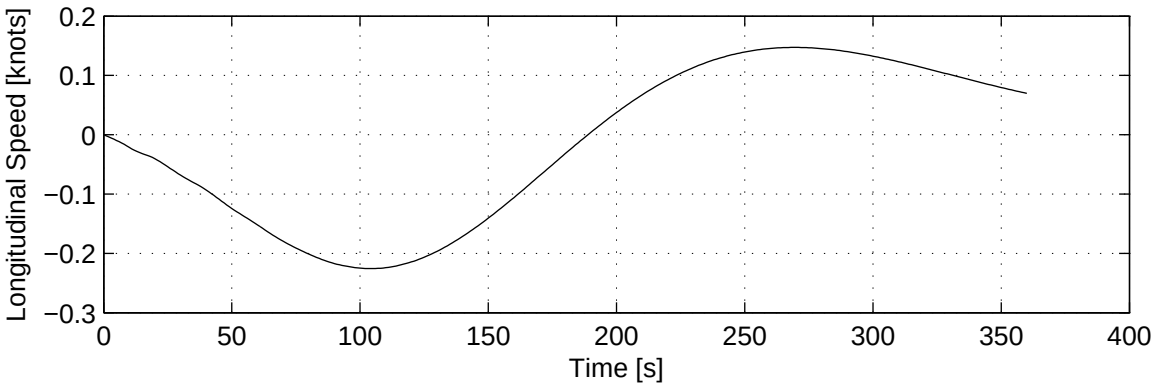
Initial Conditions and Controls

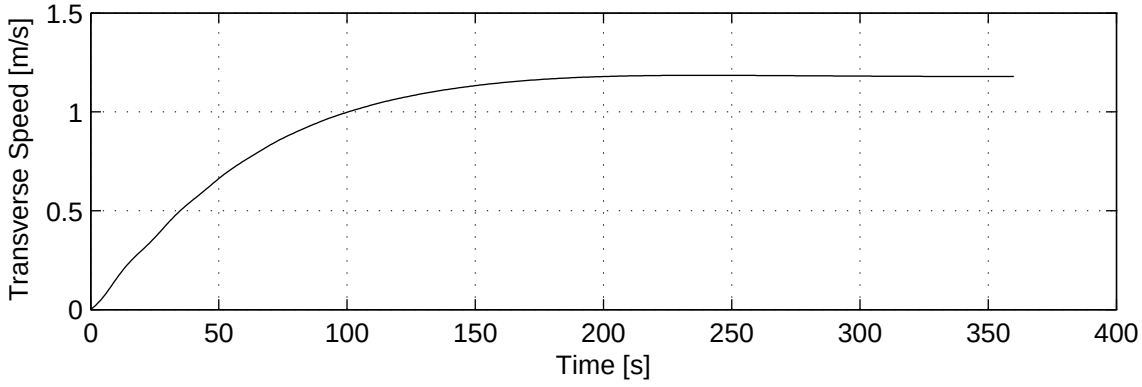
Water depth	: h/T = ∞
Wind speed	: 15 m/s
Wind direction	: 270 deg

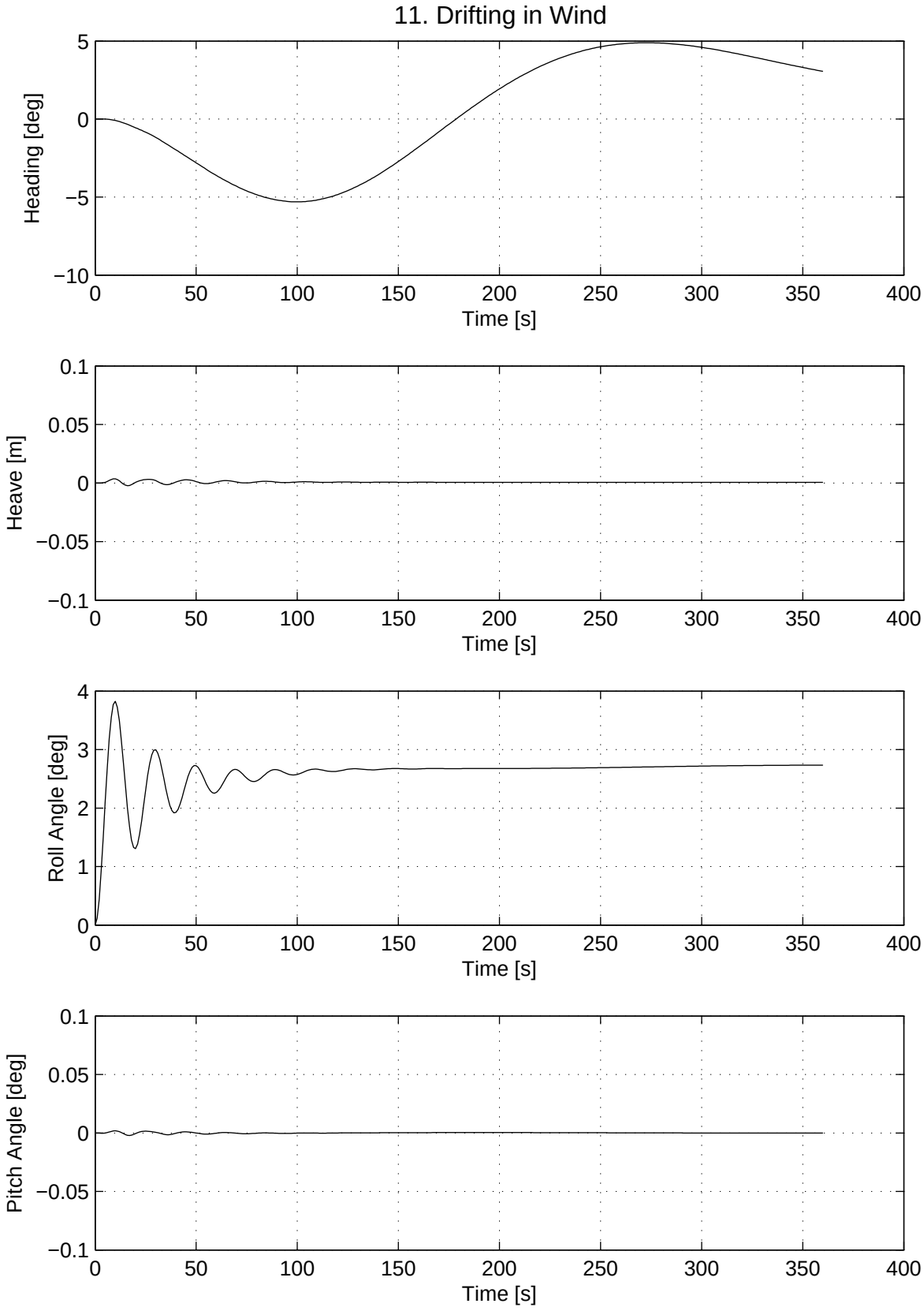
Results and Equilibrium Values

Longitudinal Speed	: 0.1 knots
Transverse Speed	: 1.2 m/s
Roll Angle	: 2.7 deg








11. Drifting in Wind
Heading [deg]
Time [s]
Heave [m]
Time [s]
Roll Angle [deg]
Time [s]
Pitch Angle [deg]
Time [s]

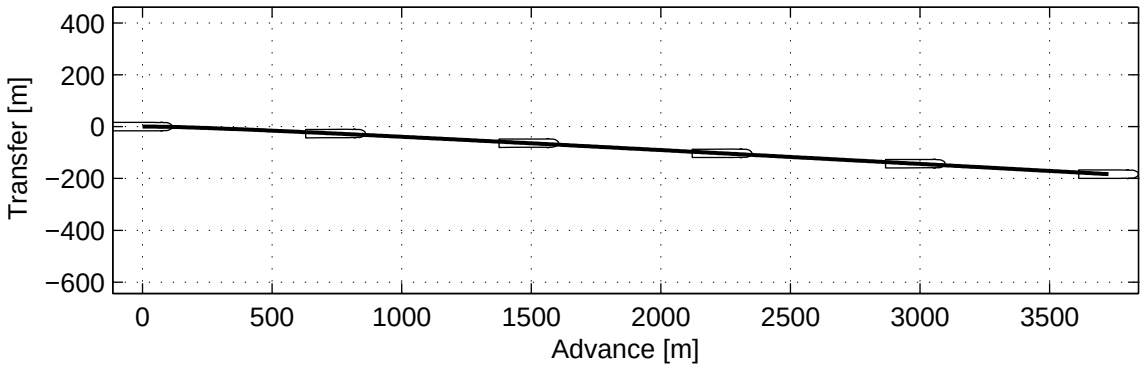
12. Sailing with Autopilot in Wind

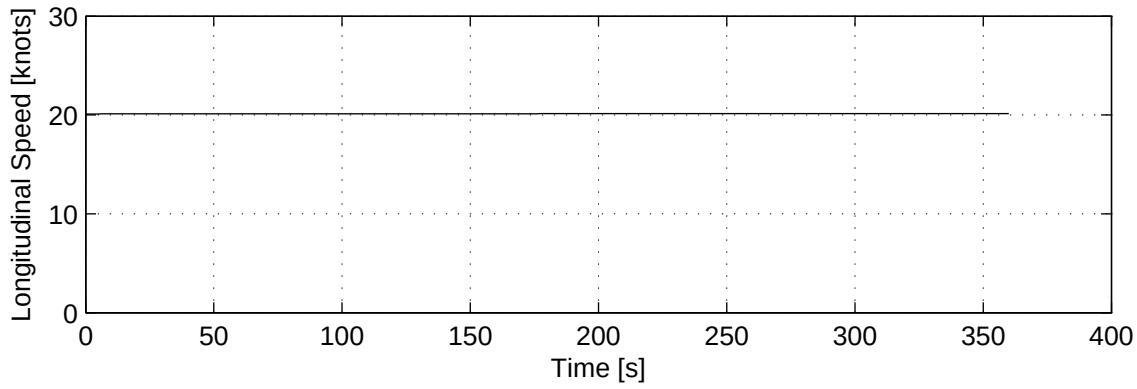
Initial Conditions and Controls

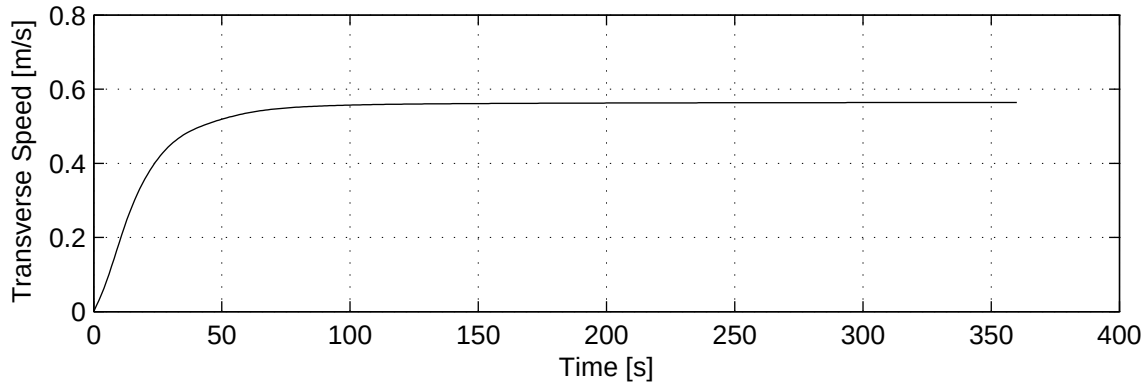
Water depth	: h/T = ∞
Wind speed	: 15 m/s
Wind direction	: 270 deg

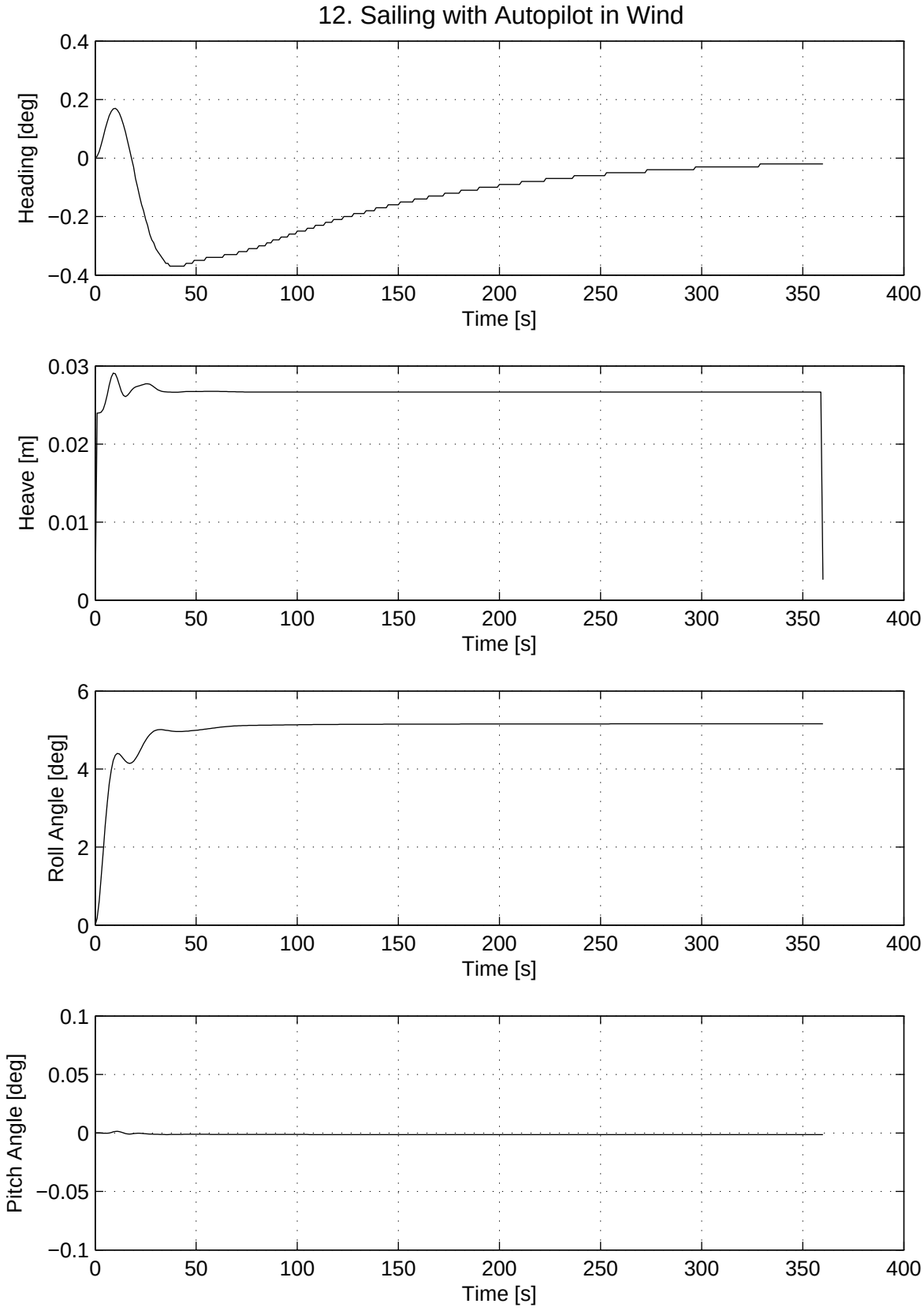
Results and Equilibrium Values

Longitudinal Speed	: 20.1 knots
Transverse Speed	: 0.6 m/s
Roll Angle	: 5.2 deg








12. Sailing with Autopilot in Wind
Heading [deg]
Time [s]
Heave [m]
Time [s]
Roll Angle [deg]
Time [s]
Pitch Angle [deg]
Time [s]

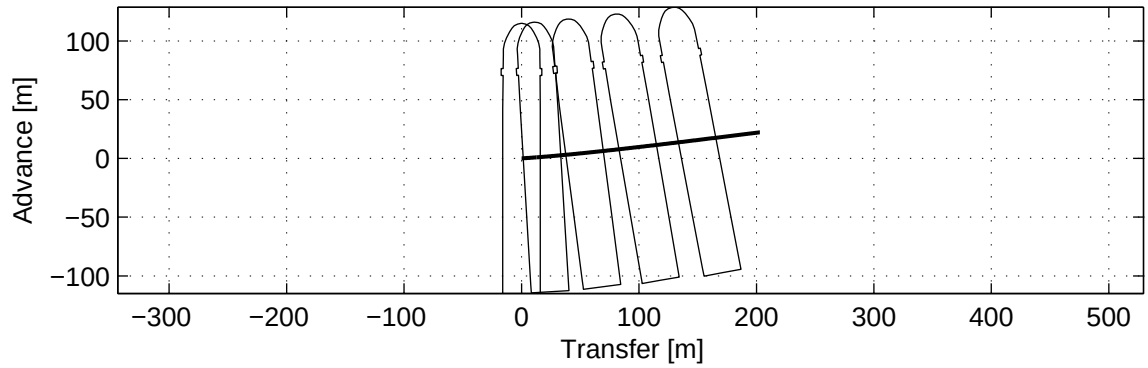
13. Drifting in Current

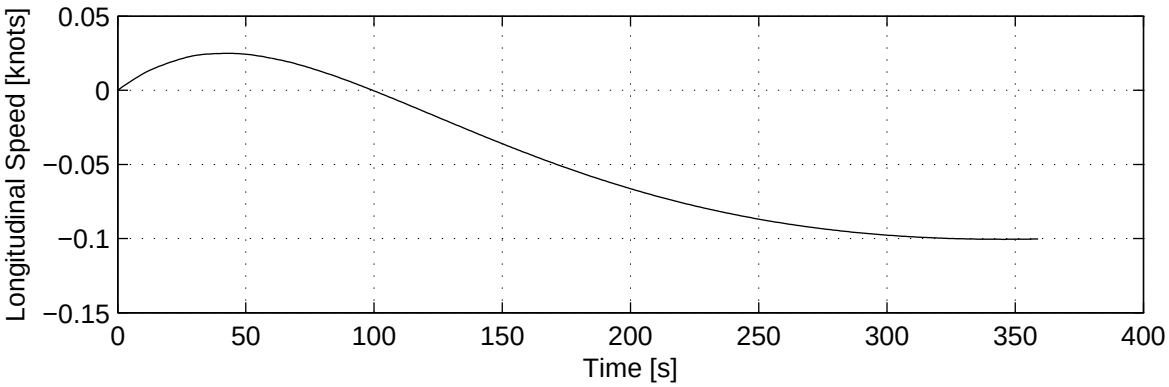
Initial Conditions and Controls

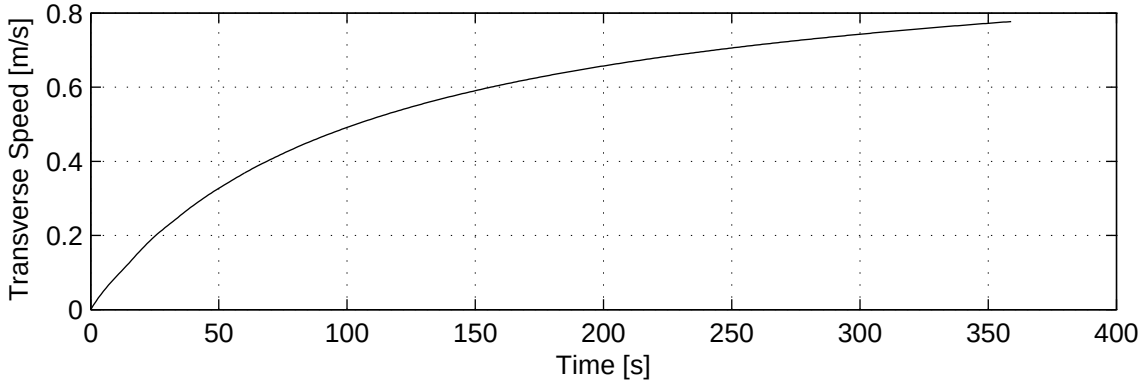
Water depth	: h/T = ∞
Current speed	: 2 knots
Current direction	: 90 deg

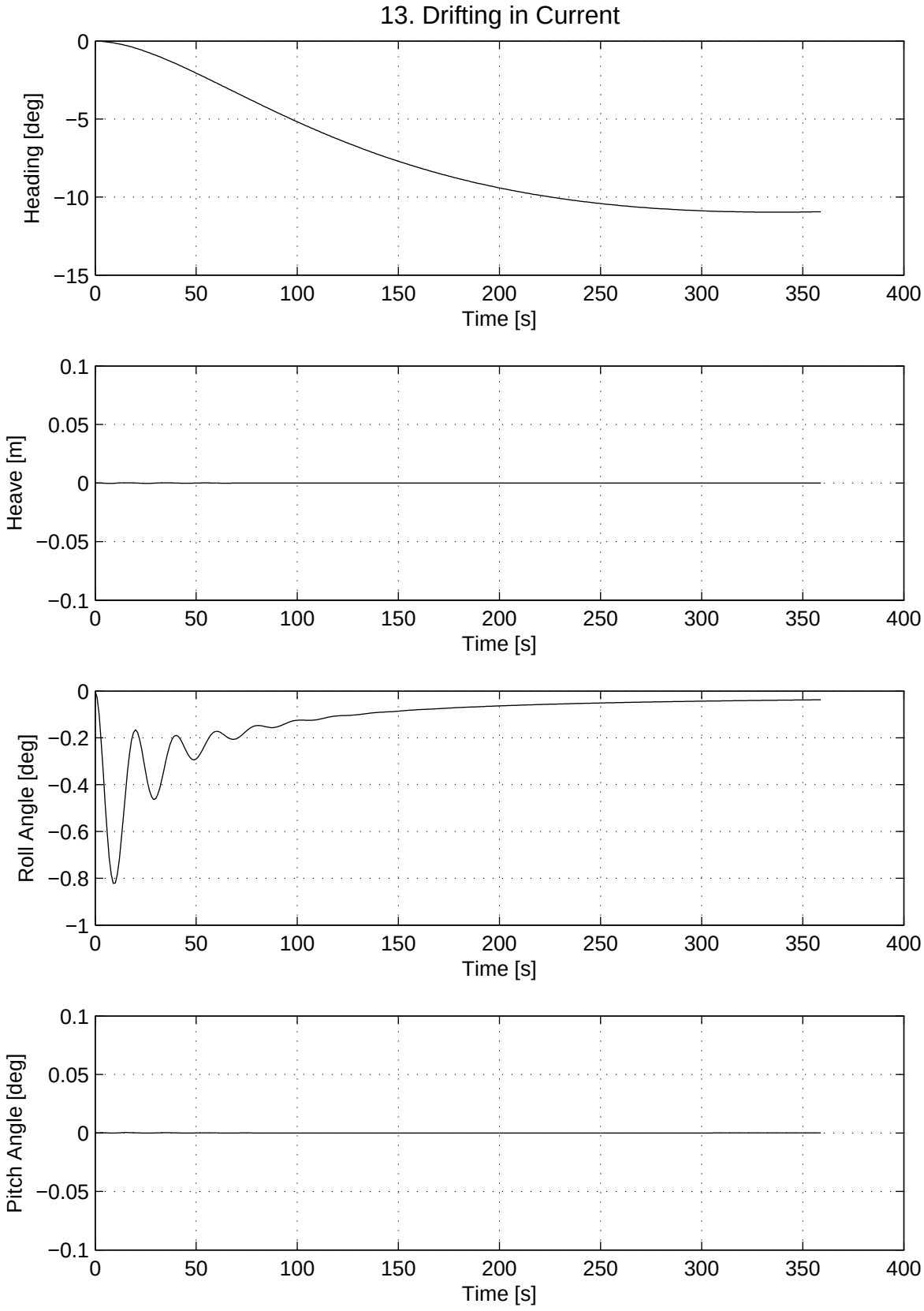
Results and Equilibrium Values

Longitudinal Speed	: −0.1 knots
Transverse Speed	: 0.8 m/s
Roll Angle	: −0.0 deg








13. Drifting in Current
Heading [deg]
Time [s]
Heave [m]
Time [s]
Roll Angle [deg]
Time [s]
Pitch Angle [deg]
Time [s]

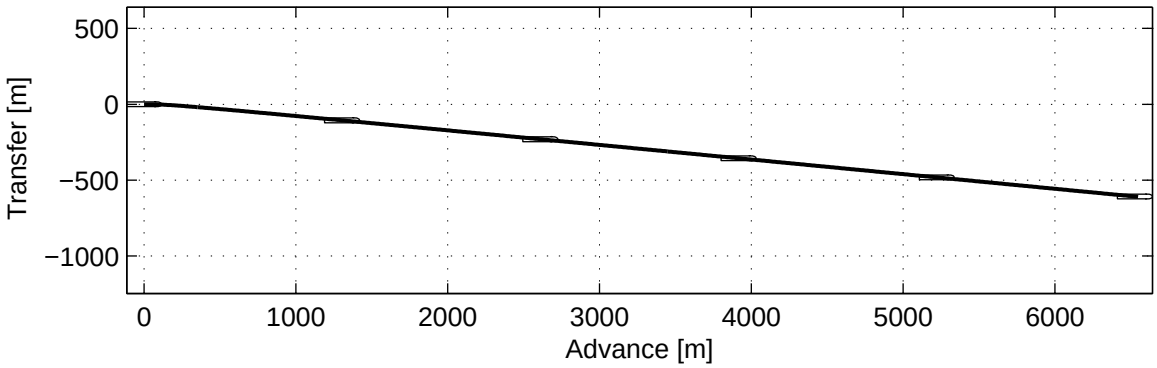
14. Sailing with Autopilot in Current

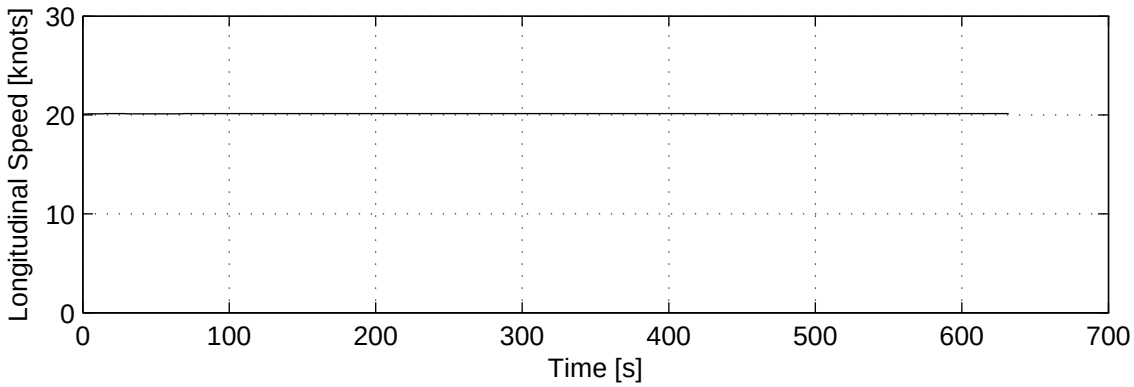
Initial Conditions and Controls

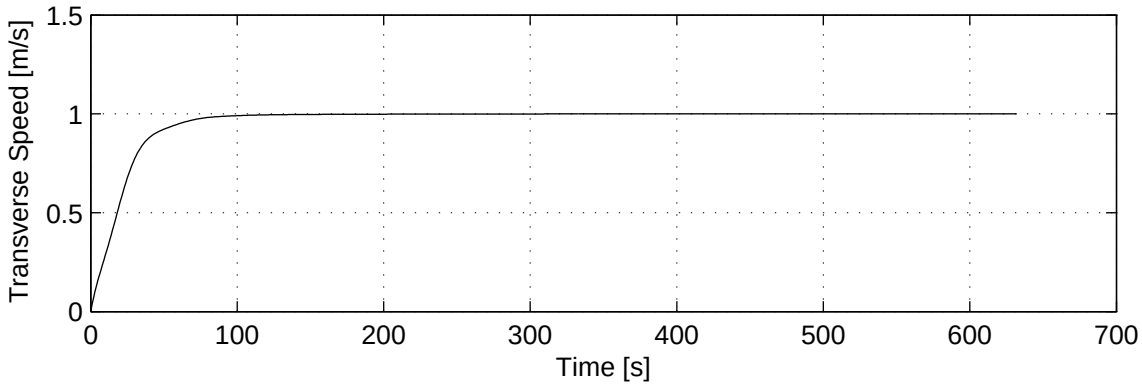
Water depth	: h/T = ∞
Current speed	: 2 knots
Current direction	: 90 deg

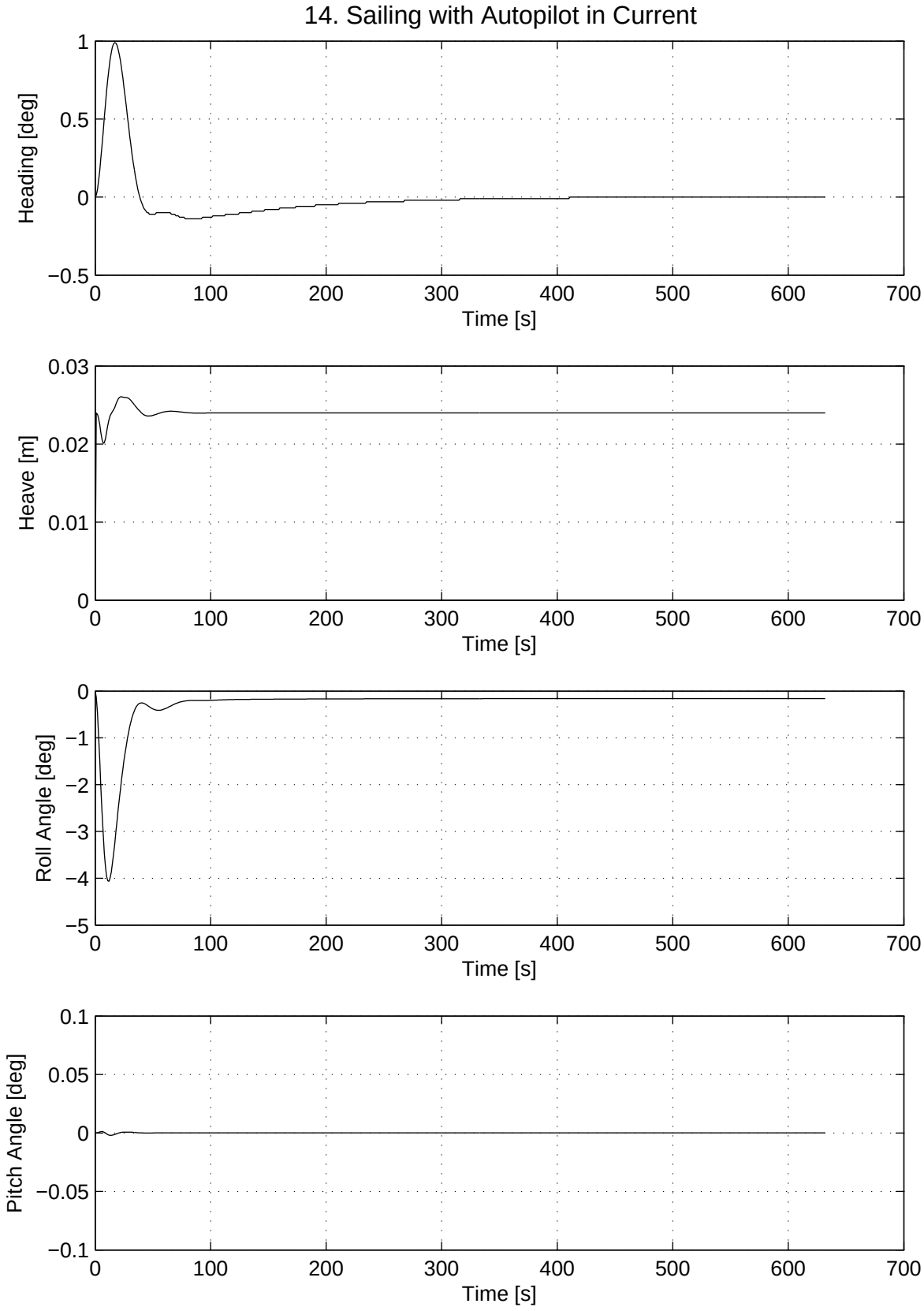
Results and Equilibrium Values

Longitudinal Speed	: 20.1 knots
Transverse Speed	: 1.0 m/s
Roll Angle	: −0.2 deg








14. Sailing with Autopilot in Current
Heading [deg]
Time [s]
Heave [m]
Time [s]
Roll Angle [deg]
Time [s]
Pitch Angle [deg]
Time [s]

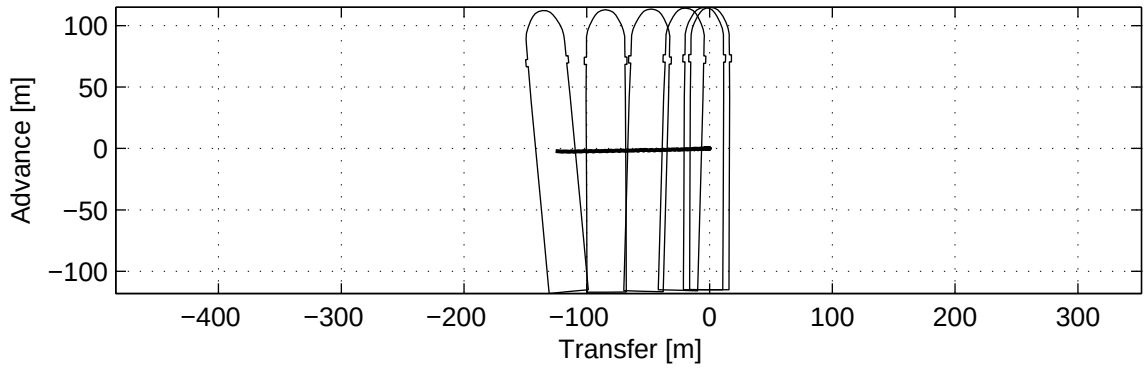
15. Drifting in Waves

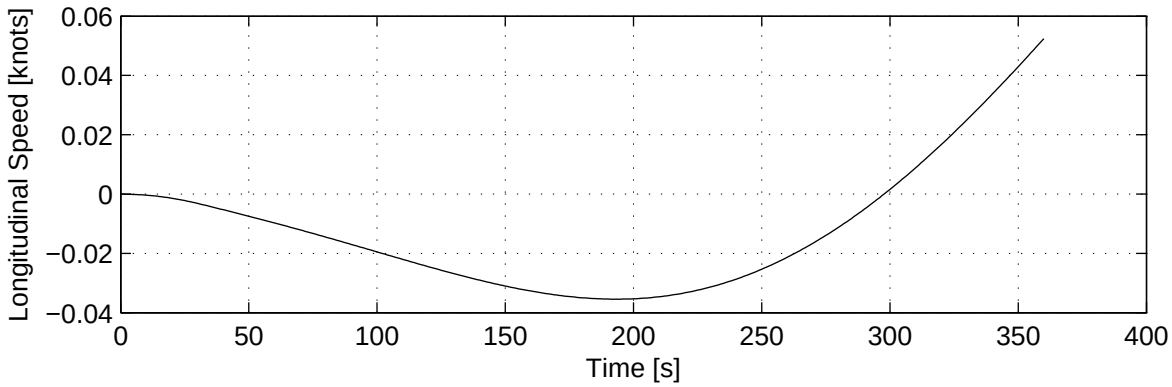
Initial Conditions and Controls

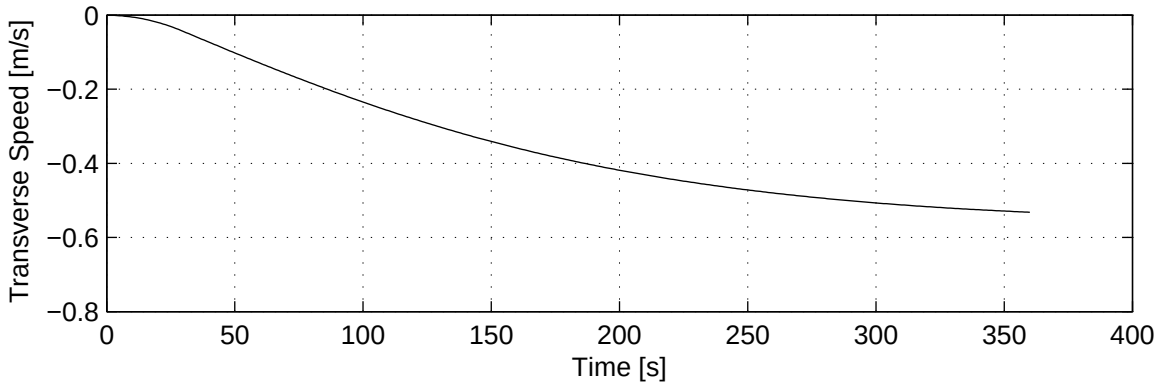
Water depth	: h/T = ∞
Wave height (Hs)	: 3 m
Wave period (Tp)	: 9.1 s
Wave direction	: 90 deg

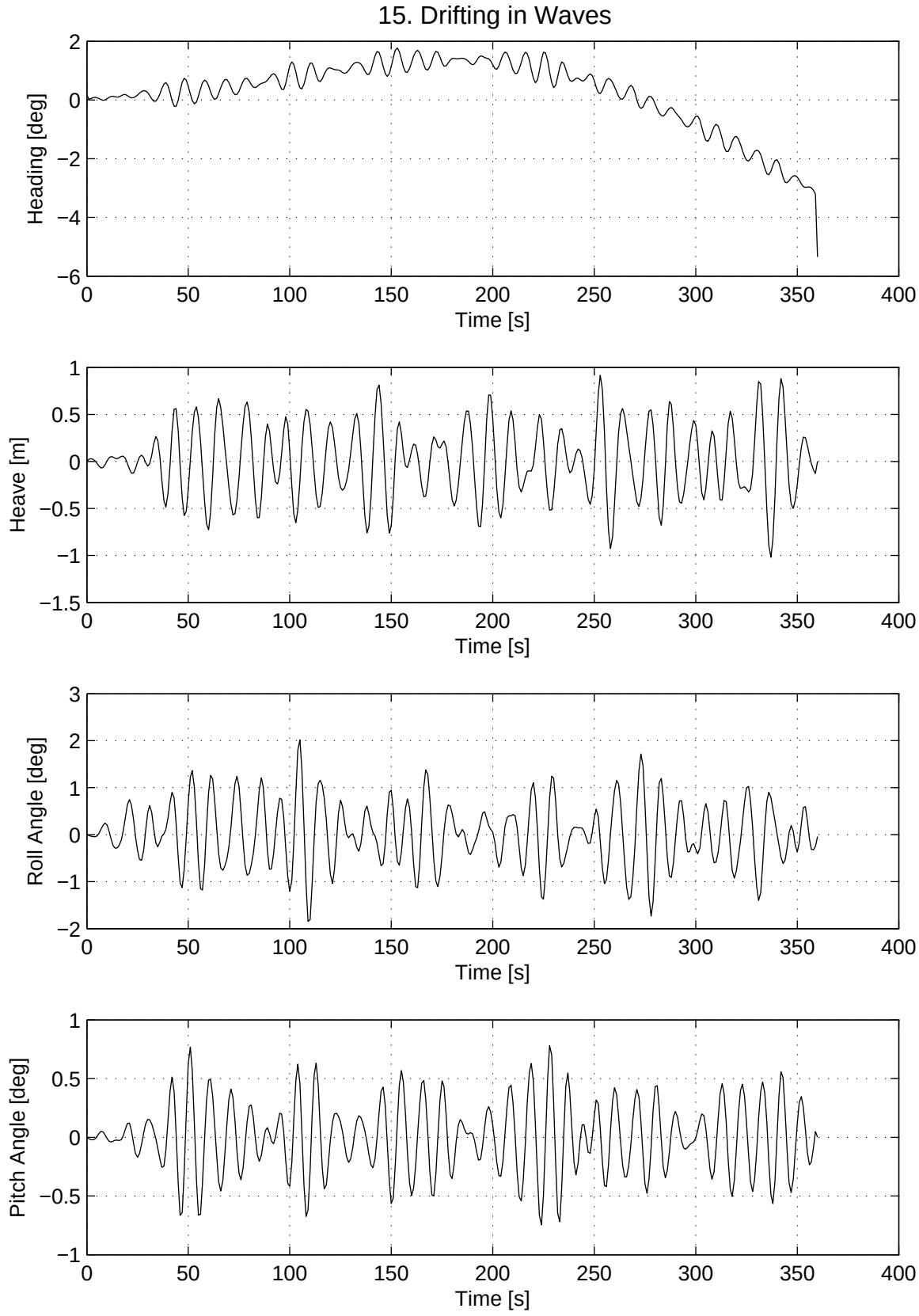
Results and Equilibrium Values

Longitudinal Speed	: 0.1 knots
Transverse Speed	: −0.5 m/s
Maximum Roll Angle	: 2.0 deg








15. Drifting in Waves
Heading [deg]
Time [s]
Heave [m]
Time [s]
Roll Angle [deg]
Time [s]
Pitch Angle [deg]
Time [s]

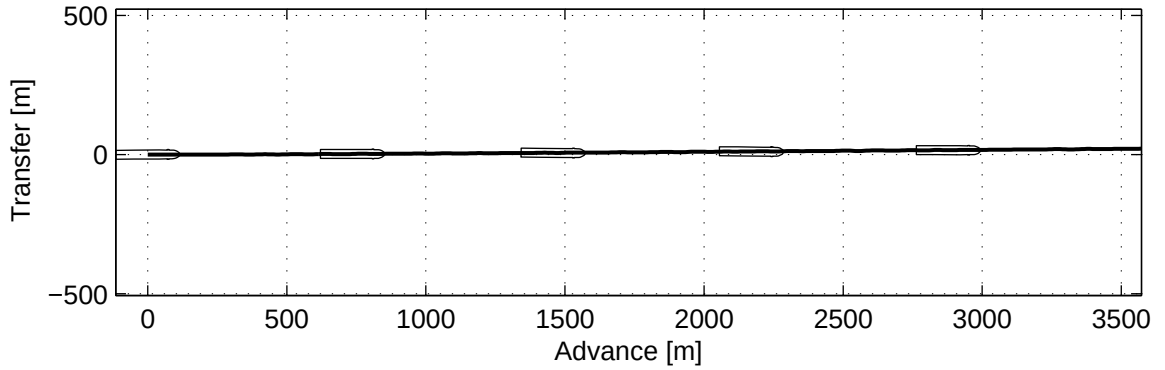
16. Sailing with Autopilot in Waves

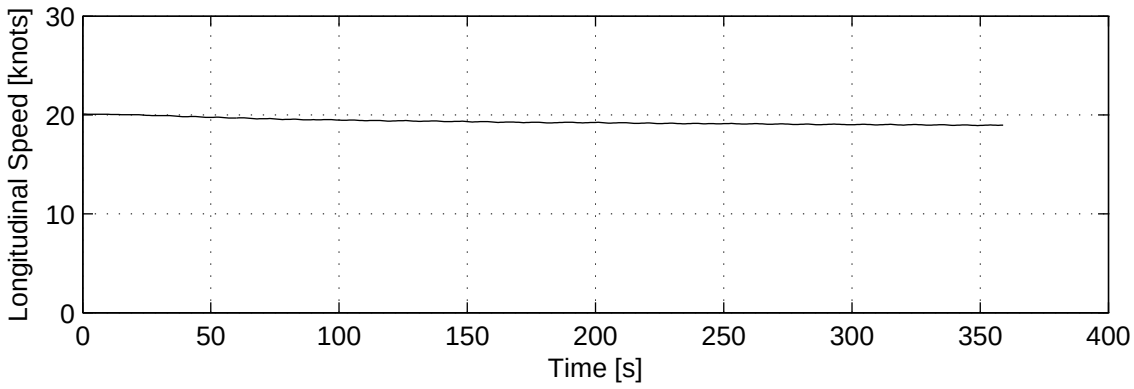
Initial Conditions and Controls

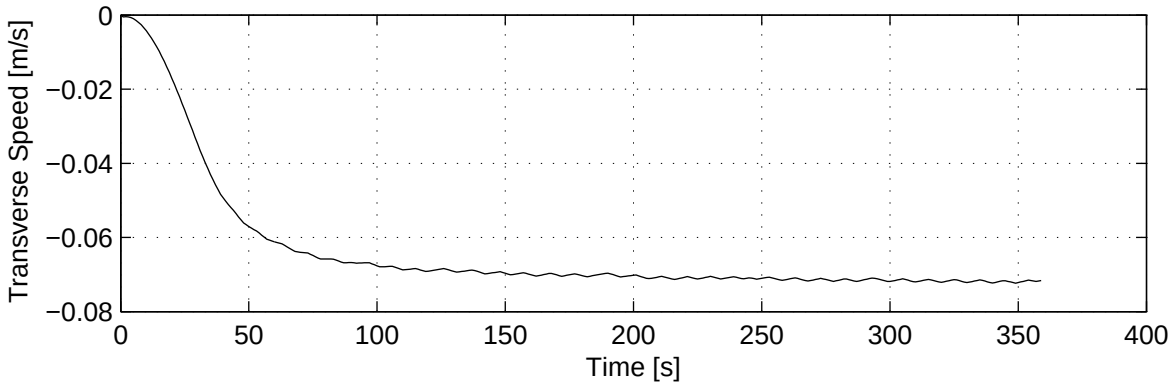
Water depth	: h/T = ∞
Wave height (Hs)	: 3 m
Wave period (Tp)	: 9.1 s
Wave direction	: 90 deg

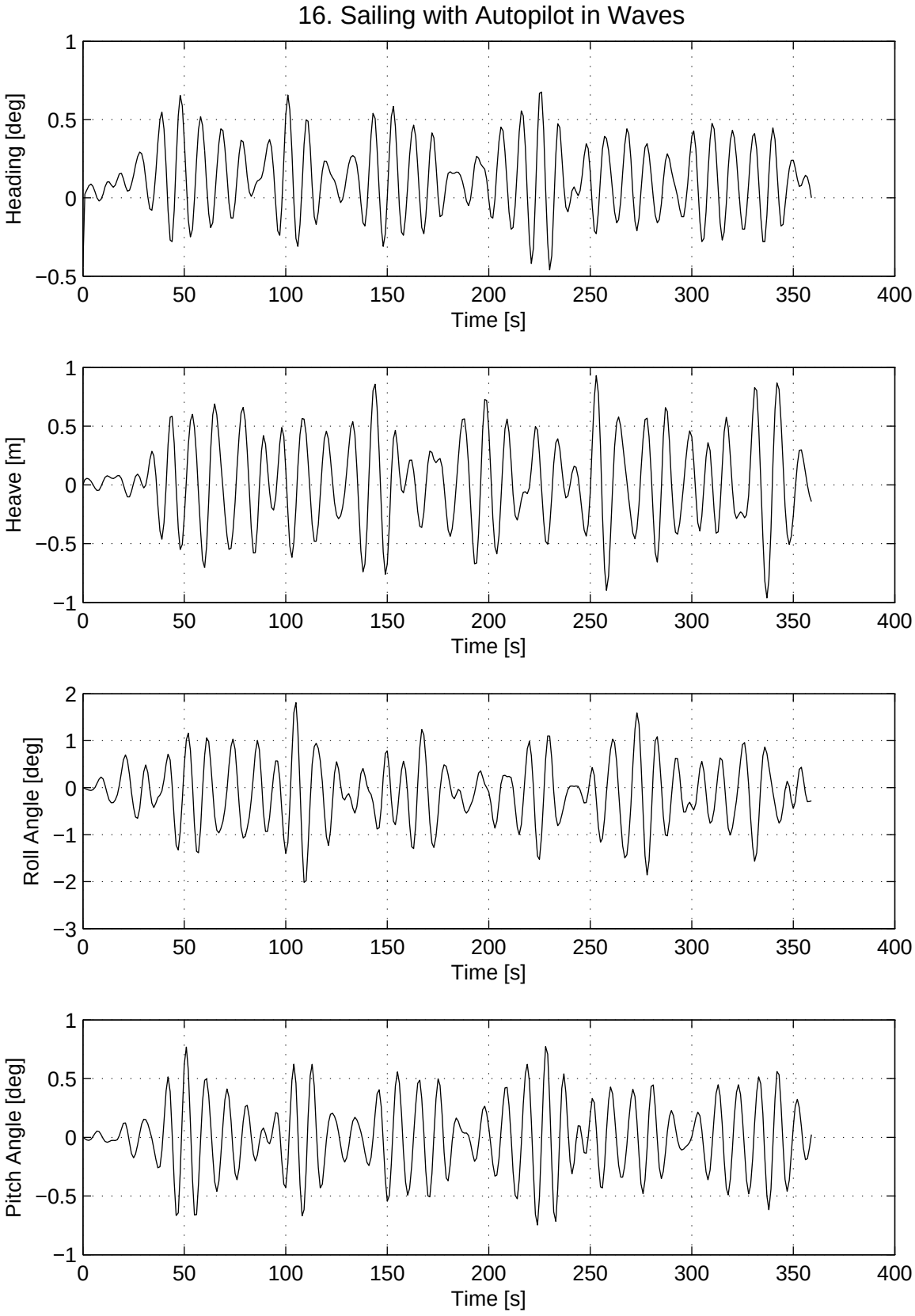
Results and Equilibrium Values

Longitudinal Speed	: 19.0 knots
Transverse Speed	: −0.1 m/s
Maximum Roll Angle	: 1.8 deg








16. Sailing with Autopilot in Waves
Heading [deg]
Heave [m]
Roll Angle [deg]
Pitch Angle [deg]
Time [s]

Mathematical Ship Model No. 3234

"Enterprise"

FORCE 113-01184.63 / 2013-09-09

Title of report and Project No.:

Ship Description

Ship 3234

Bulk Carrier

Ballast Condition

"Enterprise"

Client:		***Ref.:***	113-01184.63		
Author(s): Georgij Vasilev		***Date:***	2013-09-09		
		Approved by:			
Revision	***Description***	***By:***	***Checked:***	***Approved:***	***Date:***
4	Low speed adjustment	OT	GEV		2013-09-09
3	Updated ship motion in waves	GEV	JFO		2012-01-20
2	Updated version	GEV	JFO		2011-09-23
1	Original version	OT			2006-03-16

Keywords:

Manoeuvring characteristics
Ship characteristics
Equilibrium speeds

Classification:

Open
Internal
X Confidential

List of Contents

Page

1 Ship Description 1
2 Basis for Mathematical Ship Model 1
3 Manoeuvring Characteristics 2
4 Ship Particulars 3
5 Equilibrium Speeds 4

Appendix A: Plots of Standard and Check Manoeuvres

Nomenclature and Definitions

LCB	Longitudinal centre of buoyancy
L_{pp}	Length between perpendiculars
R	Radius of propeller
T	Draught

The ship is defined in a right hand coordinate system with x positive forward and y positive to starboard. The path of the ship is referred to the origin of the ship, i.e. at the intersection between amidships and the centreline. Rudder angles are defined positive to port.
Wind direction : Wind coming from [angle]
Wave direction: Waves going to [angle]
Current direction: Current going to [angle]

1 Ship Description

The ship is a 229 m long and 32.2 m wide panmax bulker with a capacity of 84 000 DWT modelled in a ballast condition. It is driven by a diesel engine of 8.1 MW and has one fixed pitch propeller. The service speed at the design draught is 15.1 knots. The vessel is equipped with one spade rudder mounted on the centreline and has one bow and one stern thruster.

2 Basis for Mathematical Ship Model

The mathematical model of the ship is based on the model of an existing similar ship. The seakeeping properties of the ship and shallow water effect on the hull forces have been scaled from a similar model to fit the conditions of the present ship. Wind load data has been obtained from wind tunnel test measurements of a similar ship.

The basis for the mathematical ship model is summarized in Table 2-1.

Effect (device)	Scaled from similar model	Predicted using database tool (ShipYard)	Specific model tests (PMM/ wind tunnel)	Specific calculations (CFD/ OMEGA)	Full scale trial data
Hull hydrodynamics	X				
Shallow water effects	X				
Propulsion & rudder	X				
Thrusters	X				
Wave loads	X				
Wind loads	X				
Bank effects	X				
Ship-ship interaction	X				
Hydrostatic forces	X				
Engine characteristic	X				
Anchor characteristic	X				

Table 2-1: Basis for Mathematical Ship Model

3 Manoeuvring Characteristics

The ship is unstable in yaw, as can be seen from the spiral curve. Its turning ability is good as demonstrated by the turning circle test and the yaw-checking ability is excellent with a first overshoot angle of 6.2 deg. in a 20-20 zig-zag manoeuvre. The stopping ability is poor and not able to meet the IMO recommendations of 15 ship lengths. The ship is seaworthy and hardly rolls in 3 m waves (significant wave height).

The main manoeuvring characteristics of the ship model are listed in Table 3-1.

Parameter	**Bulk Carrier**	**IMO limit**
Turning circle, Advance	$3.0 \cdot L_{pp}$	$4.5 \cdot L_{pp}$
Turning circle, Tactical diameter	$3.4 \cdot L_{pp}$	$5.0 \cdot L_{pp}$
10/10 zig-zag, 1st overshoot angle	3.3 deg	19.1 deg
10/10 zig-zag, 2nd overshoot angle	5.4 deg	38.6 deg
20/20 zig-zag, 1st overshoot angle	6.2 deg	25.0 deg
Crash stop, Track reach	$16.0 \cdot L_{pp}$	$15 \cdot L_{pp}$

Table 3-1: Manoeuvring Characteristics

Track plots and time series from simulated standard manoeuvres are given in Appendix A.

4 Ship Particulars

Type of ship Condition Ship No.		Bulk Carrier Ballast 3234
Length between Perpendiculars	m	218.70
Length overall	m	228.60
Breadth moulded	m	32.24
Depth moulded	m	21.60
Draught fore/aft	m	8.00/8.00
Displacement	m^3	45408
Wetted Surface	m^2	8900
Frontal wind Area	m^2	840
Lateral wind Area	m^2	3500
Block Coefficient	-	0.805
Trim by the Stern,	%	0.0
Metacentric Height	m	5.19
LCB, % of LPP forw. of LPP/2	%	-0.90
Radius of Inertia, % of LPP	%	25.0
Type of Engine		Diesel
Number of Propellers		1
Type of Propellers		FP
Direction of Rotation		Clockwise
Number of Blades		4
Propeller Diameter	m	7.20
Pitch Ratio at 0.7R		0.804
Area Ratio		0.46
Shaft Power (ahead) total	kW	8120
Number of Rudders		1
Type of Rudders		Spade
Position off CL	m	0
Area of Rudder	m^2	49.4
100 x total rudder Area/LBP x T		2.82
Turning Velocity of Rudder (two Pumps)	deg/s	4.6
Max. rudder Angle	deg	35
Anchor Weight	kg	8300
Chain Weight	kg/m	230
Number of bow Thrusters		1
Nominal bow thruster Power	kW	1472
Number of stern Thrusters		1
Nominal stern thruster Power	kW	1472

Table 4-1: Ship Particulars

5 Equilibrium Speeds

Ship Engine Setting	Propeller		Speed, knots	
	RPM	Pitch	1000 m	9.6 m
1.0	84	0.804	15.1	Grounded
0.8	73	"	13.3	Grounded
0.5	56	"	10.3	8.8
0.25	47	"	8.6	7.3
0.125	33	"	5.6	4.6
-0.125	-33	"	-2.4	-1.3
-0.25	-47	"	-4.6	-1.9
-0.5	-56	"	-6.2	-2.5
-1.0	-82	"	-10.4	-6.0

Table 5-1: Propeller RPM and pitch, and equilibrium speeds for various handle settings for two water depths: deep water and shallow water corresponding to 1.2 times the mean draught.

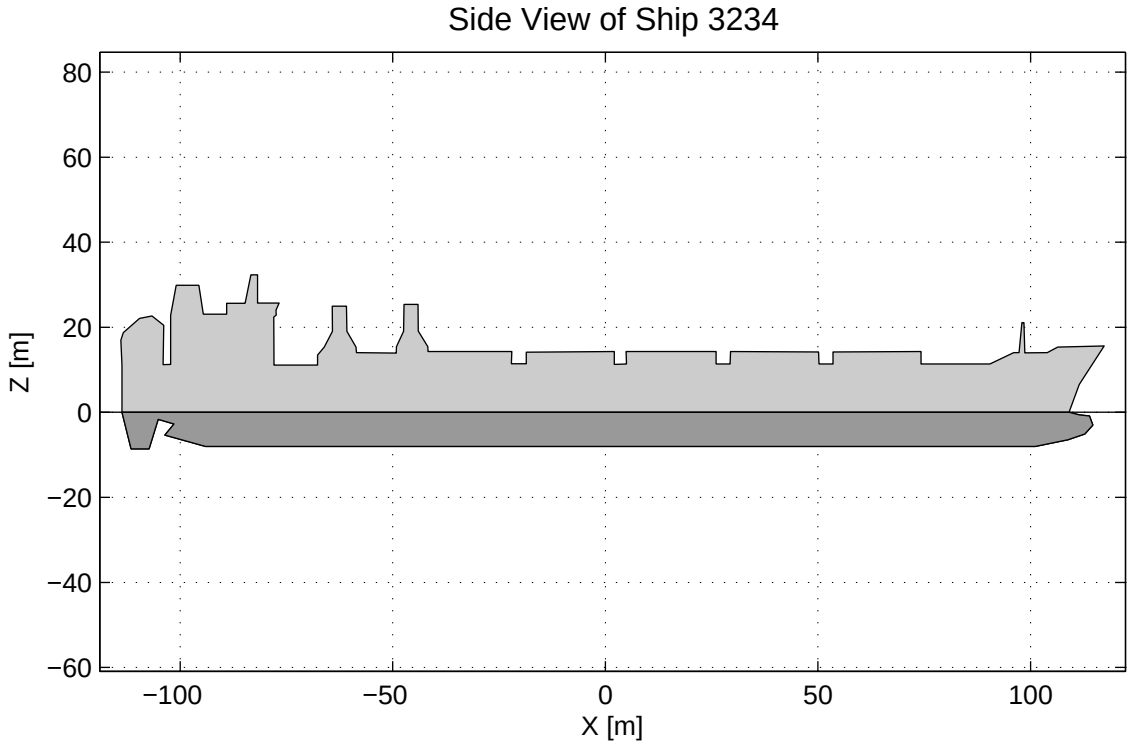
Appendix A.

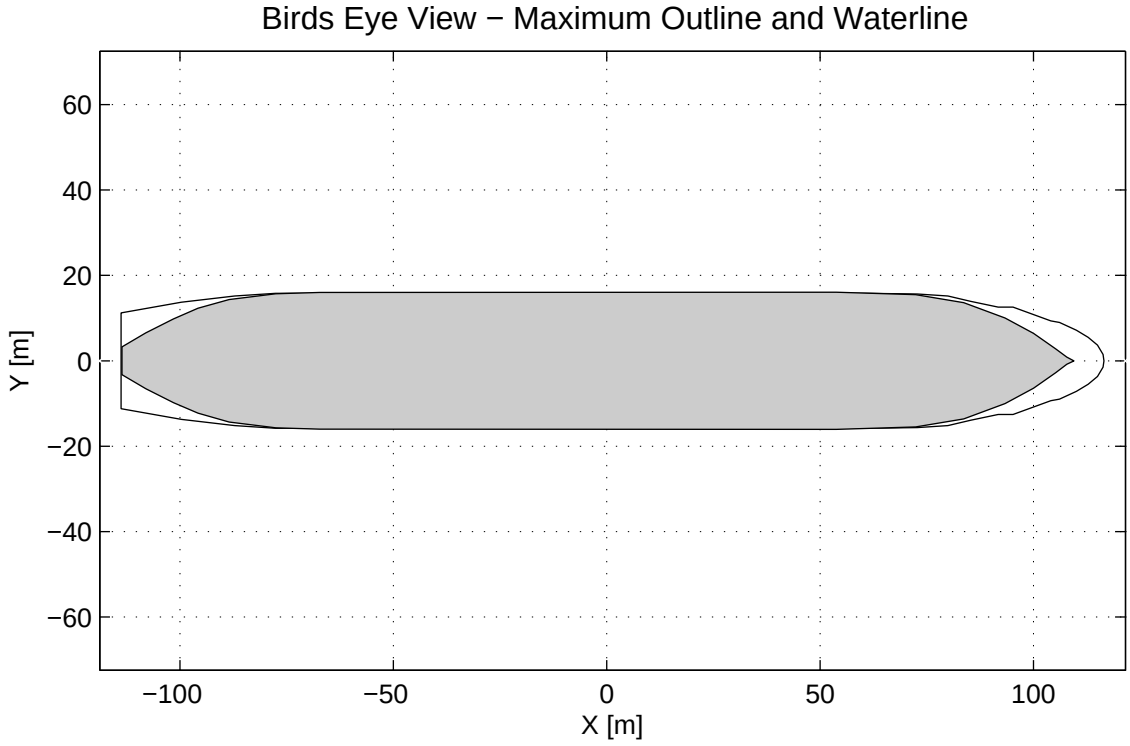
Mathematical Ship Model No. 3234 Enterprise

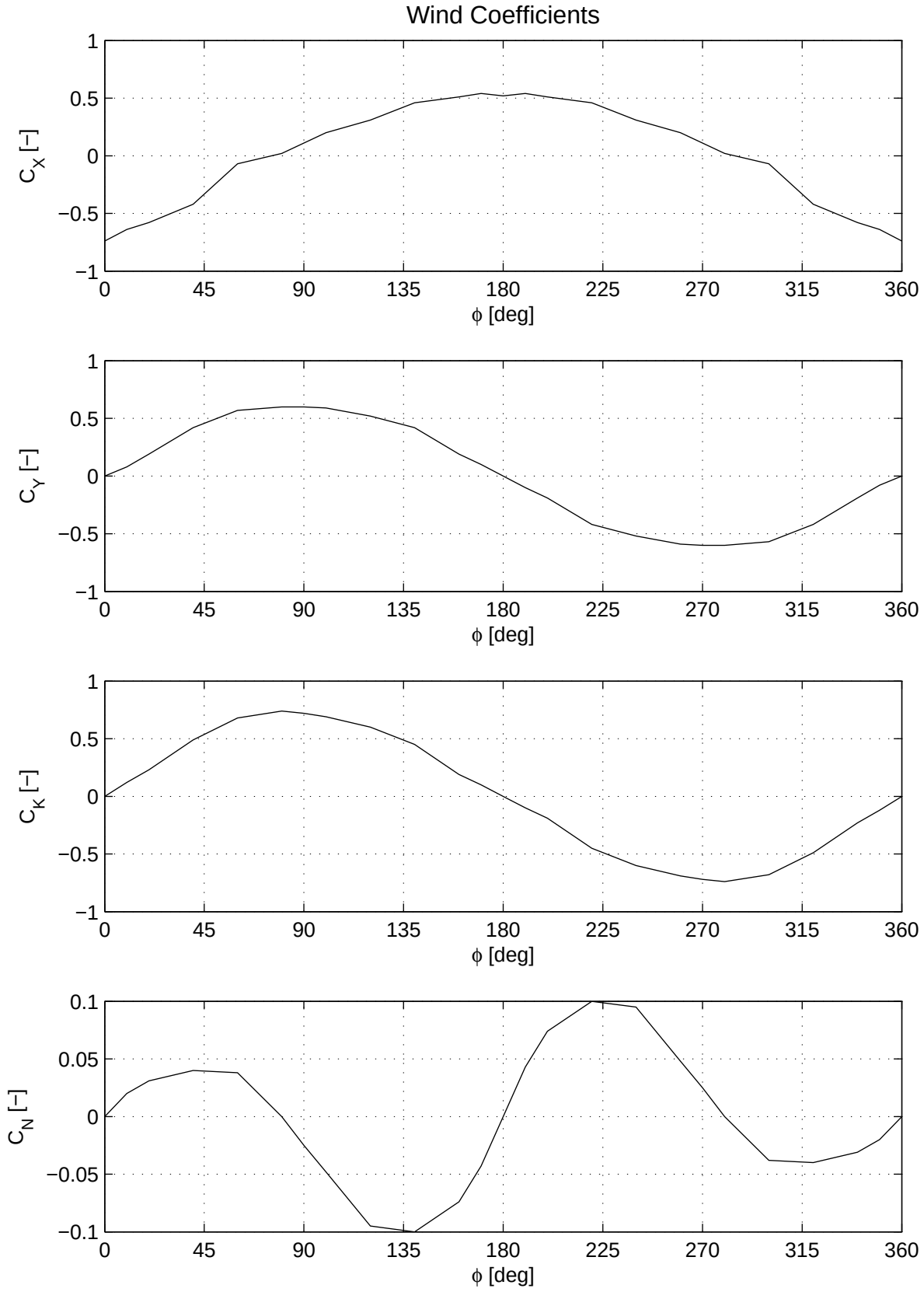
Plots of Standard and Check Manoeuvres

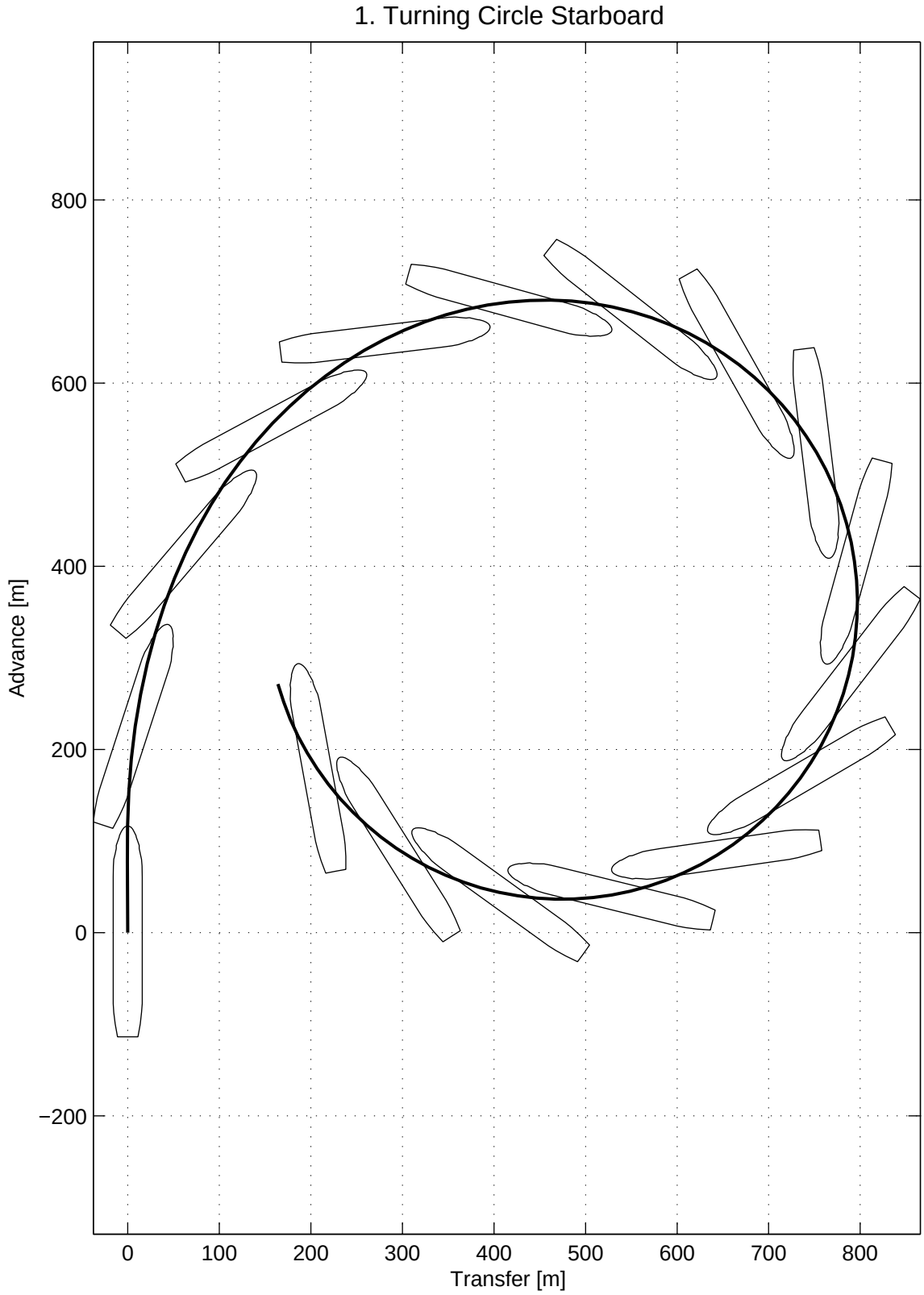
List of Contents

Side View and Birds Eye View	3
Wind Coefficients	4
1. Turning Circle Starboard	5
2. Turning Circle Port	7
3. Turning Circle Starboard, Shallow Water	9
4. Zig−zag 10/10	11
5. Zig−zag 20/20	12
6. Combined Dieudonne− and Reverse Spiral	13
7. Acceleration	14
8. Crash Stop	15
9. Coasting Stop	16
10. Going Astern	17
11. Drifting in Wind	18
12. Sailing with Autopilot in Wind	20
13. Drifting in Current	22
14. Sailing with Autopilot in Current	24
15. Drifting in Waves	26
16. Sailing with Autopilot in Waves	28


Side View of Ship 3234
Z [m]
X [m]
80
60
40
20
0
−20
−40
−60
−100
−50
0
50
100


Birds Eye View − Maximum Outline and Waterline
Y [m]
X [m]
60
40
20
0
−20
−40
−60
−100
−50
0
50
100


Wind Coefficients
C_X [–]
C_Y [–]
C_K [–]
C_N [–]
ϕ [deg]
0
45
90
135
180
225
270
315
360
1
0.5
0
−0.5
−1
0.1
0.05
−0.05
−0.1


1. Turning Circle Starboard
Advance [m]
Transfer [m]
800
600
400
200
0
−200
0
100
200
300
400
500
600
700
800

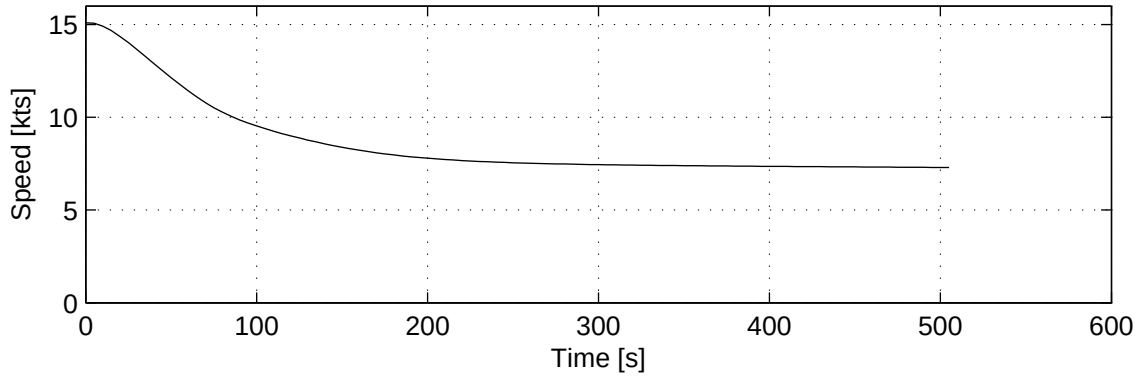
1. Turning Circle Starboard

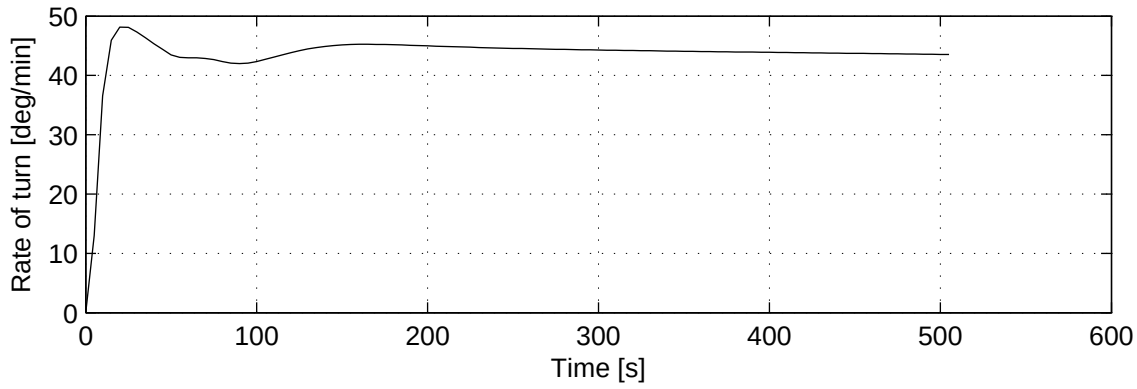
Initial Conditions and Controls

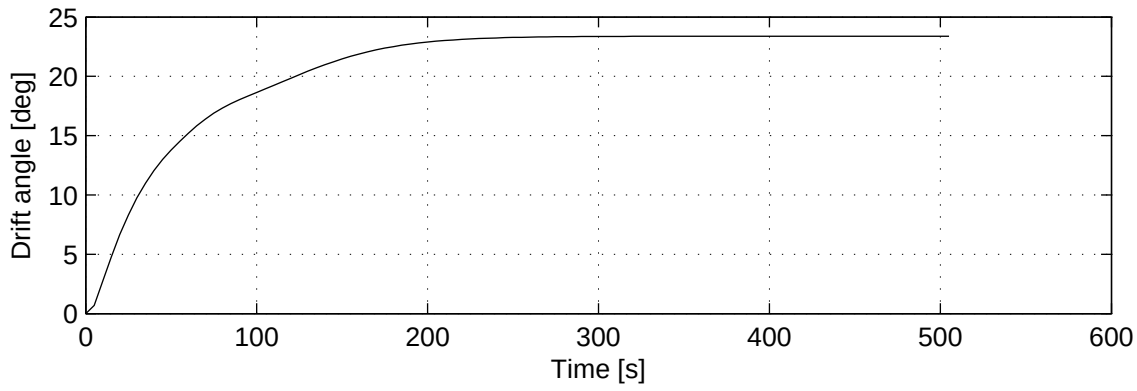
Approach speed	: 15.1 knots
Rudder deflection	: −35 deg
Water depth	: h/T = ∞

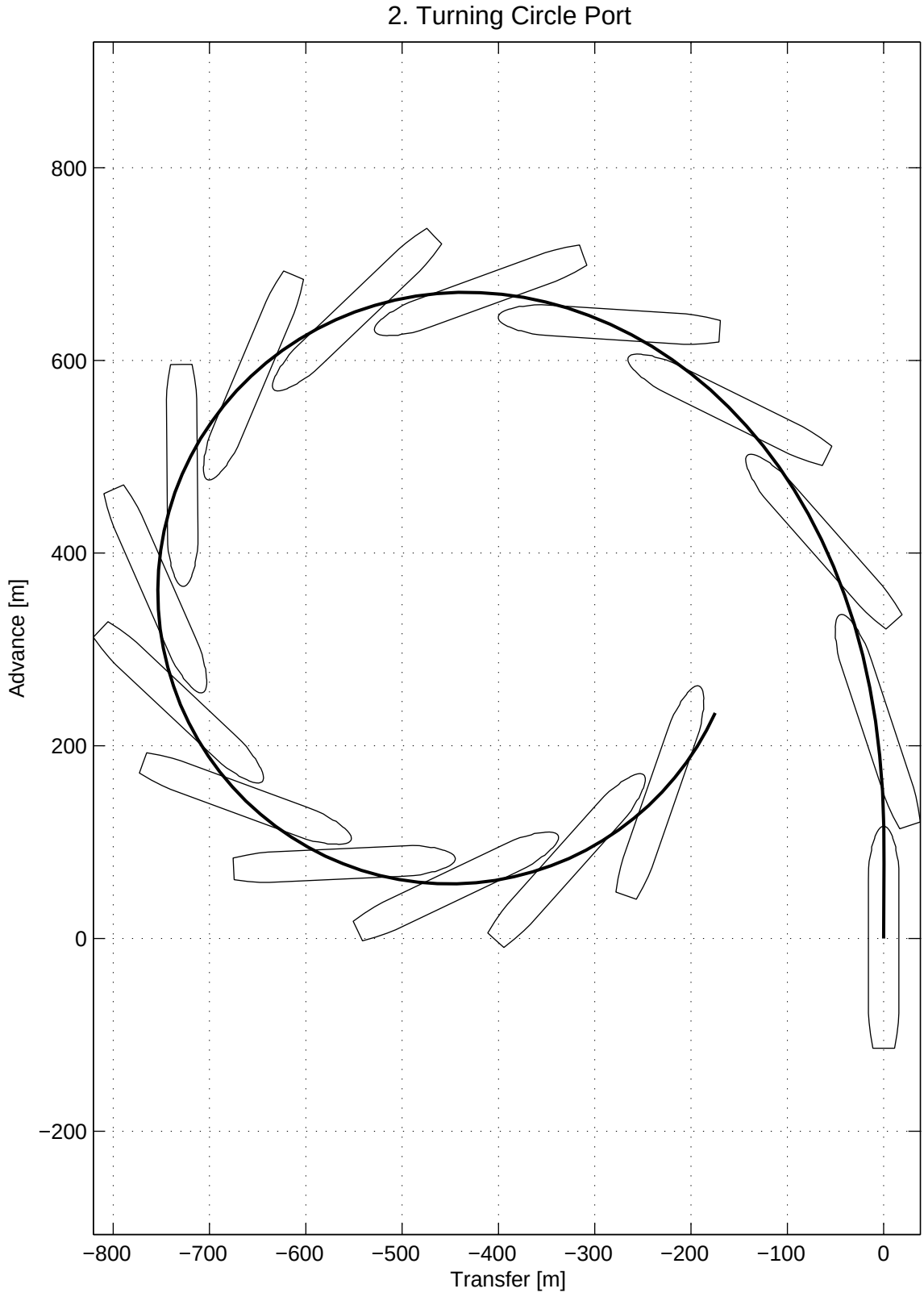
Results and Equilibrium Values

Advance	: 667 m
Transfer	: 325 m
Tactical diameter	: 771 m
Steady diameter	: 611 m








2. Turning Circle Port
800
600
400
200
0
−200
Advance [m]
−800
−700
−600
−500
−400
−300
−200
−100
0
Transfer [m]

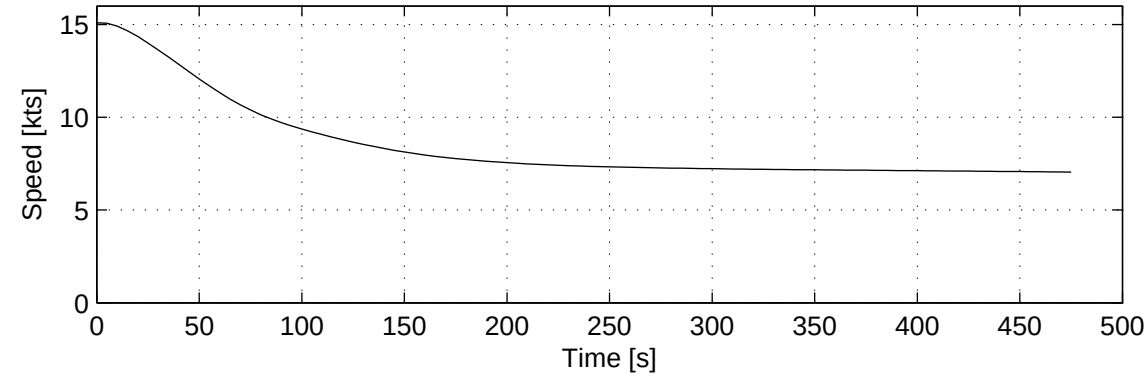
2. Turning Circle Port

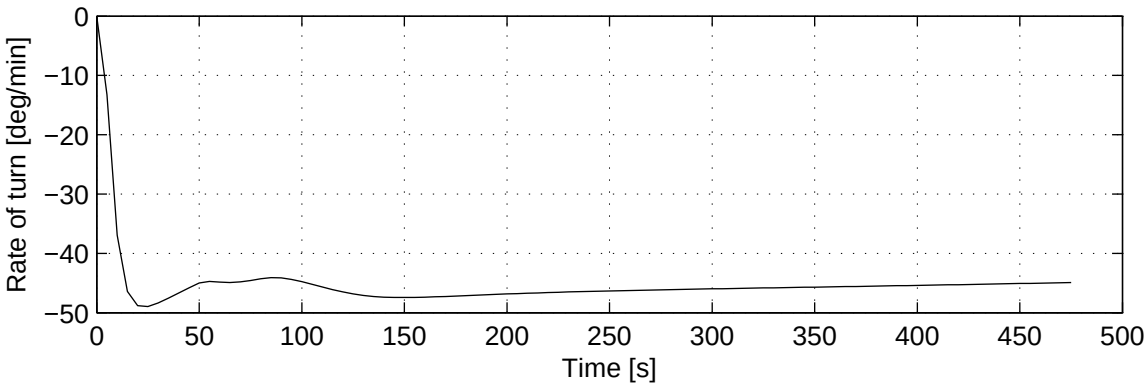
Initial Conditions and Controls

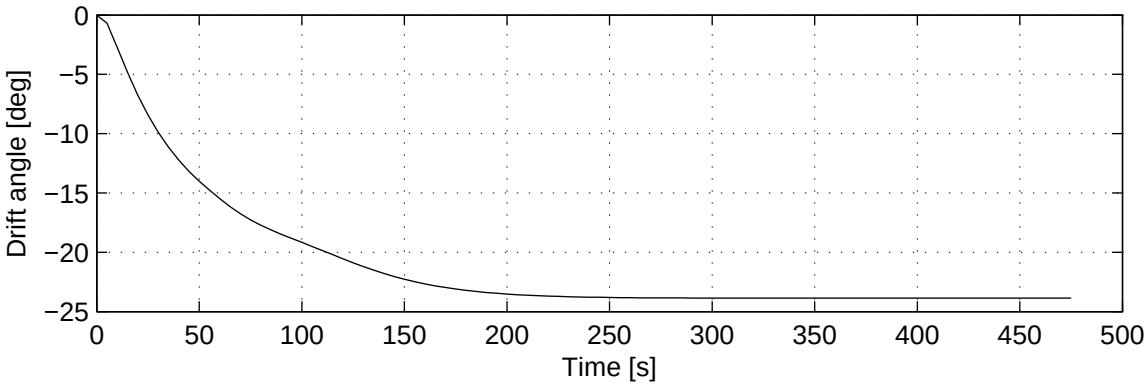
Approach speed	: 15.1 knots
Rudder deflection	: 35 deg
Water depth	: h/T = ∞

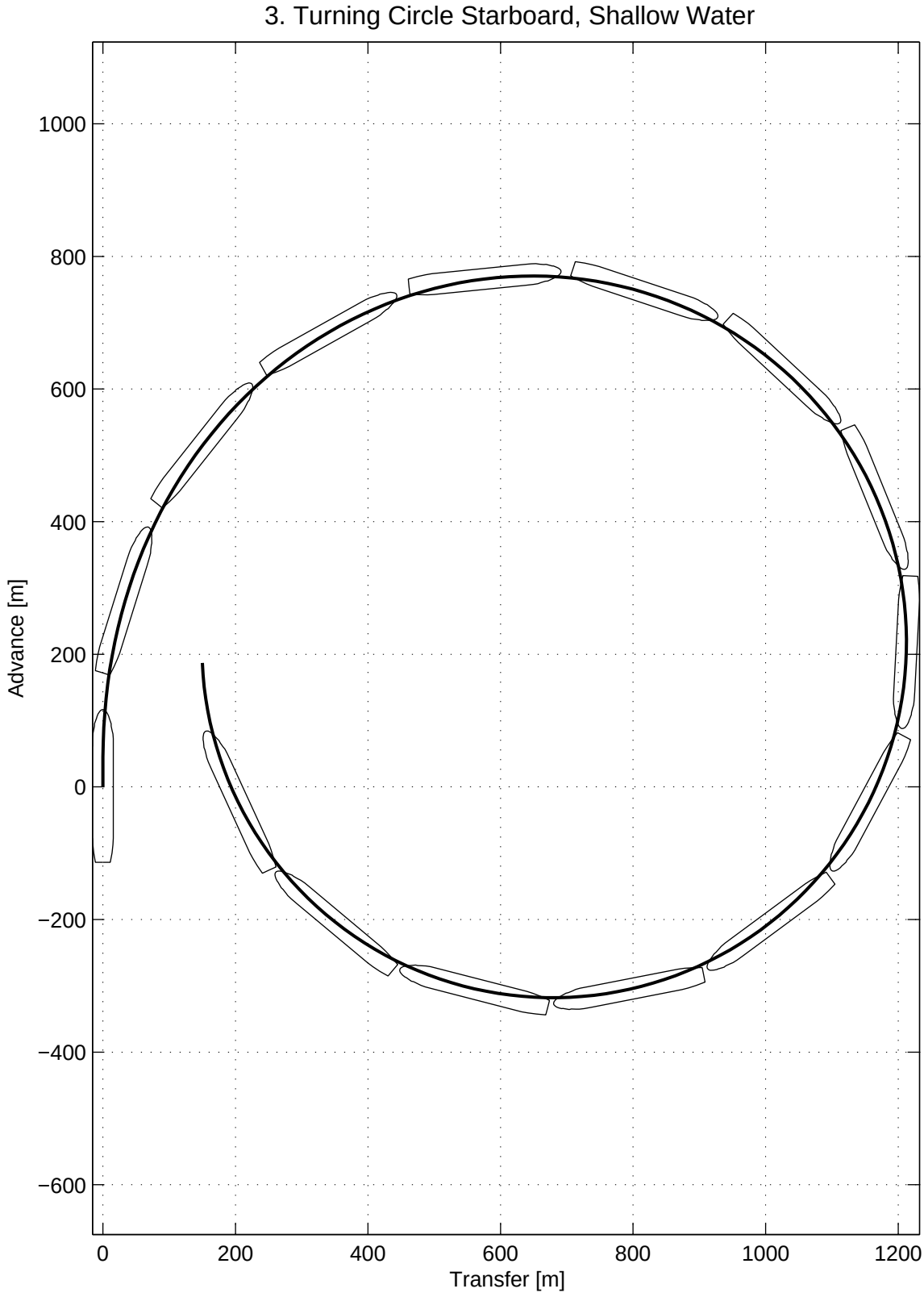
Results and Equilibrium Values

Advance	: 637 m
Transfer	: 284 m
Tactical diameter	: 719 m
Steady diameter	: 570 m








3. Turning Circle Starboard, Shallow Water
Advance [m]
Transfer [m]
1000
800
600
400
200
0
−200
−400
−600
0
200
400
600
800
1000
1200

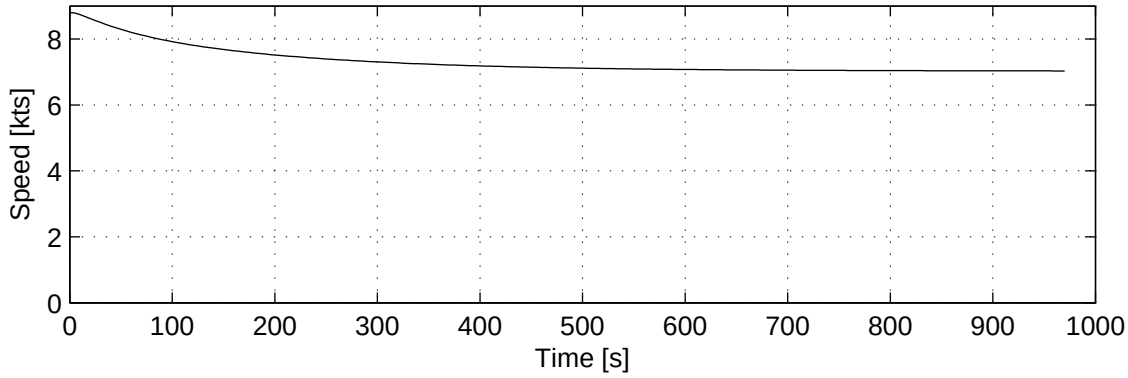
3. Turning Circle Starboard, Shallow Water

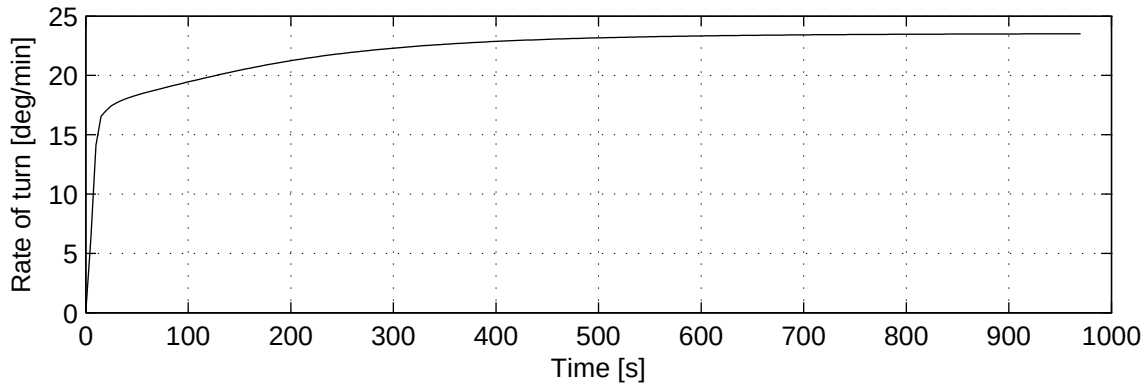
Initial Conditions and Controls

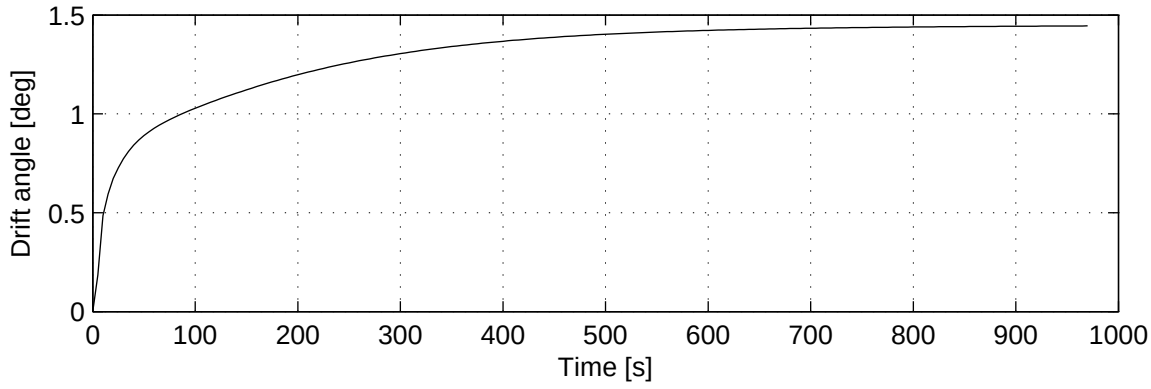
Approach speed	: 8.8 knots
Rudder deflection	: −35 deg
Water depth	: h/T = 1.2

Results and Equilibrium Values

Advance	: 771 m
Transfer	: 651 m
Tactical diameter	: 1213 m
Steady diameter	: 1063 m







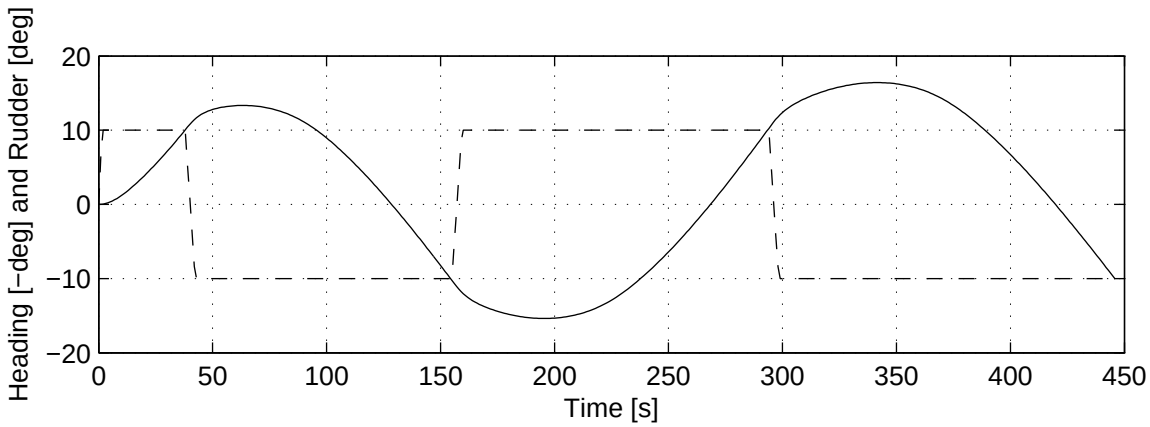
4. Zig−zag 10/10

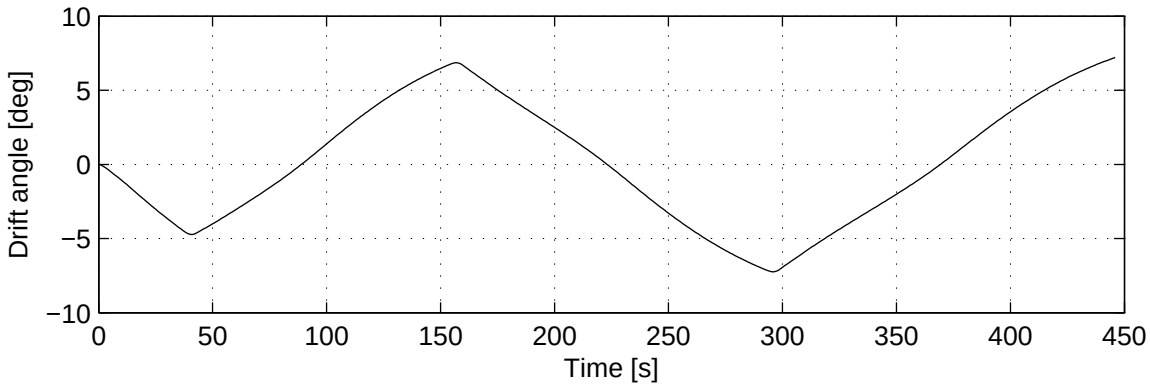
Initial Conditions and Controls

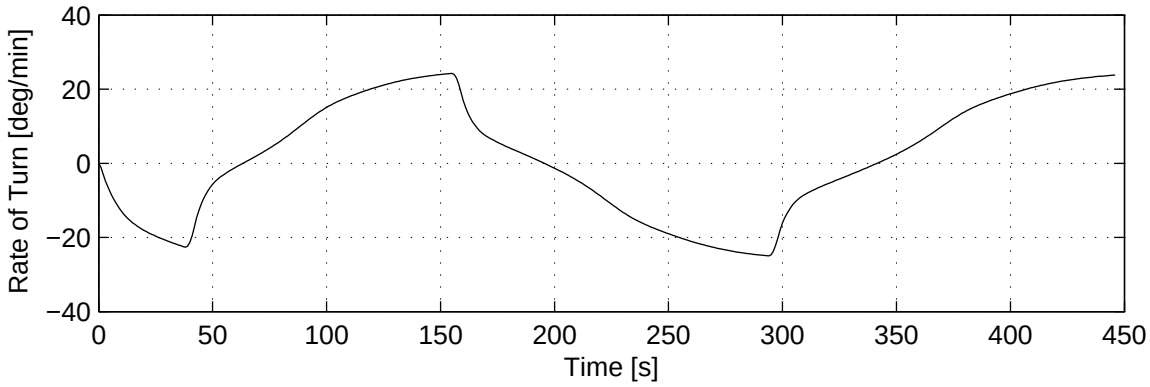
Approach speed	: 15.1 knots
Rudder/heading deflection	: 10/10 deg

Results and Equilibrium Values

1st Overshoot Angle	: 3.3 deg
2nd Overshoot Angle	: 5.4 deg
Initial turning ability	: 285 m







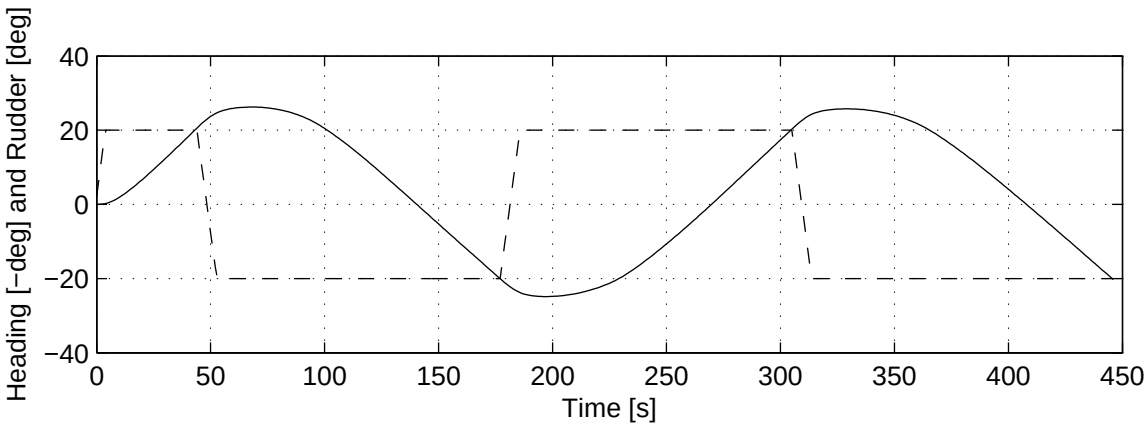
5. Zig−zag 20/20

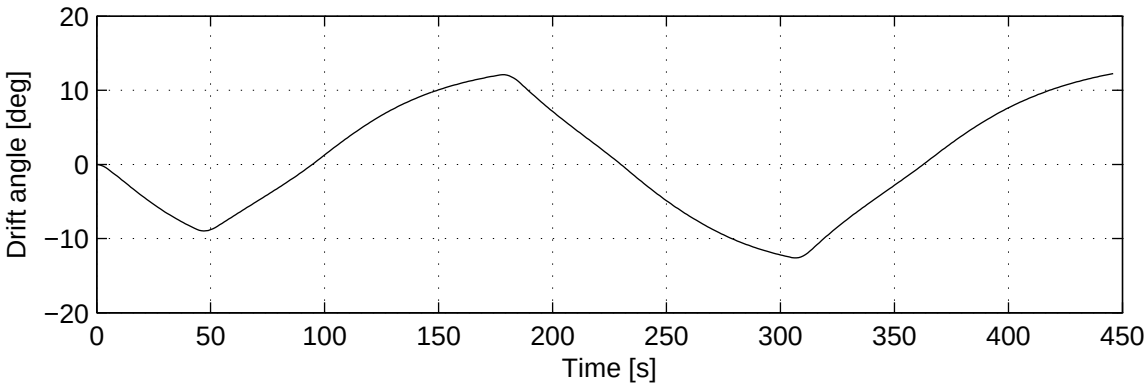
Initial Conditions and Controls

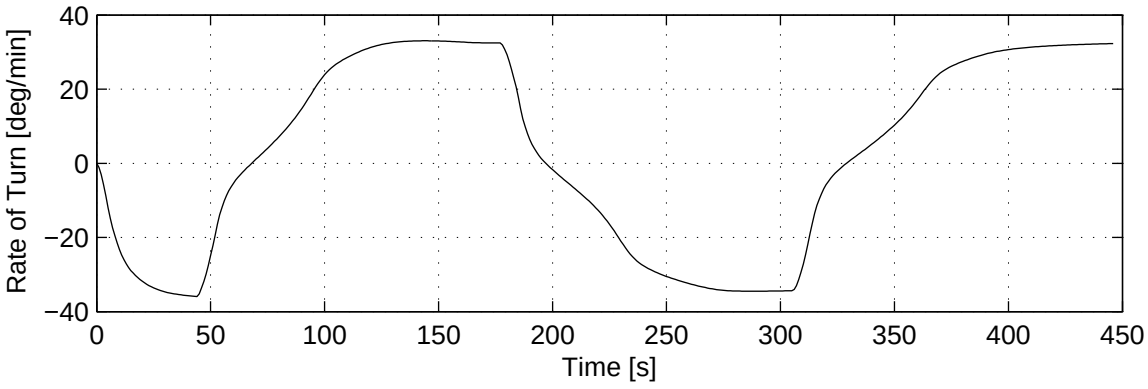
Approach speed	: 15.1 knots
Rudder/heading deflection	: 20/20 deg

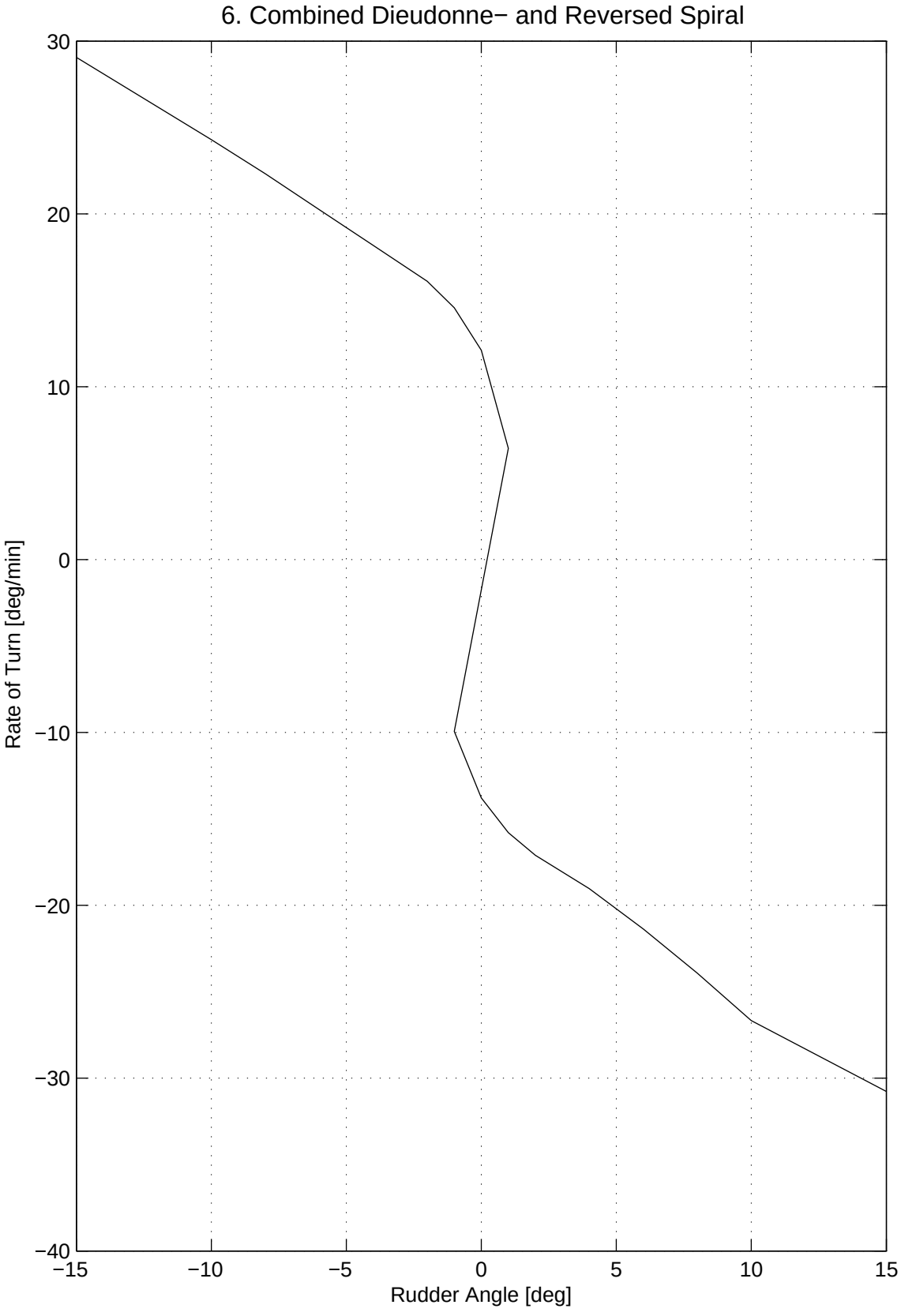
Results and Equilibrium Values

1st Overshoot Angle	: 6.2 deg
2nd Overshoot Angle	: 4.8 deg
Initial turning ability	: 324 m








6. Combined Dieudonne− and Reversed Spiral
Rate of Turn [deg/min]
Rudder Angle [deg]
30
20
10
0
−10
−20
−30
−40
−15
−10
−5
0
5
10
15

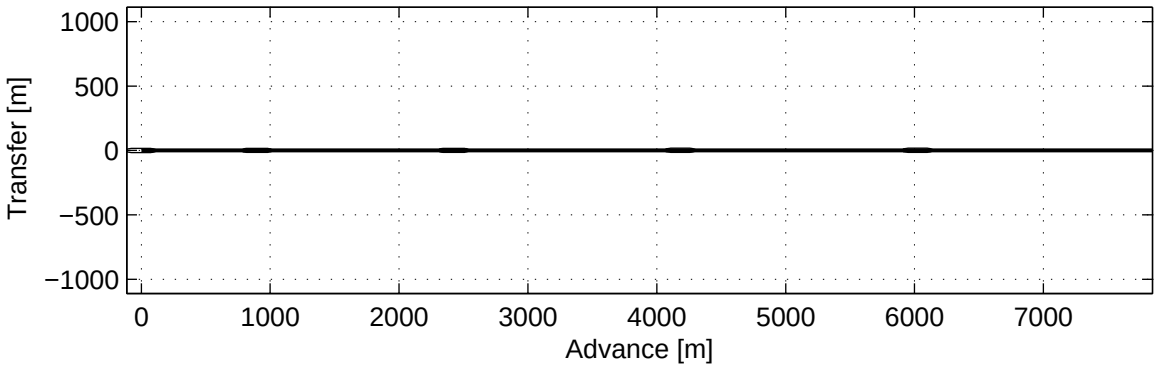
7. Acceleration

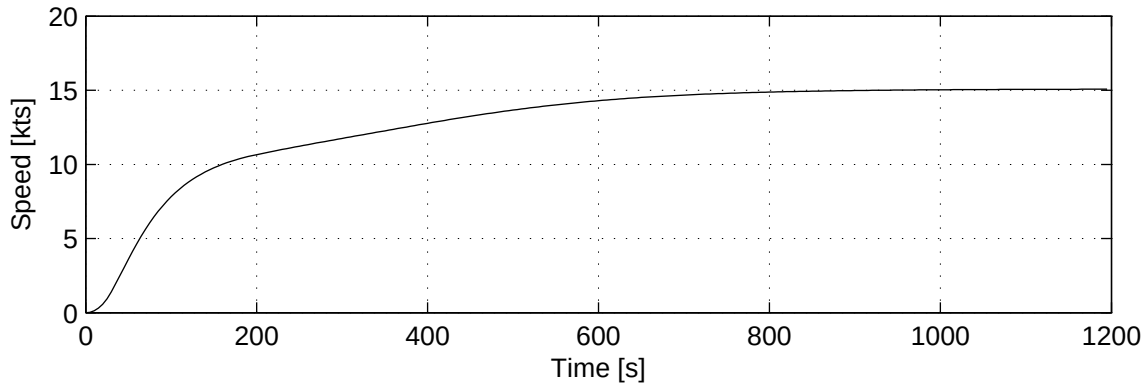
Initial Conditions and Controls

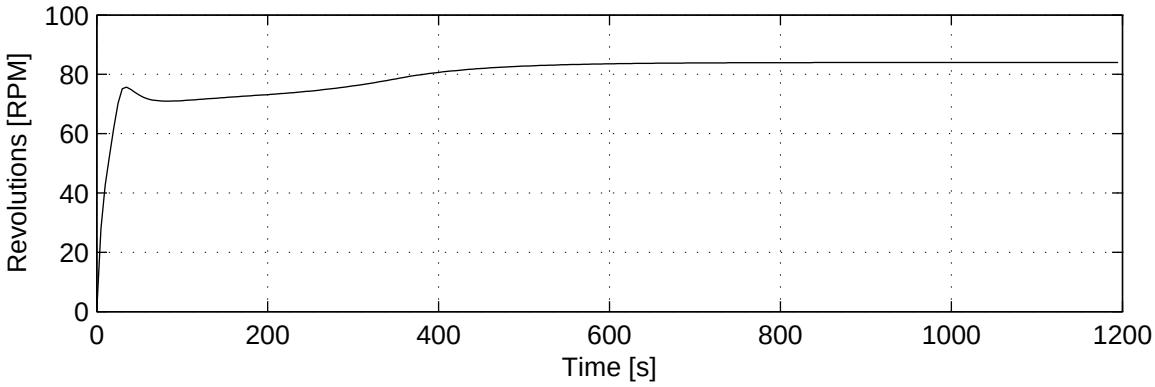
Initial speed	: 0.0 knots
Water depth	: h/T = ∞

Results and Equilibrium Values

Advance	: 7846 m
Speed	: 15.1 knots
Revolutions	: 84.0 RPM
Time	: 1195 s







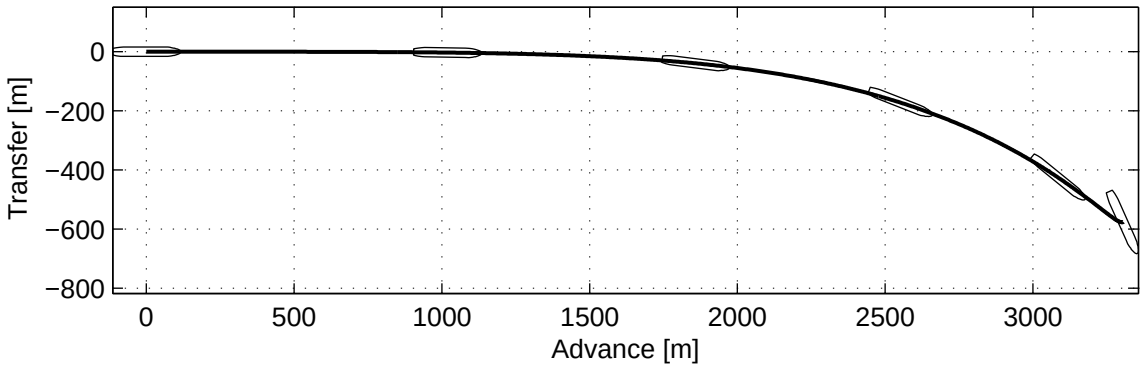
8. Crash Stop

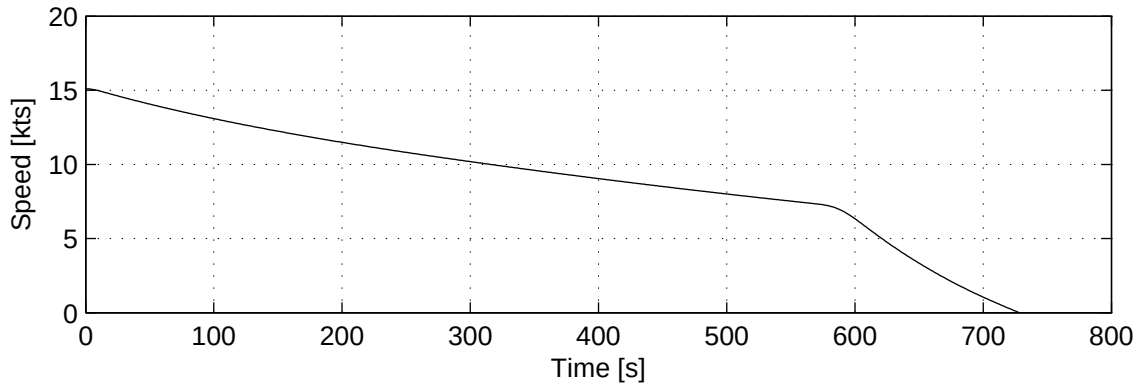
Initial Conditions and Controls

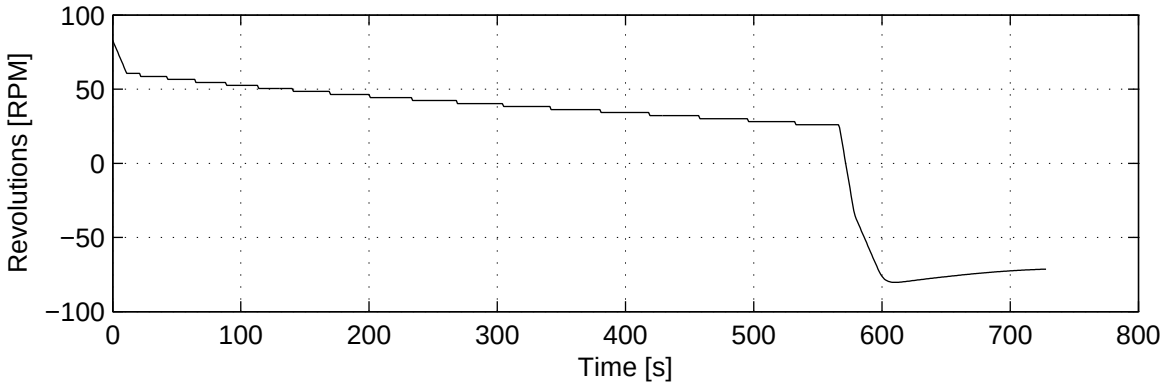
Initial speed	: 15.1 knots
Water depth	: h/T = ∞

Results and Equilibrium Values

Advance	: 3306 m
Speed	: 0.0 knots
Revolutions	: −71.4 RPM
Time	: 728 s







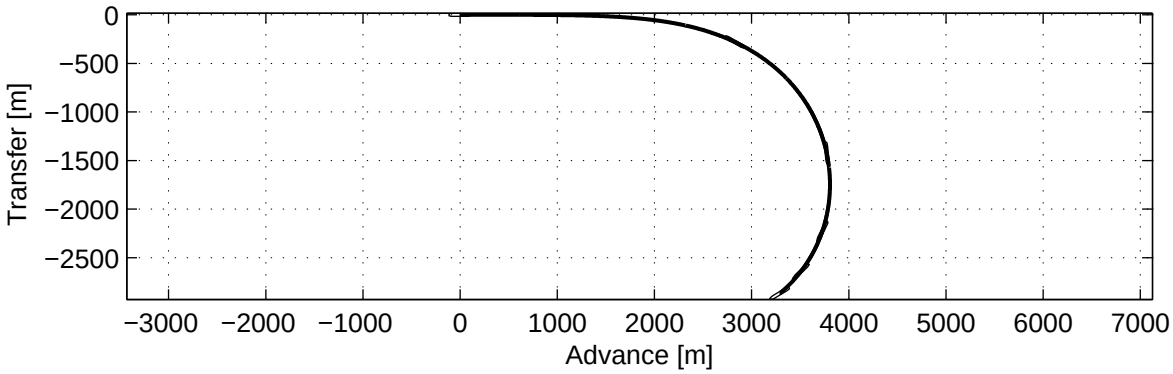
9. Coasting Stop

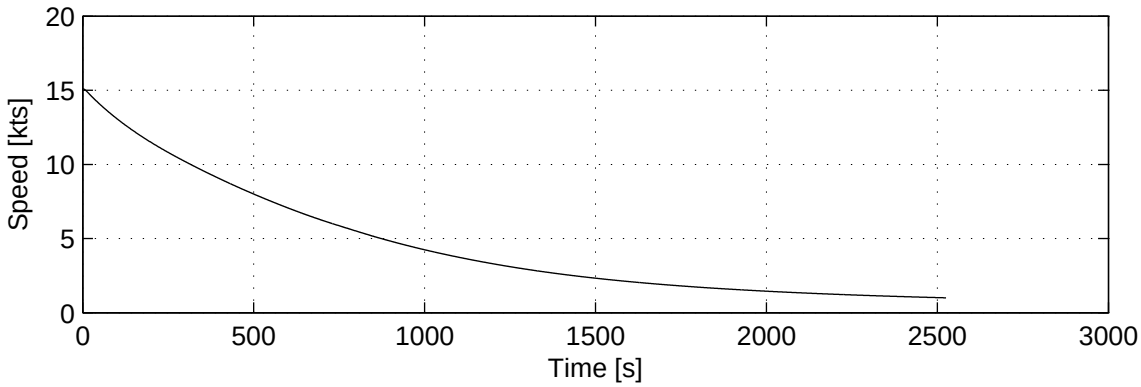
Initial Conditions and Controls

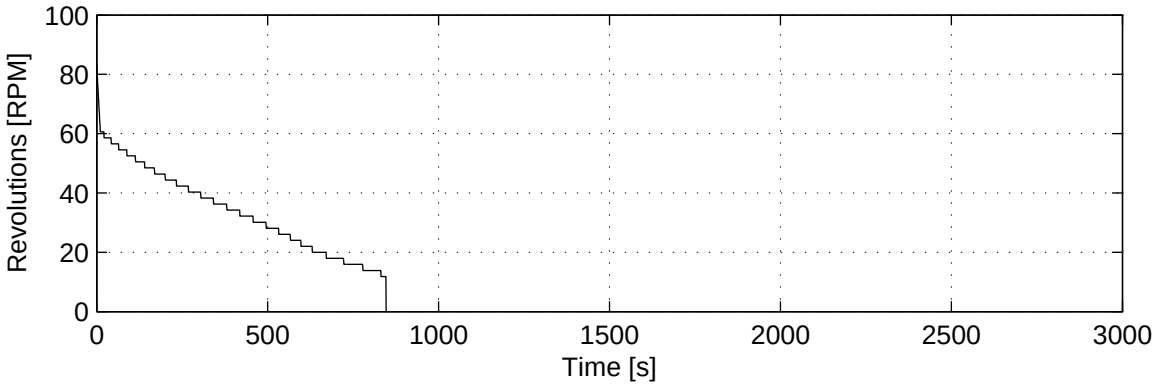
Initial speed	: 15.1 knots
Water depth	: h/T = ∞

Results and Equilibrium Values

Advance	: 3288 m
Speed	: 1.0 knots
Revolutions	: 0.0 RPM
Time	: 2525 s







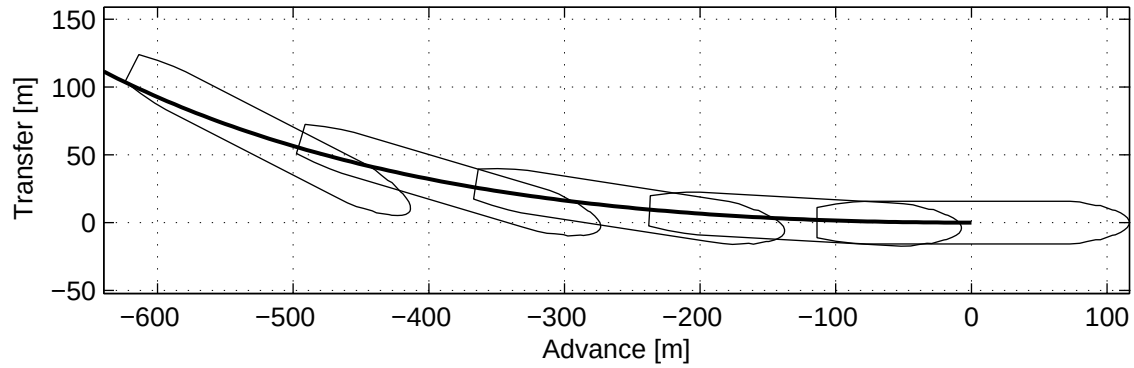
10. Going Astern

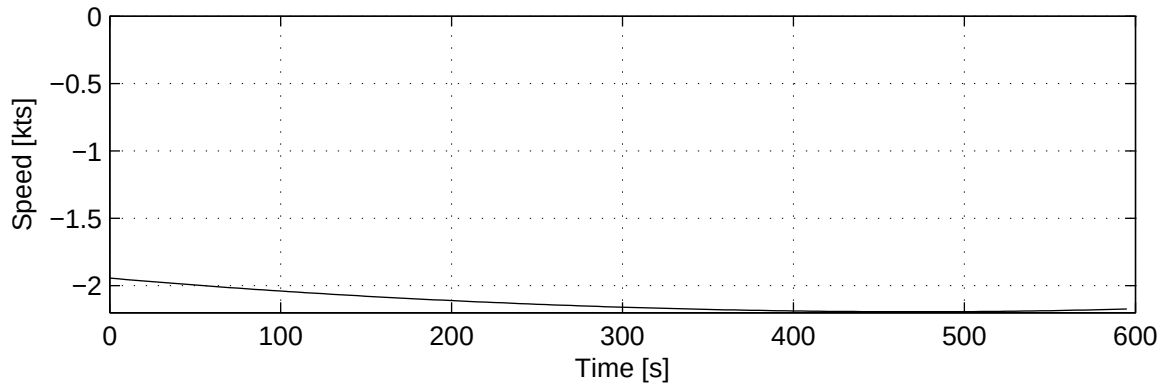
Initial Conditions and Controls

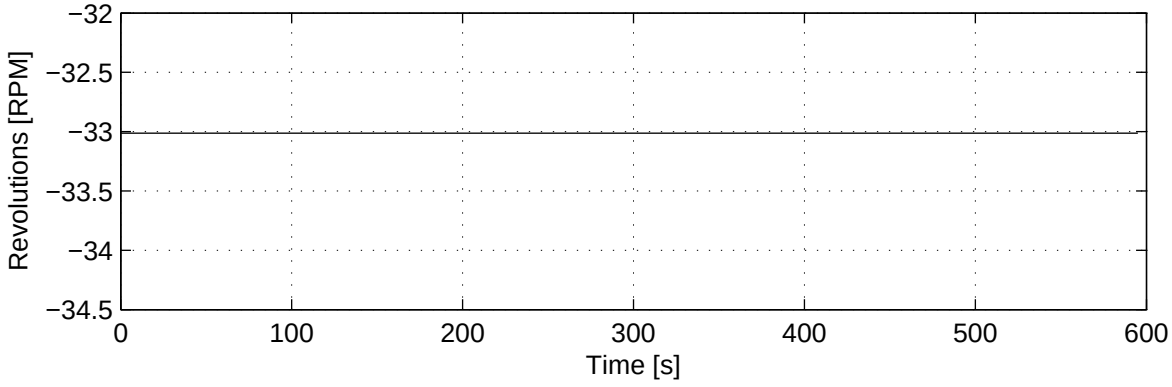
Initial speed	: −1.9 knots
Water depth	: h/T = ∞

Results and Equilibrium Values

Advance	: −640 m
Speed	: −2.2 knots
Revolutions	: −33.0 RPM
Time	: 595 s







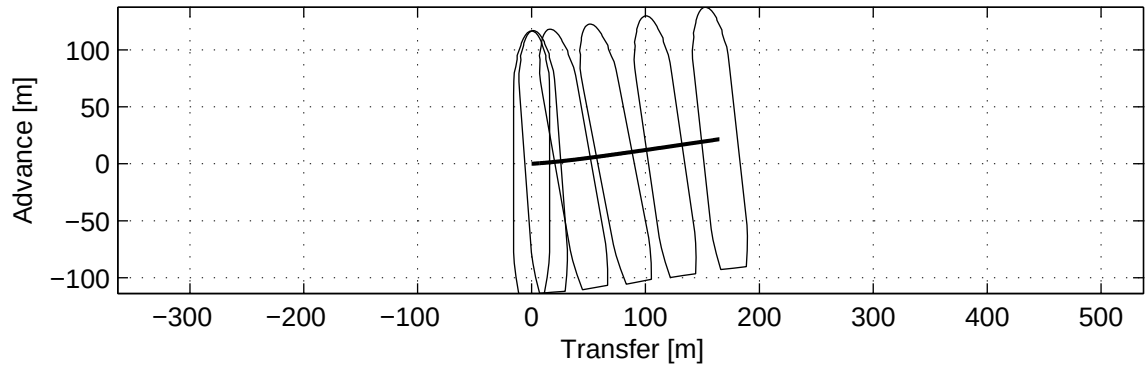
11. Drifting in Wind

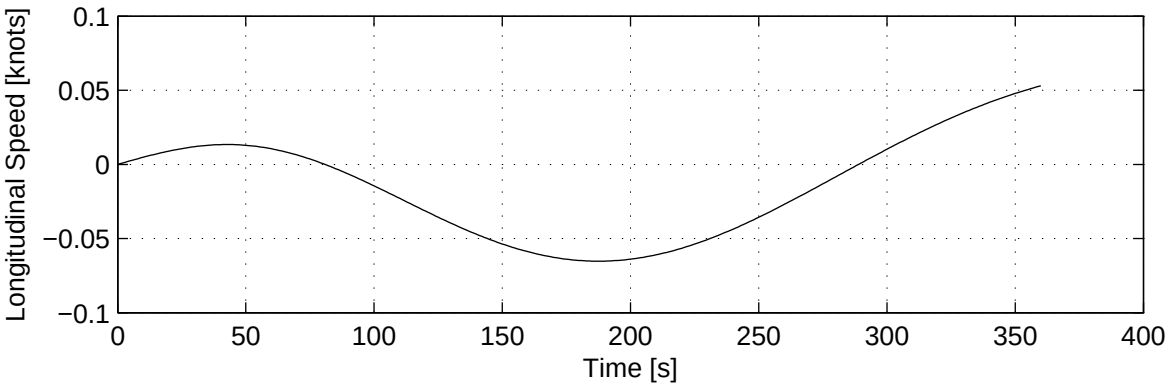
Initial Conditions and Controls

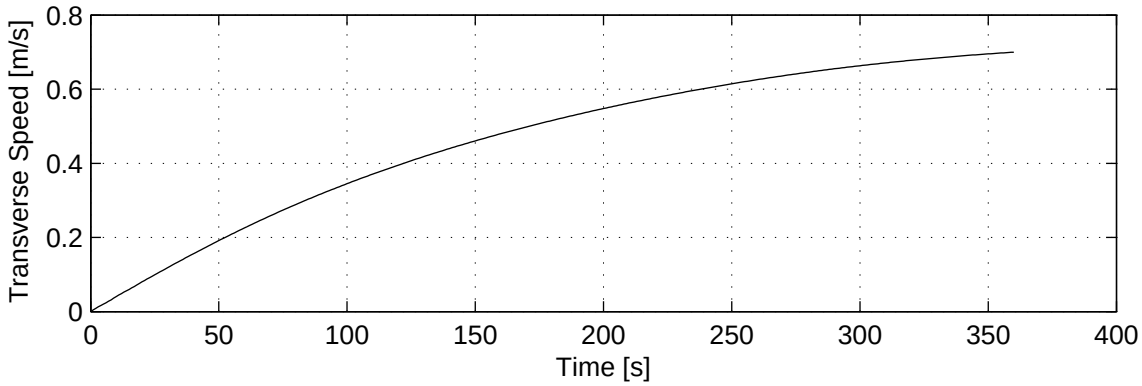
Water depth	: h/T = ∞
Wind speed	: 15 m/s
Wind direction	: 270 deg

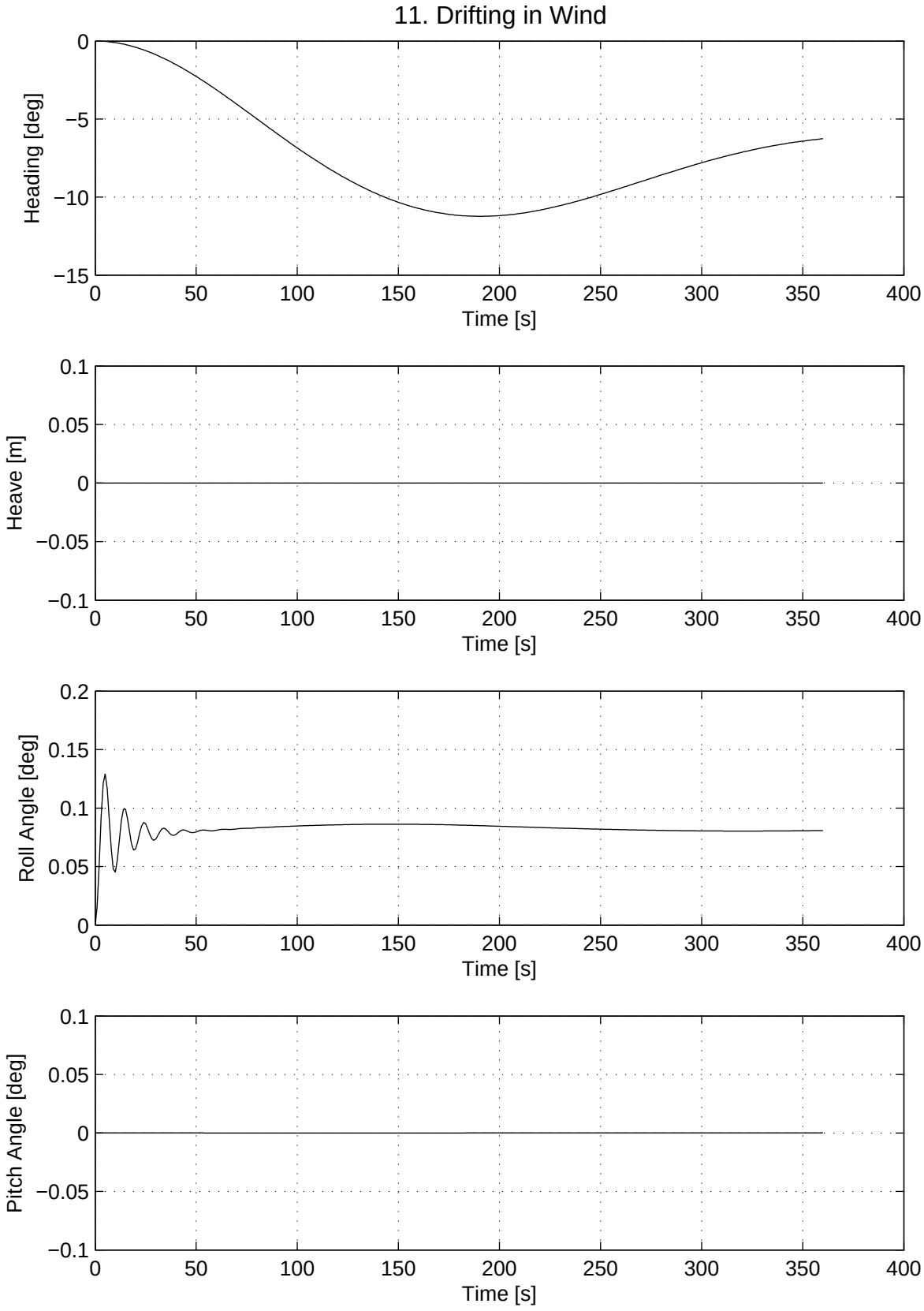
Results and Equilibrium Values

Longitudinal Speed	: 0.1 knots
Transverse Speed	: 0.7 m/s
Roll Angle	: 0.1 deg








11. Drifting in Wind
Heading [deg]
0
−5
−10
−15
0 50 100 150 200 250 300 350 400
Time [s]
Heave [m]
0.1
0.05
0
−0.05
−0.1
0 50 100 150 200 250 300 350 400
Time [s]
Roll Angle [deg]
0.2
0.15
0.1
0.05
0
0 50 100 150 200 250 300 350 400
Time [s]
Pitch Angle [deg]
0.1
0.05
0
−0.05
−0.1
0 50 100 150 200 250 300 350 400
Time [s]

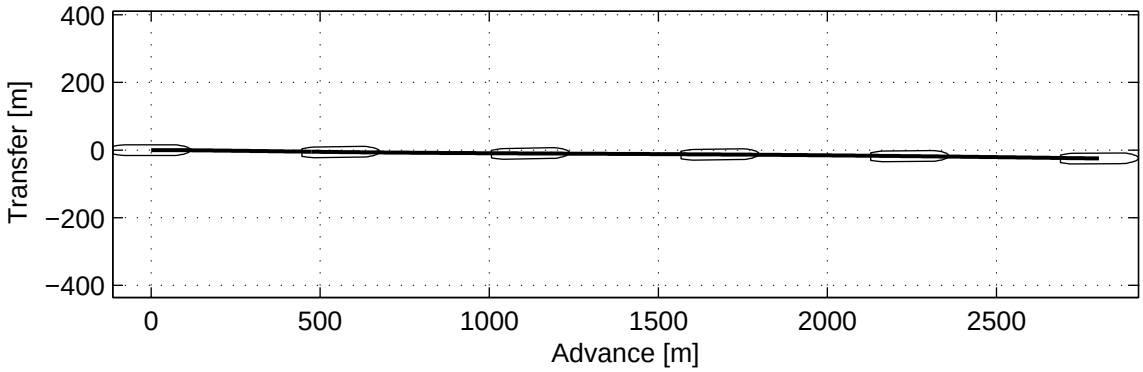
12. Sailing with Autopilot in Wind

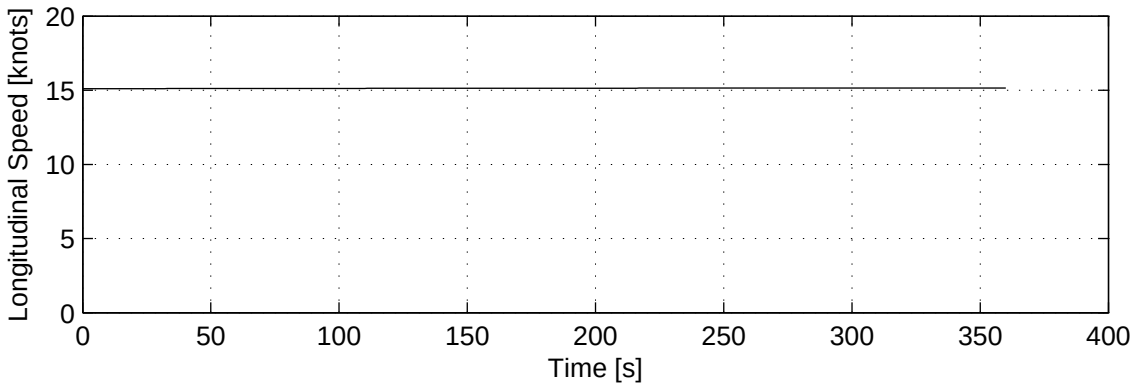
Initial Conditions and Controls

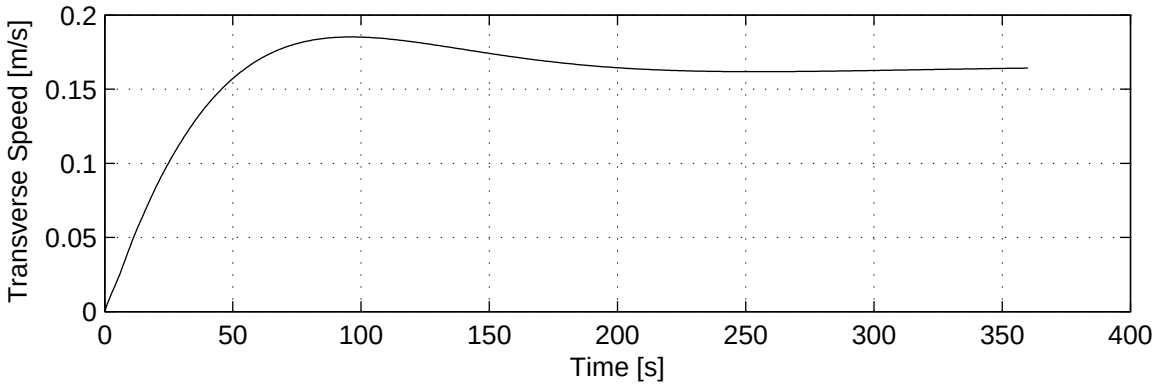
Water depth	: h/T = ∞
Wind speed	: 15 m/s
Wind direction	: 270 deg

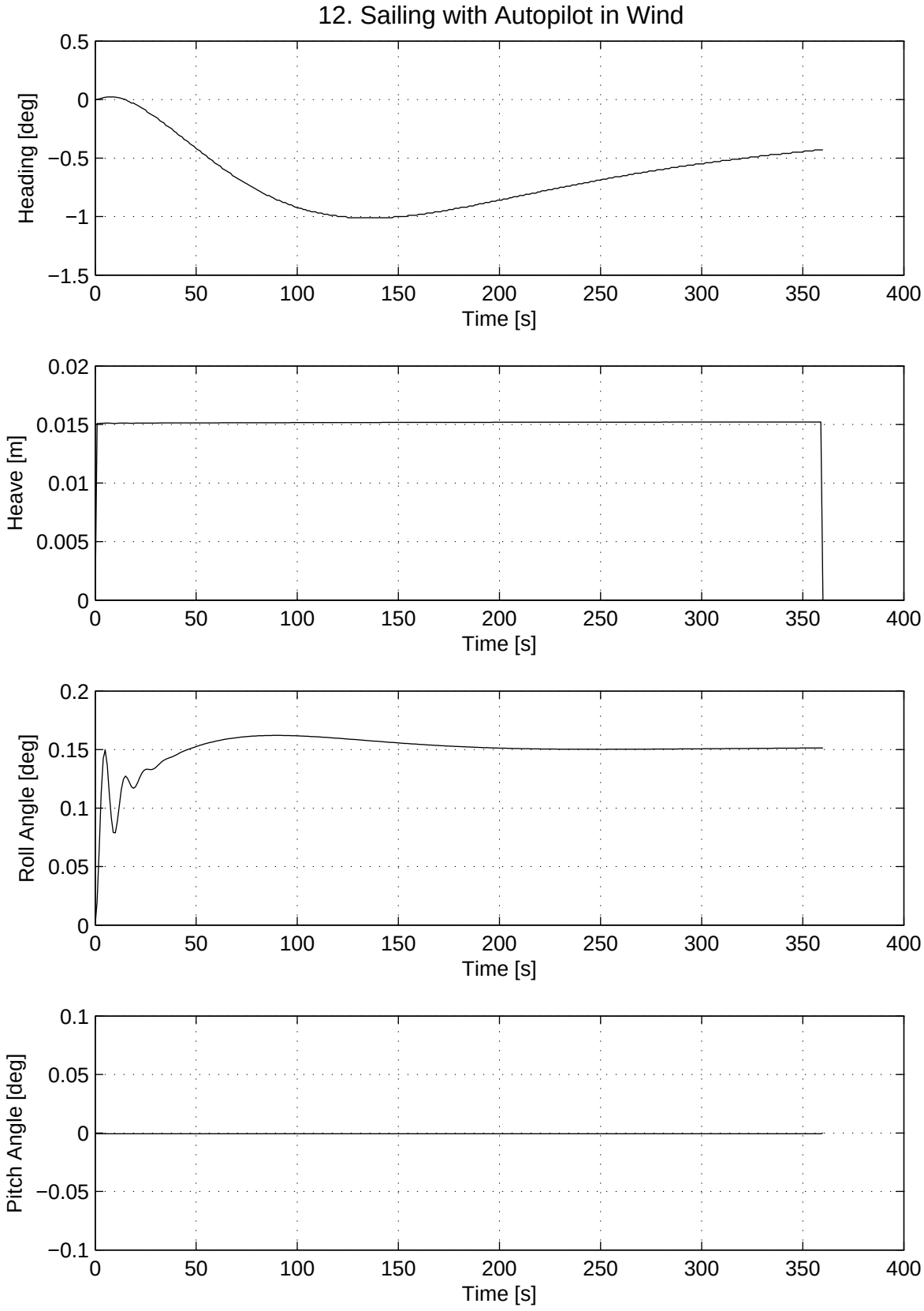
Results and Equilibrium Values

Longitudinal Speed	: 15.2 knots
Transverse Speed	: 0.2 m/s
Roll Angle	: 0.2 deg








12. Sailing with Autopilot in Wind
Heading [deg]
Time [s]
Heave [m]
Time [s]
Roll Angle [deg]
Time [s]
Pitch Angle [deg]
Time [s]

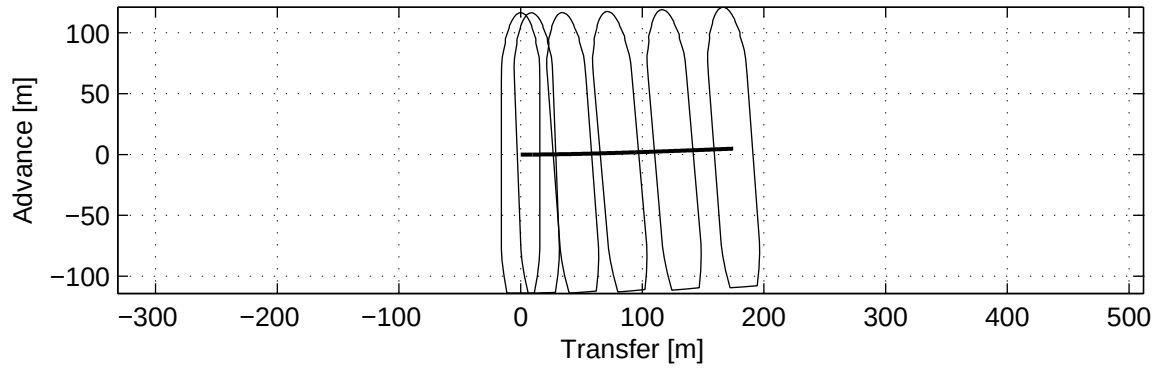
13. Drifting in Current

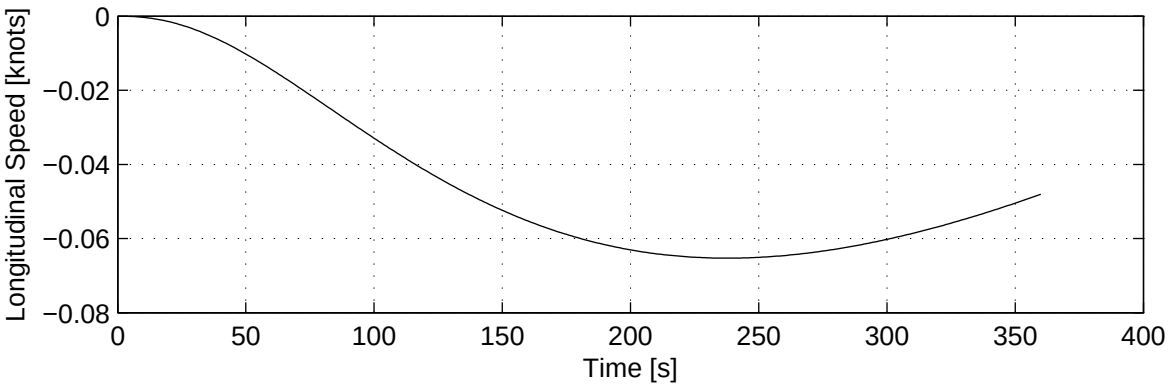
Initial Conditions and Controls

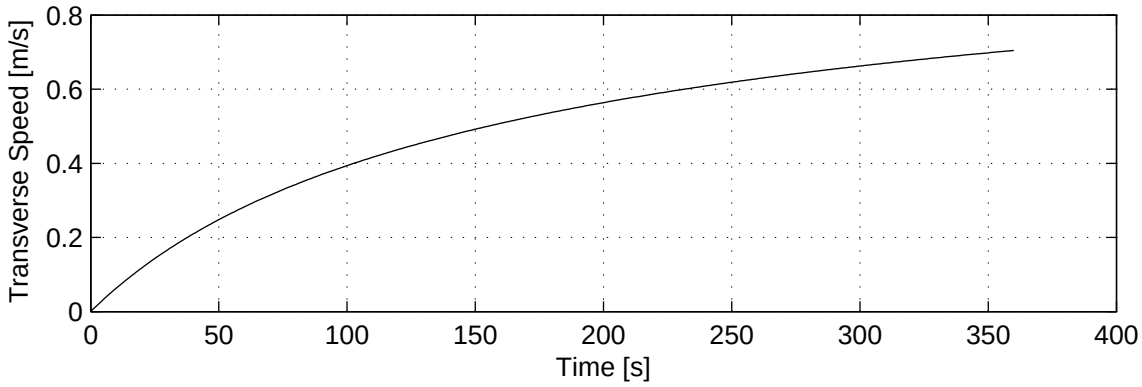
Water depth	: h/T = ∞
Current speed	: 2 knots
Current direction	: 90 deg

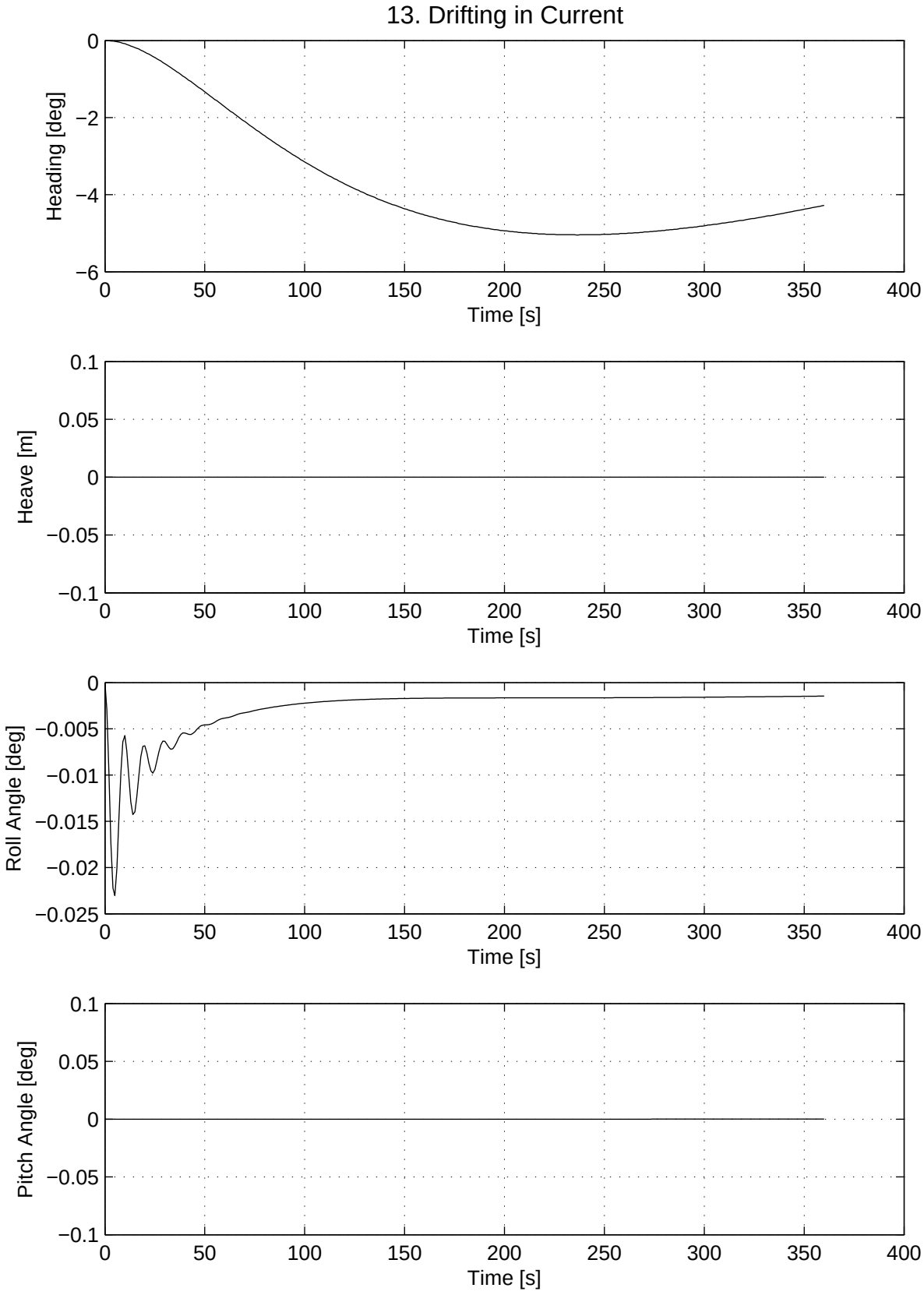
Results and Equilibrium Values

Longitudinal Speed	: −0.0 knots
Transverse Speed	: 0.7 m/s
Roll Angle	: −0.0 deg








13. Drifting in Current
Heading [deg]
Time [s]
Heave [m]
Time [s]
Roll Angle [deg]
Time [s]
Pitch Angle [deg]
Time [s]

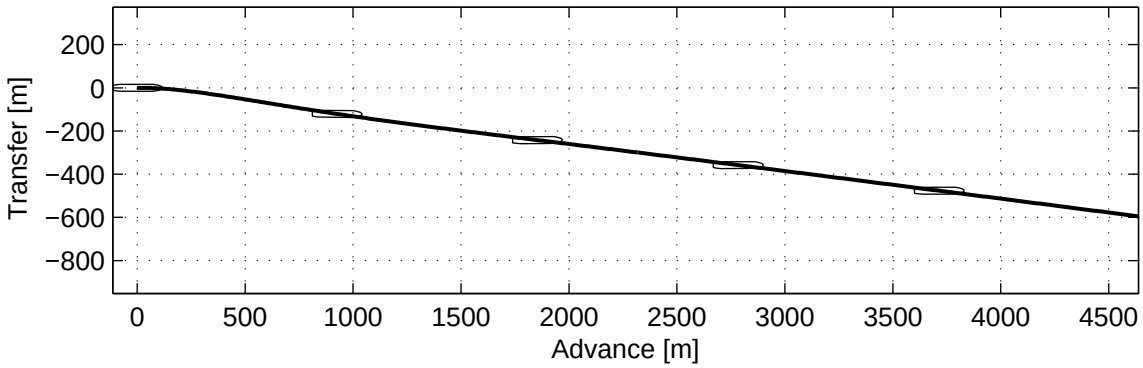
14. Sailing with Autopilot in Current

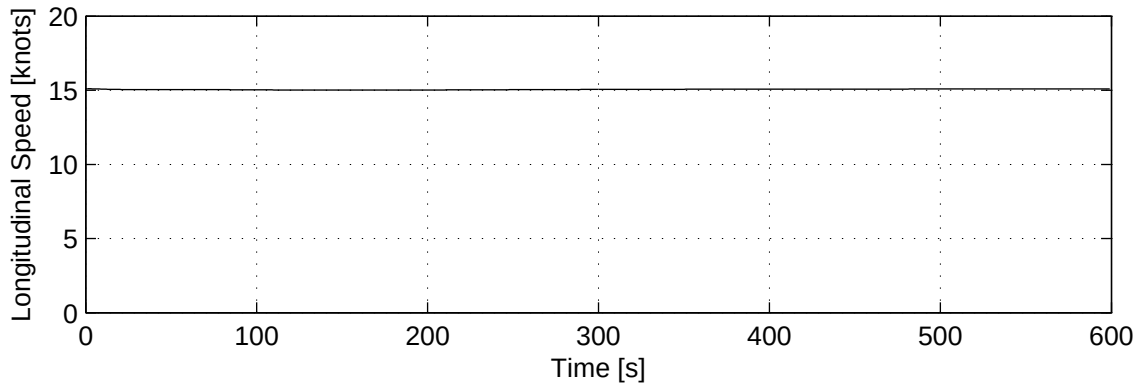
Initial Conditions and Controls

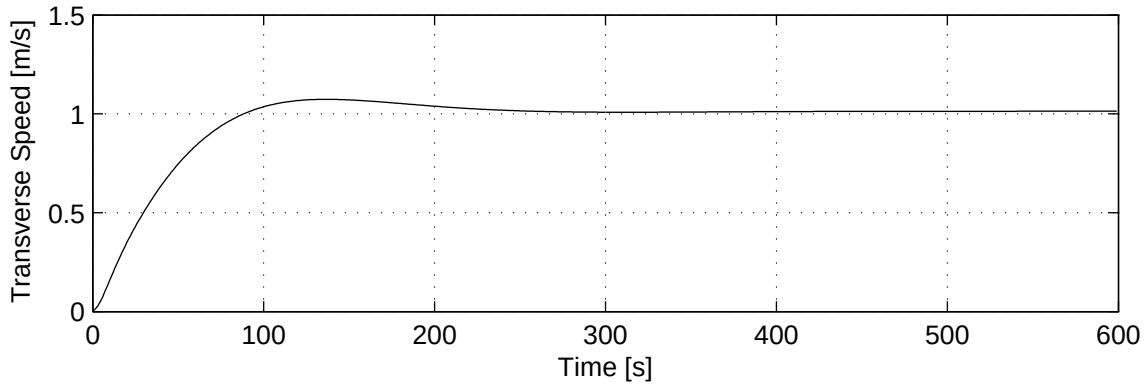
Water depth	: h/T = ∞
Current speed	: 2 knots
Current direction	: 90 deg

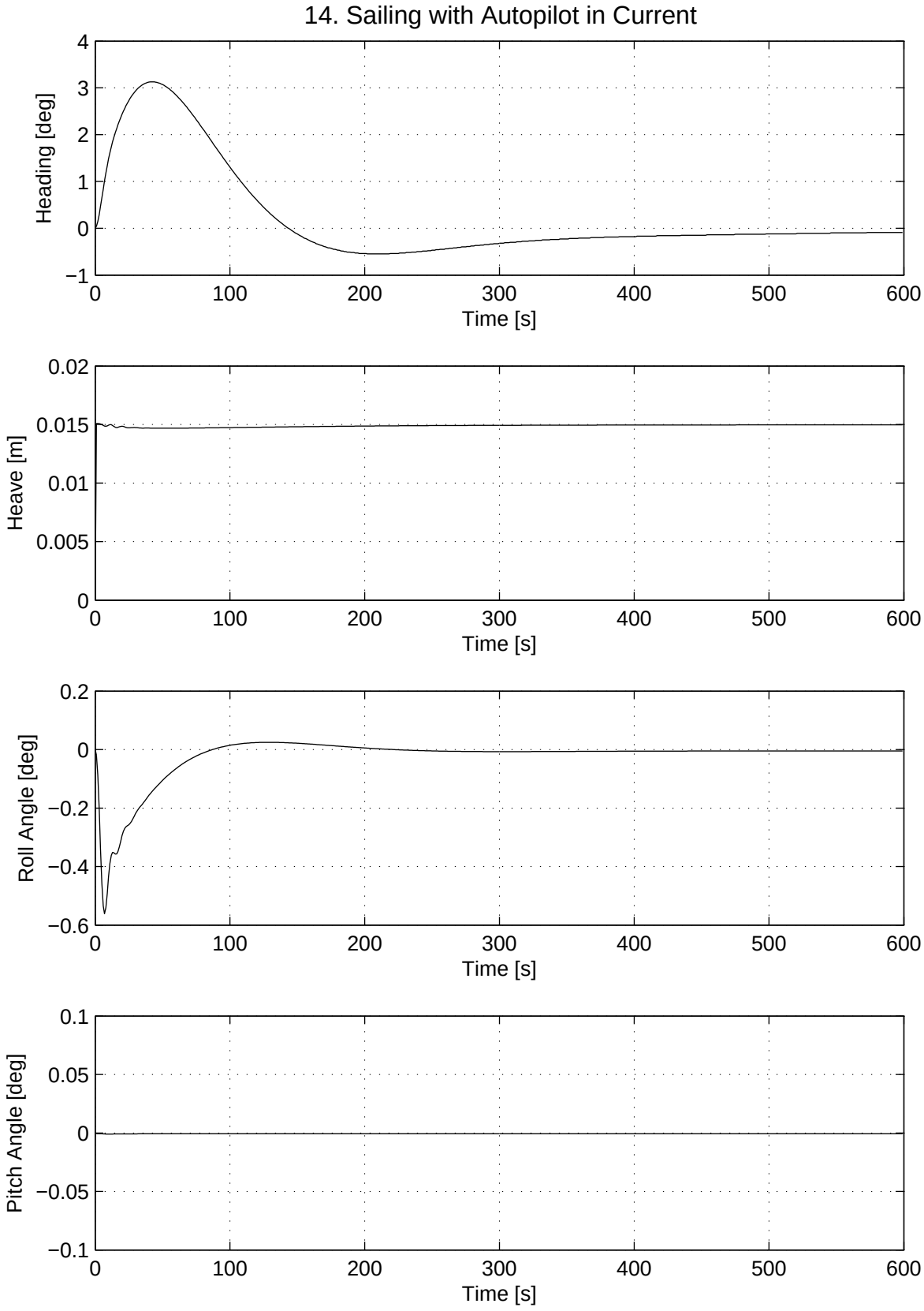
Results and Equilibrium Values

Longitudinal Speed	: 15.1 knots
Transverse Speed	: 1.0 m/s
Roll Angle	: −0.0 deg








14. Sailing with Autopilot in Current
Heading [deg]
Time [s]
Heave [m]
Time [s]
Roll Angle [deg]
Time [s]
Pitch Angle [deg]
Time [s]

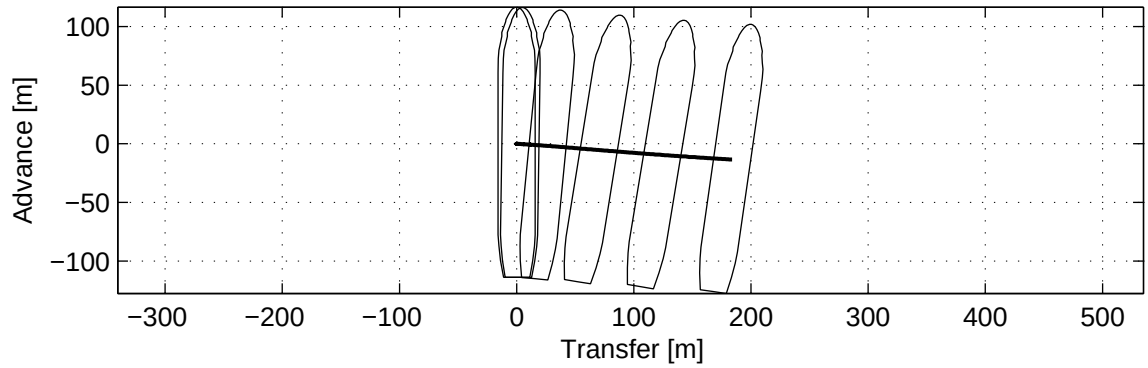
15. Drifting in Waves

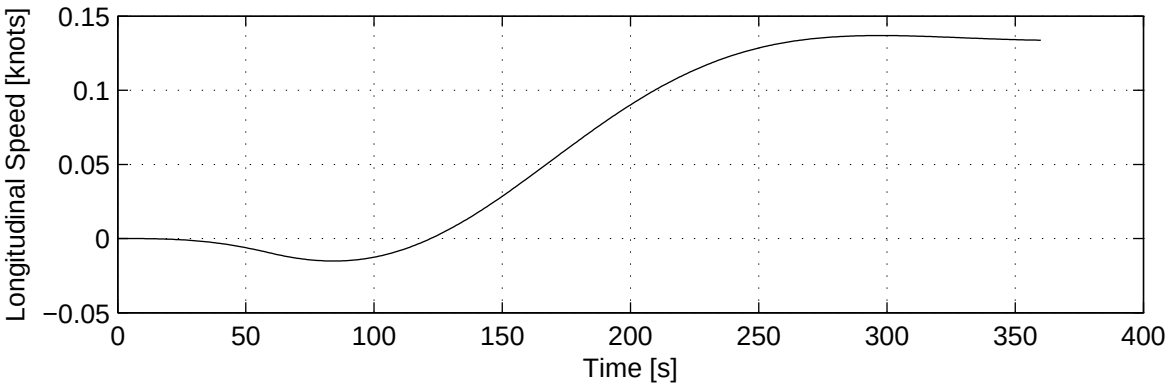
Initial Conditions and Controls

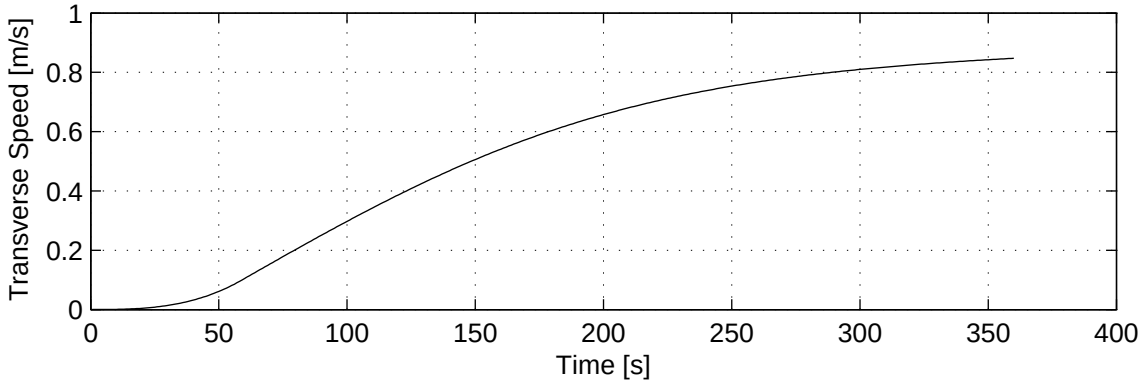
Water depth	: h/T = ∞
Wave height (Hs)	: 3 m
Wave period (Tp)	: 9.1 s
Wave direction	: 90 deg

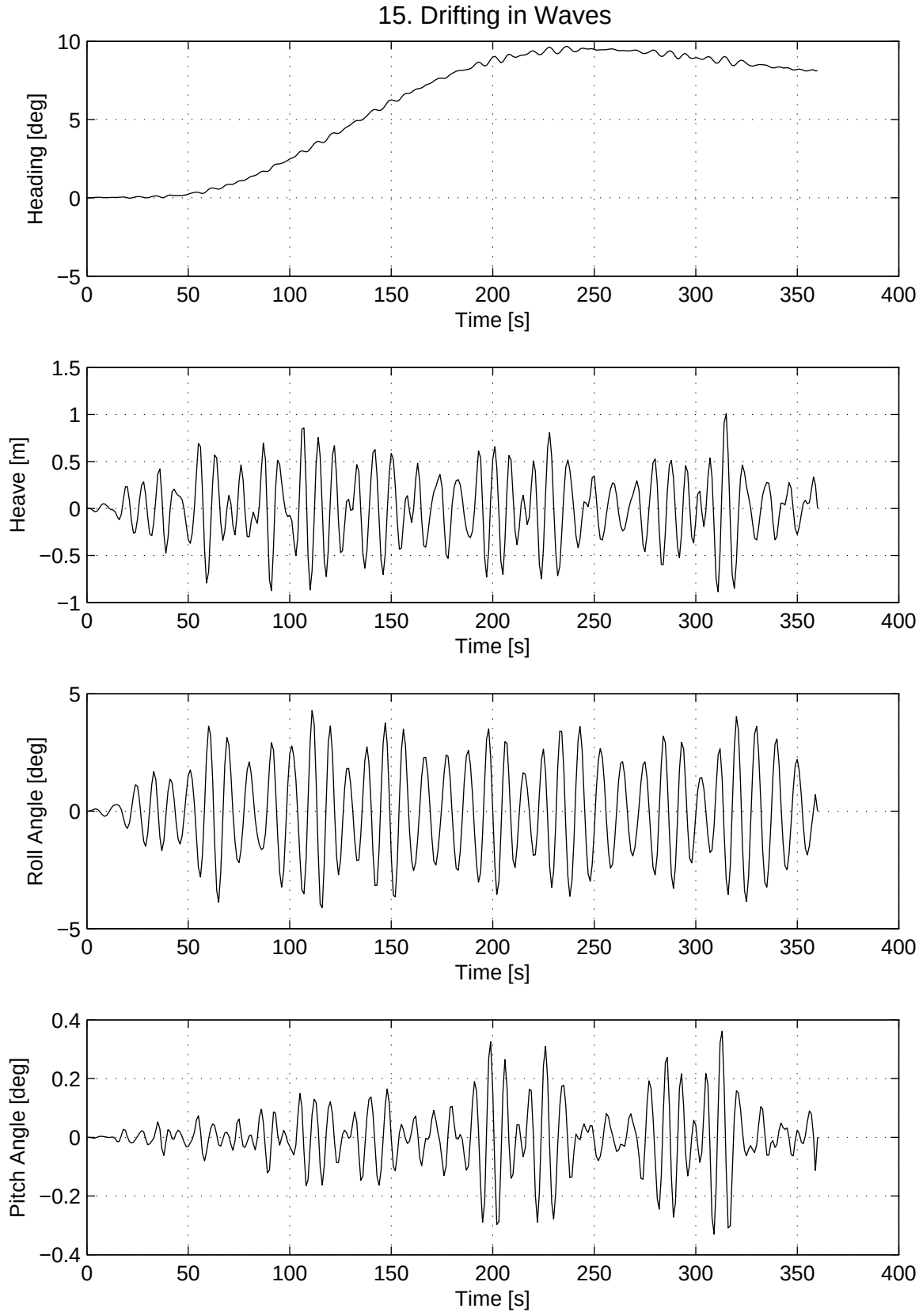
Results and Equilibrium Values

Longitudinal Speed	: 0.1 knots
Transverse Speed	: 0.8 m/s
Maximum Roll Angle	: 4.3 deg








15. Drifting in Waves
Heading [deg]
Time [s]
Heave [m]
Time [s]
Roll Angle [deg]
Time [s]
Pitch Angle [deg]
Time [s]

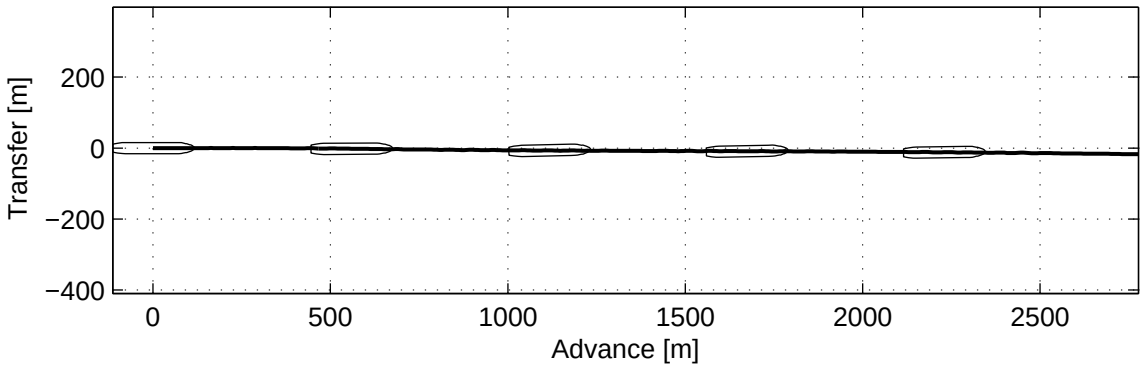
16. Sailing with Autopilot in Waves

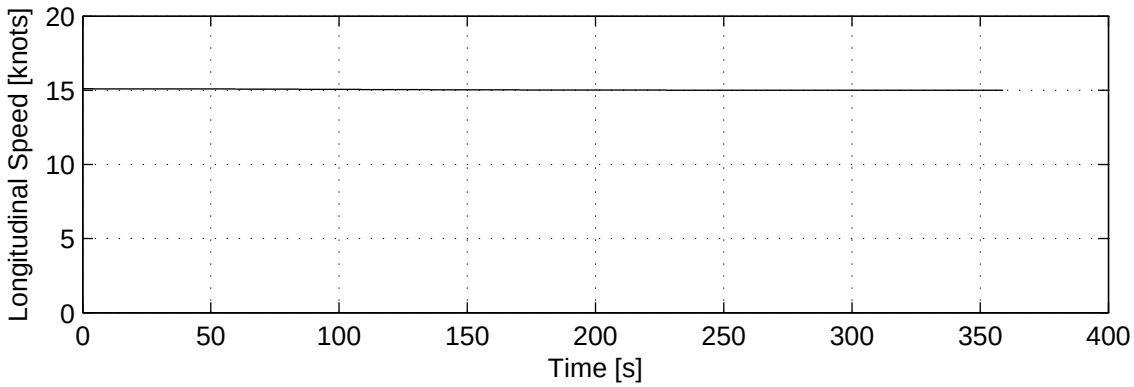
Initial Conditions and Controls

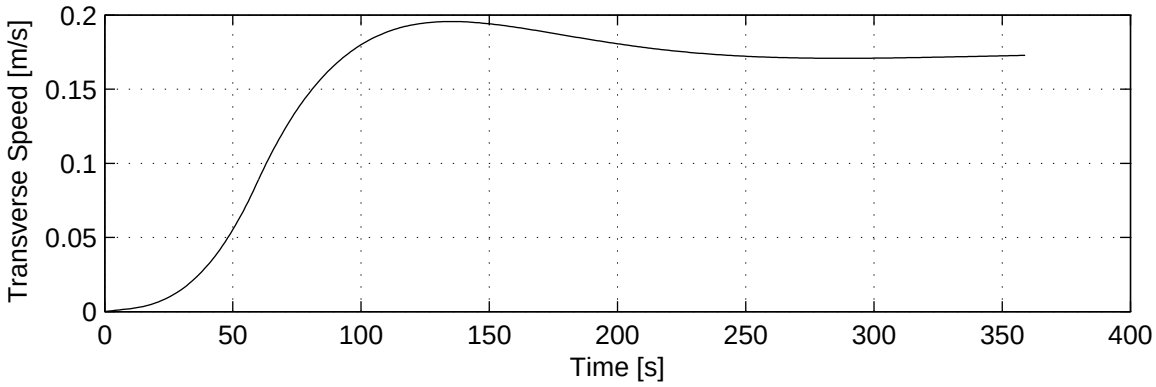
Water depth	: h/T = ∞
Wave height (Hs)	: 3 m
Wave period (Tp)	: 9.1 s
Wave direction	: 90 deg

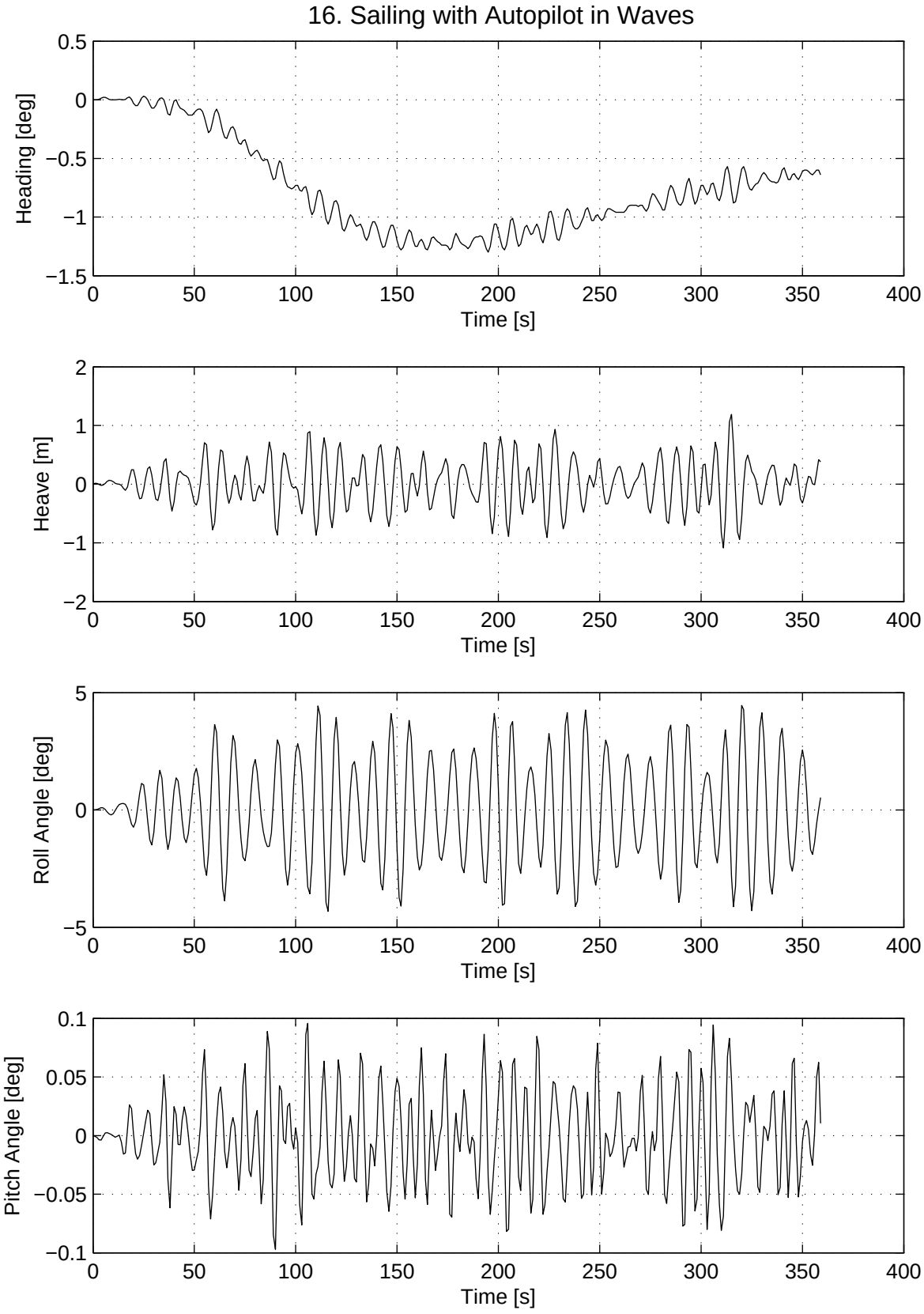
Results and Equilibrium Values

Longitudinal Speed	: 15.0 knots
Transverse Speed	: 0.2 m/s
Maximum Roll Angle	: 4.5 deg








16. Sailing with Autopilot in Waves
Heading [deg]
Time [s]
Heave [m]
Time [s]
Roll Angle [deg]
Time [s]
Pitch Angle [deg]
Time [s]

Mathematical Ship Model No 3895

Gothia

FORCE 2018-09-27

Title of report and Project No.:

Ship Description

Ship 3895

RO-RO

Loaded Condition

Gothia

Client: **DFDS**		*Ref.:* 118-28087			
Author(s): BTJ		*Date:* 2018-09-27			
		Approved by:			
Revision	*Description*	*By:*	*Checked:*	*Approved:*	*Date:*
1	Original version	btj			2018-09-27

Keywords: Manoeuvring characteristics Ship characteristics Equilibrium speeds	*Classification:* Open Internal **X** Confidential

List of Contents

Page

1 Ship Description 1
2 Basis for Mathematical Ship Model 1
3 Manoeuvring Characteristics 2
4 Ship Particulars 3
5 Equilibrium Speeds 4

Appendix A: Plots of Standard and Check Manoeuvres

Appendix B: Plots of Shallow water and Check Manoeuvres

Nomenclature and Definitions

LCB	Longitudinal centre of buoyancy
L_{pp}	Length between perpendiculars
R	Radius of propeller
T	Draught

The ship is defined in a right-hand coordinate system with x positive forward and y positive to starboard. The path of the ship is referred to the origin of the ship, i.e. at the intersection between amidships and the centreline. Rudder angles are defined positive to port.
Wind direction: Wind coming from [angle]
Wave direction: Waves going to [angle]
Current direction: Current going to [angle]

1 Ship Description

The Ro-Ro ship is 237.4 m long and 33.00 m wide. The actual loaded condition has a mean draught of 7.00 m. It is equipped with two Becker flap rudders and two CP propellers driven by engines of 14240 kW each. The service speed at the given draught is 21.8 knots. The vessel is equipped 2 bow thruster of 2350 kW each.

2 Basis for Mathematical Ship Model

The maneuvering capabilities of the mathematical model of the ship are based on tank test data performed at HSVA delivered by client. The seakeeping properties of the ship have been scaled from a similar model to fit the conditions of the present ship. Wind load data has been obtained from wind tunnel test measurements for a similar ship.

The basis for the mathematical ship model is summarized in Table 2-1.

Effect (device)	Scaled from similar model	Predicted using database tool (ShipYard)	Specific model tests (PMM / wind tunnel)	Specific calculations (CFD / OMEGA)	Full scale trial data
Hull hydrodynamics			X		
Shallow water effects		X			
Propulsion & rudder	X		X		
Thrusters	X				
Wave loads				X	
Wind loads	X				
Bank effects	X				
Ship-ship interaction	X				
Hydrostatic forces	X				
Engine characteristic	X				
Anchor characteristic	X				

Table 2-1: Basis for Mathematical Ship Model

3 Manoeuvring Characteristics

The ships turning ability is very good as demonstrated by the turning circle test, and the yaw-checking ability is good with overshoot angles well below the IMO standards. The stopping ability is excellent.

The main manoeuvring characteristics of the ship model are listed in Table 3-1.

Parameter	**RO-RO**	**IMO limit**
Turning circle, Advance	2.6 · L_{pp}	4.5 · L_{pp}
Turning circle, Tactical diameter	2.9 · L_{pp}	5.0 · L_{pp}
10/10 zig-zag, 1st overshoot angle	11.5 deg	16.6 deg
10/10 zig-zag, 2nd overshoot angle	18.9 deg	34.9 deg
20/20 zig-zag, 1st overshoot angle	13.7 deg	25.0 deg
Crash stop, Track reach	3.5 · L_{pp}	15 · L_{pp}

Table 3-1: Manoeuvring Characteristics

Track plots and time series from simulated standard manoeuvres are given in Appendix A and B.

4 Ship Particulars

Type of ship Condition Ship No.		**RO-RO Loaded 3895**
Length between Perpendiculars	m	232.0
Length overall	m	237.4
Breadth moulded	m	33.00
Depth moulded	m	23.2
Draught fore/aft	m	7.00 / 7.00
Displacement	m^3	33724
Wetted Surface	m^2	8111
Frontal wind Area	m^2	1248
Lateral wind Area	m^2	6177
Block Coefficient based on L_{pp}	-	0.629
Trim by the Stern	%	0.00
Metacentric Height	m	2.0
LCB, % of L_{pp} forw. of $L_{pp}/2$	%	0.69
Radius of Inertia, % of L_{pp}	%	35.00
Type of Engine		DIESEL
Number of Propellers		2
Type of Propellers		CP
Direction of Rotation		Inward
Number of Blades		4
Propeller Diameter	m	5.75
Pitch Ratio at 0.7·R		1.22
Area Ratio (HSVA report)		0.59
Shaft Power (ahead) total	kW	28.480
Number of Rudders		2
Type of Rudders		Becker flap type
Position		Off center
Area of Rudder (movable part)	m^2	22.74 each
Total rudder Area/(L_{pp} x T)	%	2.80
Turning Velocity of Rudder (two Pumps)	deg./s	6.0
Max. rudder Angle	deg.	45.0
Anchor Weight	kg	9763
Chain Weight	kg/m	154
Number of bow Thrusters		2
Nominal bow thruster Power (total)	kW	4700 ~ 62.0 t
Number of stern Thrusters		0
Nominal stern thruster Power	kW	0

Table 4-1: Ship Particulars

5 Equilibrium Speeds

Engine	RPM	P/D	Deep [kn]	Shallow [kn]
Full Ahead	117	1.18	21.8	Grounded
Sea	101	1.22	19.4	Grounded
Half Ahead	82	1.07	14.8	12.3
Slow Ahead	82	0.48	7.1	6.8
Dead Slow Ahead	82	0.18	3.1	2.9
Dead Slow Astern	84	-0.15	-2.2	-1.4
Slow Astern	89	-0.39	-5.0	-4.0
Half Astern	98	-0.77	-9.4	-8.4
Full Astern	117	-1.22	-13.0	-10.9

Table 5-1: Propeller RPM and pitch, and equilibrium speeds for various handle settings for two water depths: deep water and shallow water corresponding to 1.2 times the mean draught.

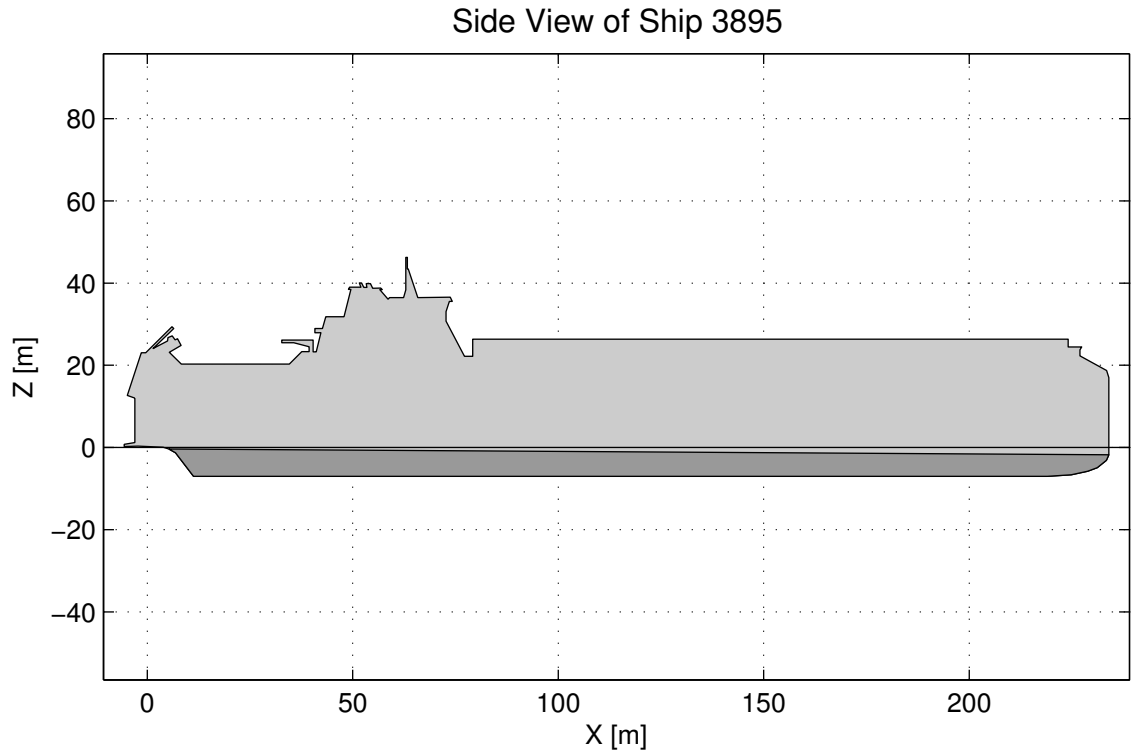
Appendix A

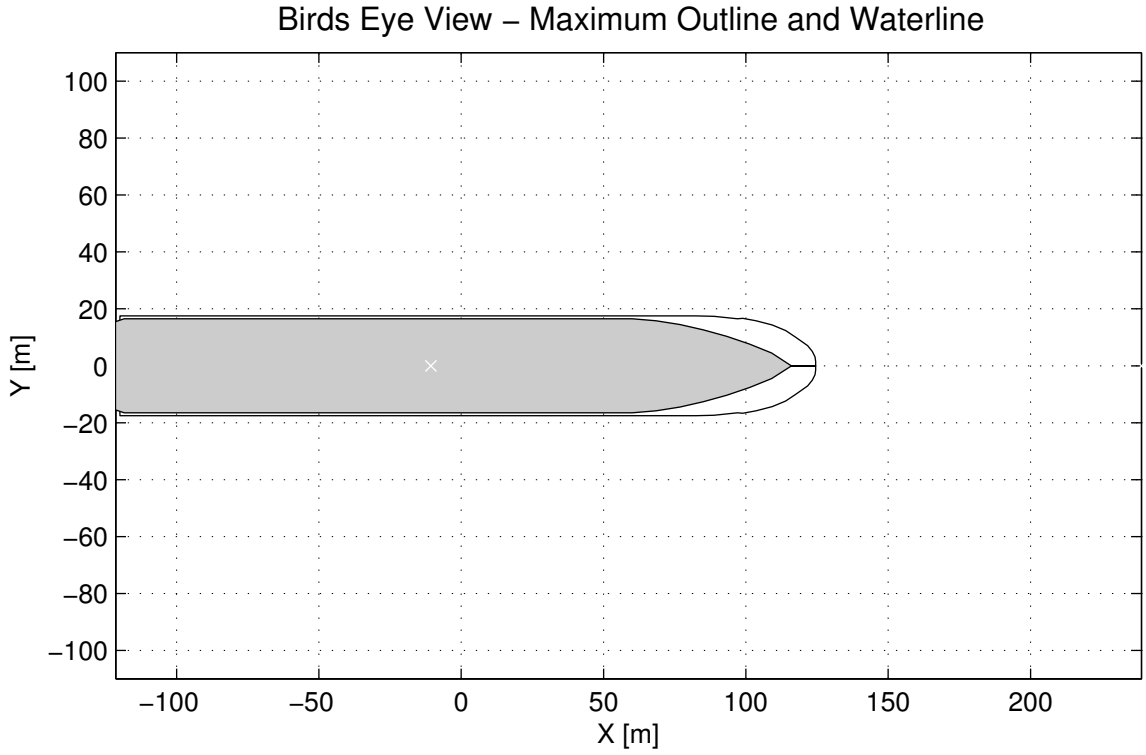
Mathematical Ship Model No. 3895 Gothia

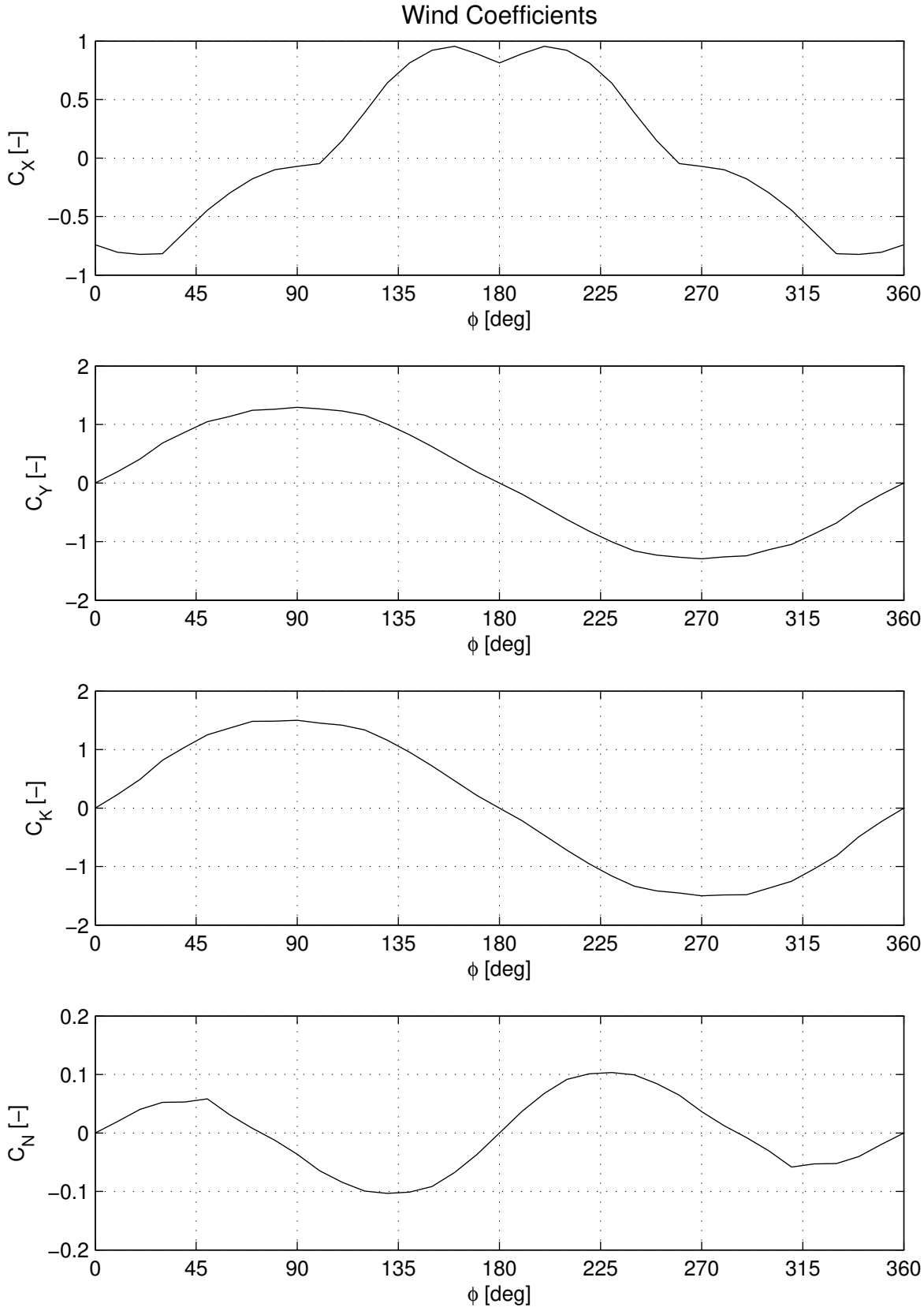
Plots of Standard and Check Manoeuvres

List of Contents

Side View and Birds Eye View	3
Wind Coefficients	4
1. Turning Circle Starboard	5
2. Turning Circle Port	7
3. Zig–zag 10/10	9
4. Zig–zag 20/20	10
5. Acceleration	11
6. Crash Stop	12
7. Coasting Stop	13
8. Going Astern	14
9. Combined Dieudonne– and Reverse Spiral	15
10. Drifting in Wind	16
11. Sailing with Autopilot in Wind	18
12. Drifting in Current	20
13. Sailing with Autopilot in Current	22
14. Drifting in Waves	24
15. Sailing with Autopilot in Waves	26


Side View of Ship 3895
Z [m]
X [m]
80
60
40
20
0
−20
−40
0
50
100
150
200


Birds Eye View – Maximum Outline and Waterline
Y [m]
X [m]
100
80
60
40
20
0
−20
−40
−60
−80
−100
−100
−50
0
50
100
150
200


Wind Coefficients
C_X [–]
C_Y [–]
C_K [–]
C_N [–]
ϕ [deg]
0
45
90
135
180
225
270
315
360

1. Turning Circle Starboard
Advance [m]
Transfer [m]
800
600
400
200
0
−200
0
100
200
300
400
500
600
700

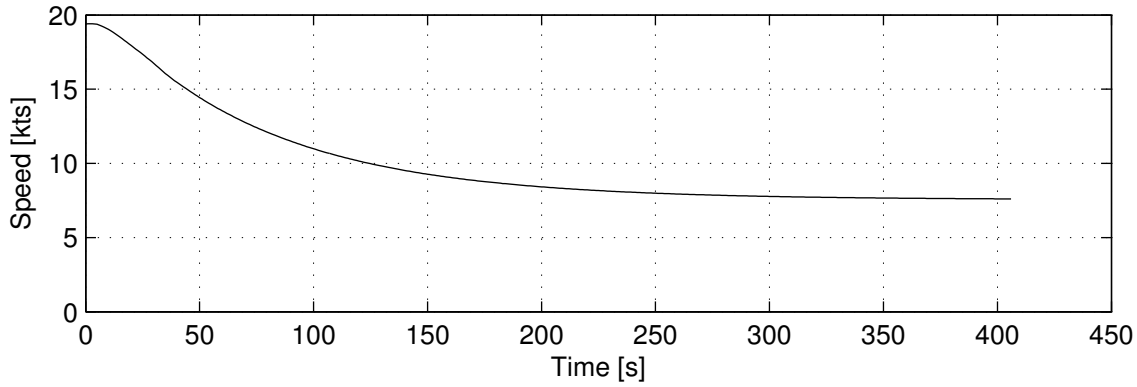
1. Turning Circle Starboard

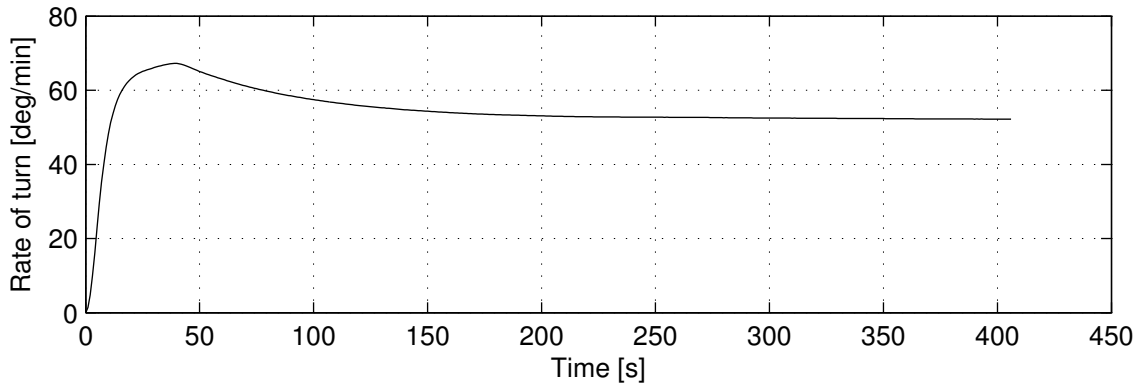
Initial Conditions and Controls

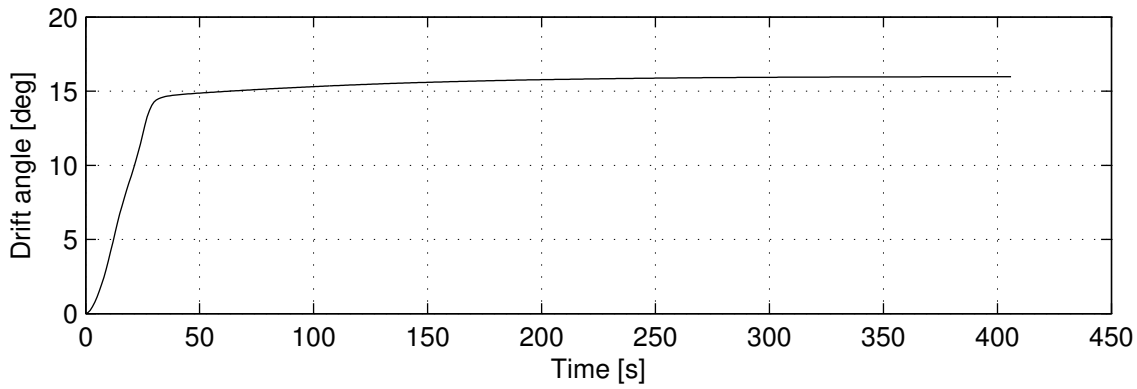
Approach speed	: 19.4 knots
Rudder deflection	: –35 deg
Water depth	: h/T = ∞

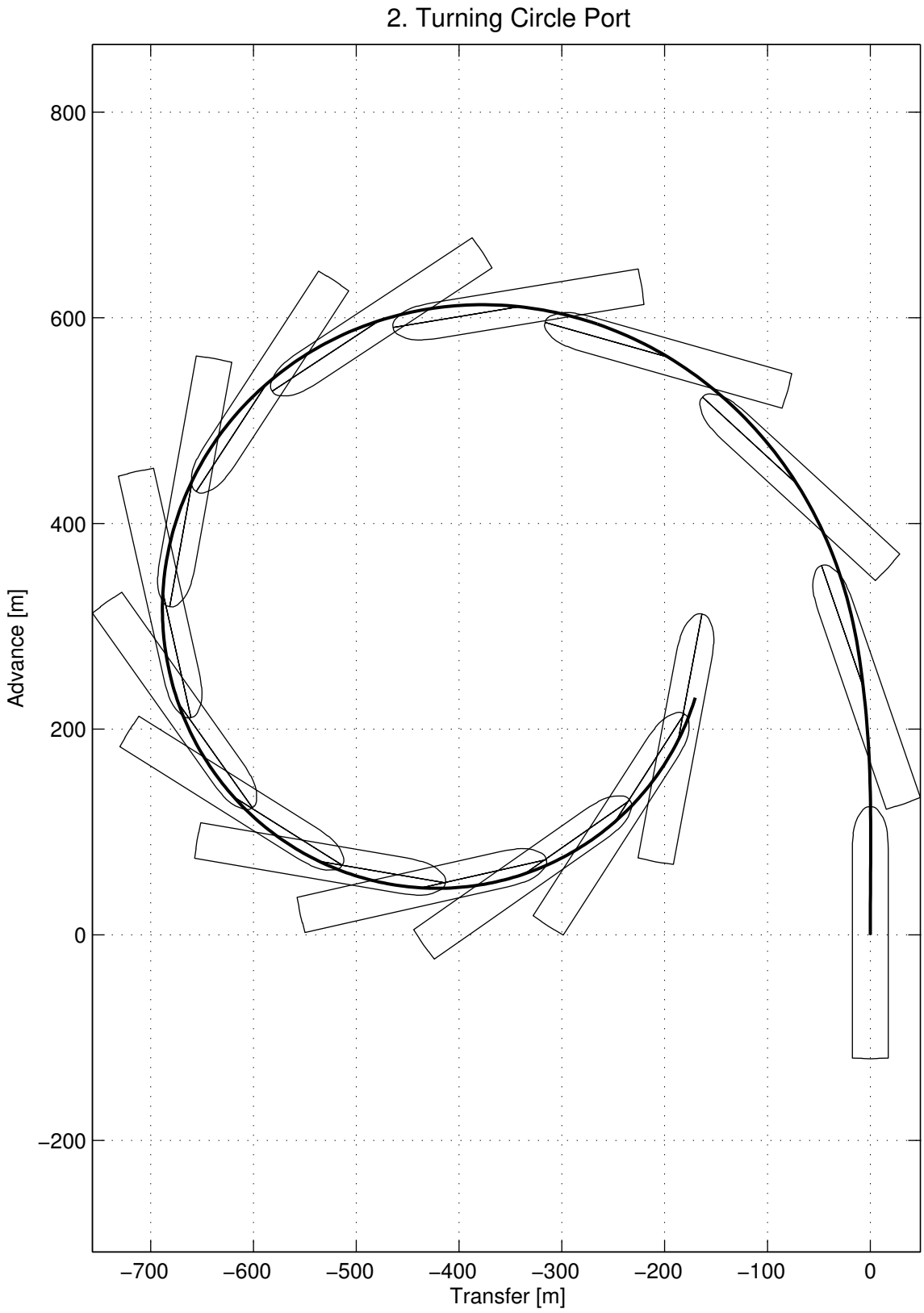
Results and Equilibrium Values

Advance	: 609 m
Transfer	: 292 m
Tactical diameter	: 695 m
Steady diameter	: 534 m








2. Turning Circle Port
800
600
400
200
0
−200
Advance [m]
−700
−600
−500
−400
−300
−200
−100
0
Transfer [m]

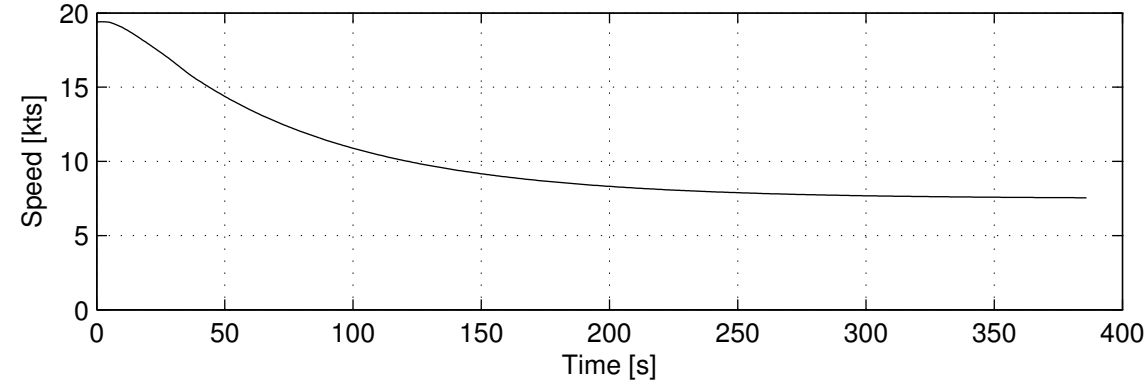
2. Turning Circle Port

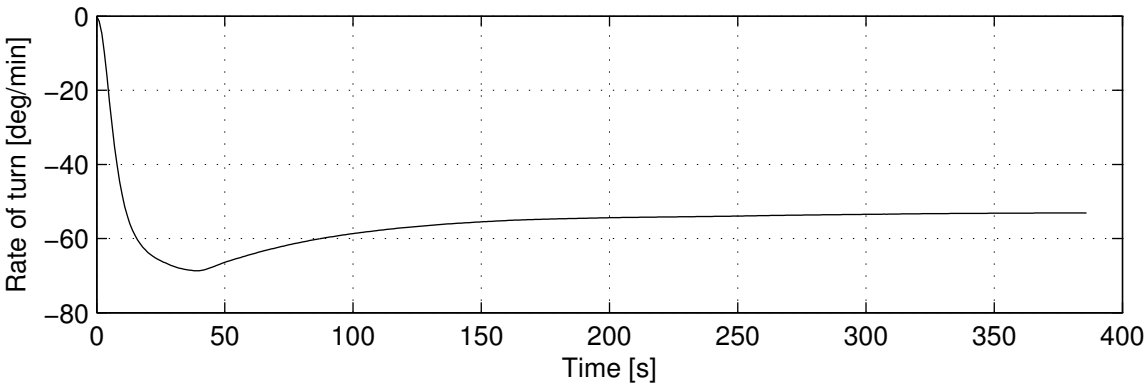
Initial Conditions and Controls

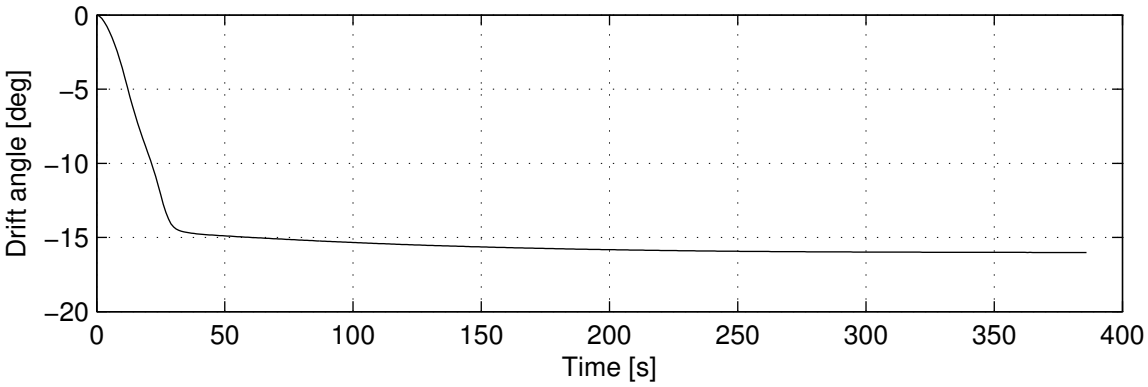
Approach speed	: 19.4 knots
Rudder deflection	: 35 deg
Water depth	: h/T = ∞

Results and Equilibrium Values

Advance	: 601 m
Transfer	: 289 m
Tactical diameter	: 678 m
Steady diameter	: 517 m







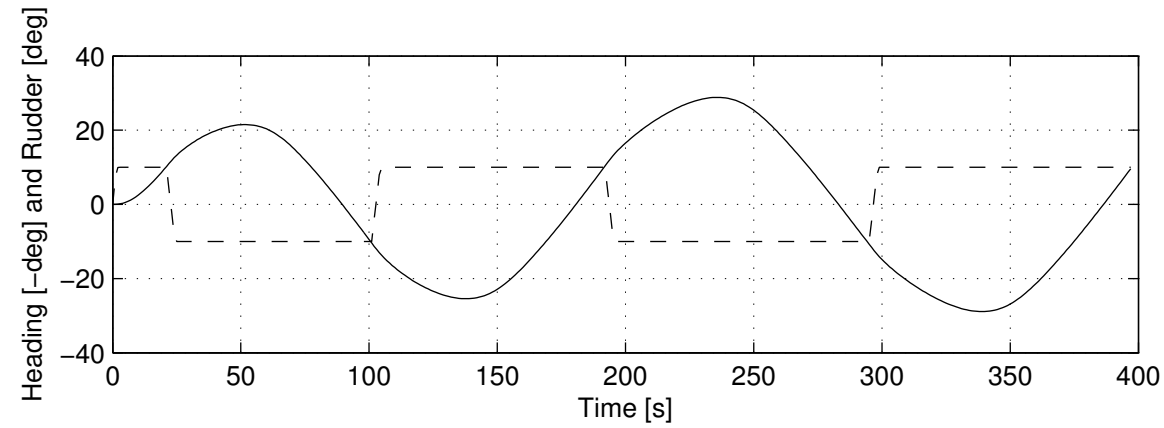
3. Zig–zag 10/10

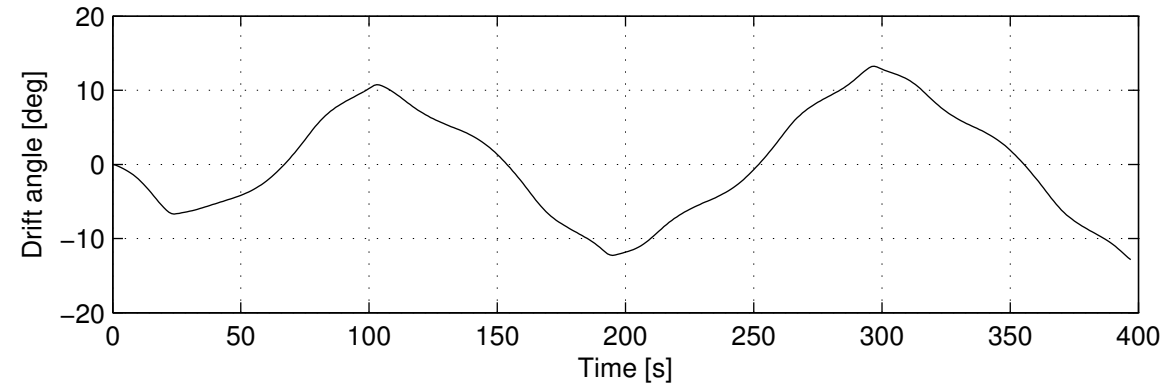
Initial Conditions and Controls

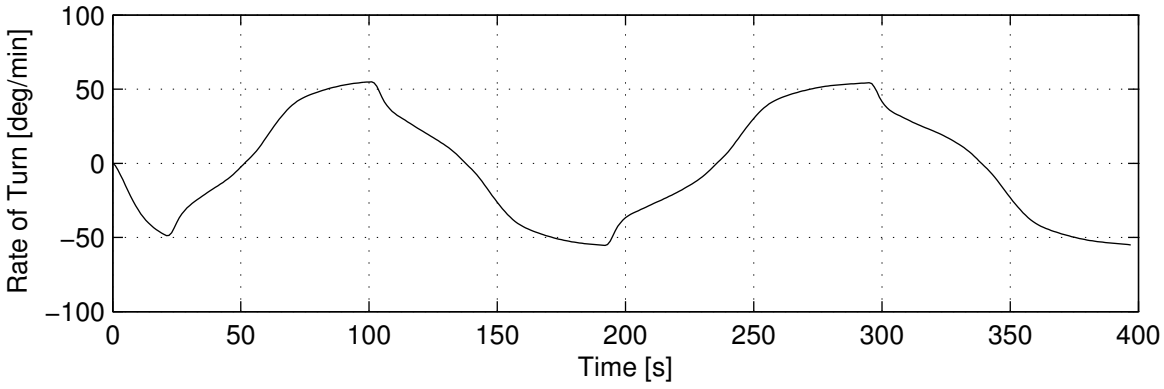
Approach speed	: 19.4 knots
Rudder/heading deflection	: 10/10 deg

Results and Equilibrium Values

1st Overshoot Angle	: 11.5 deg
2nd Overshoot Angle	: 18.9 deg
Initial turning ability	: 199 m







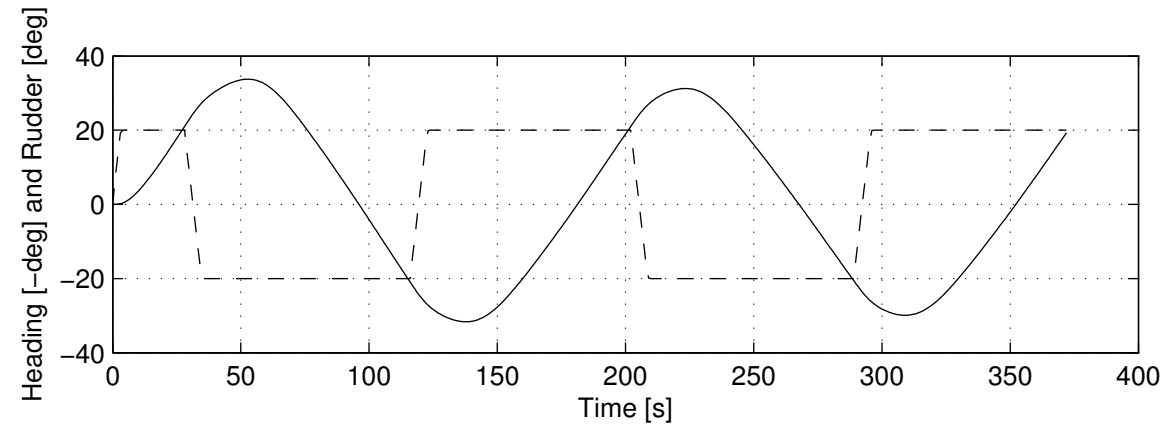
4. Zig–zag 20/20

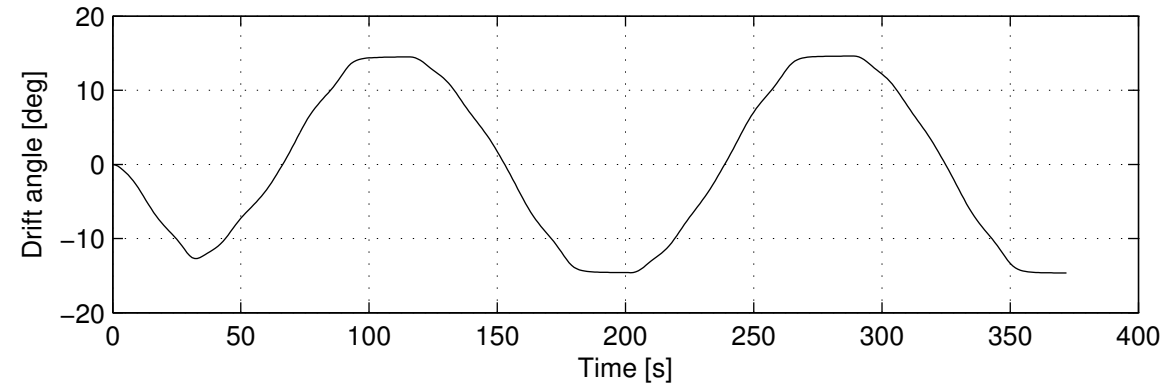
Initial Conditions and Controls

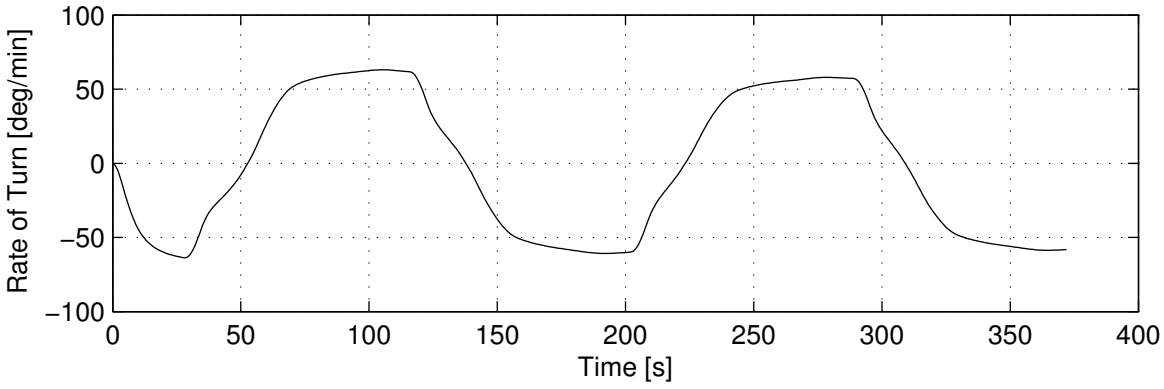
Approach speed	: 19.4 knots
Rudder/heading deflection	: 20/20 deg

Results and Equilibrium Values

1st Overshoot Angle	: 13.7 deg
2nd Overshoot Angle	: 11.7 deg
Initial turning ability	: 265 m







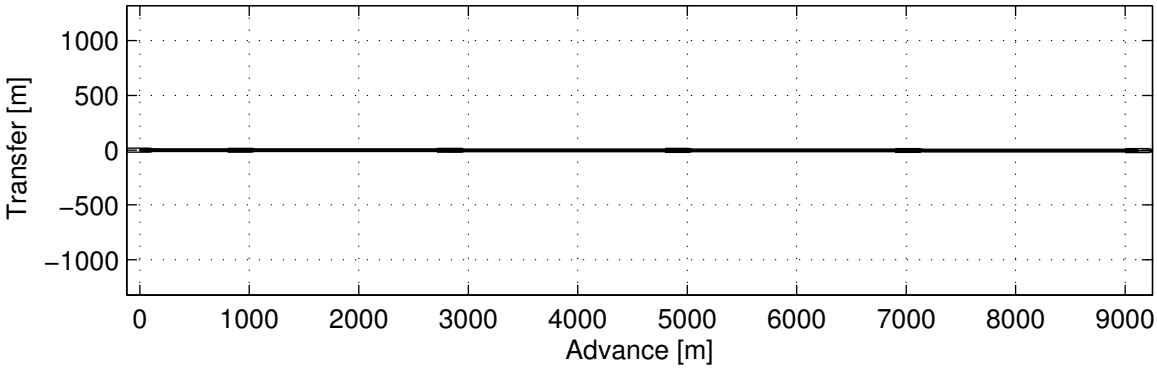
5. Acceleration

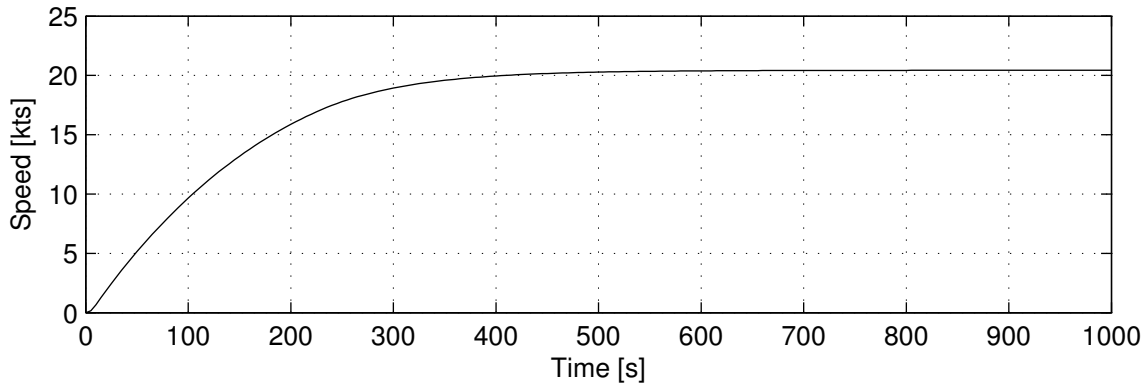
Initial Conditions and Controls

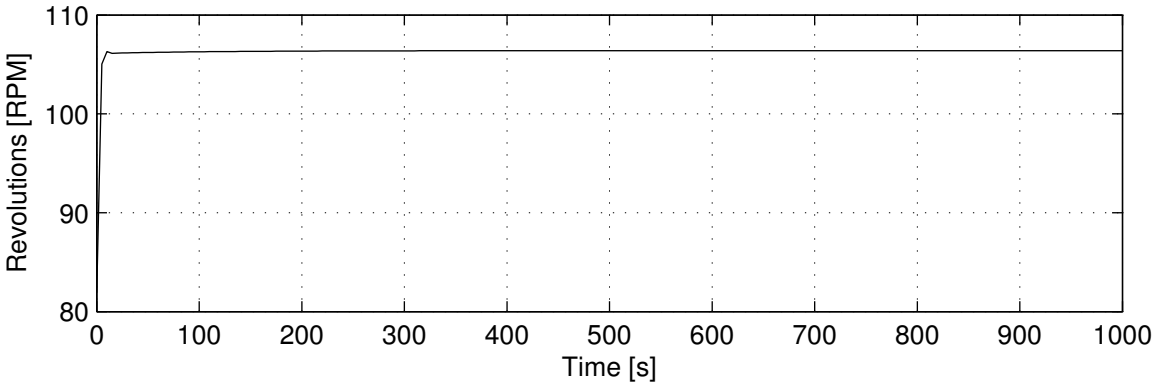
Initial speed	: 0.0 knots
Water depth	: h/T = ∞

Results and Equilibrium Values

Advance	: 9125 m
Speed	: 20.4 knots
Revolutions	: 106.4 RPM
Time	: 1000 s







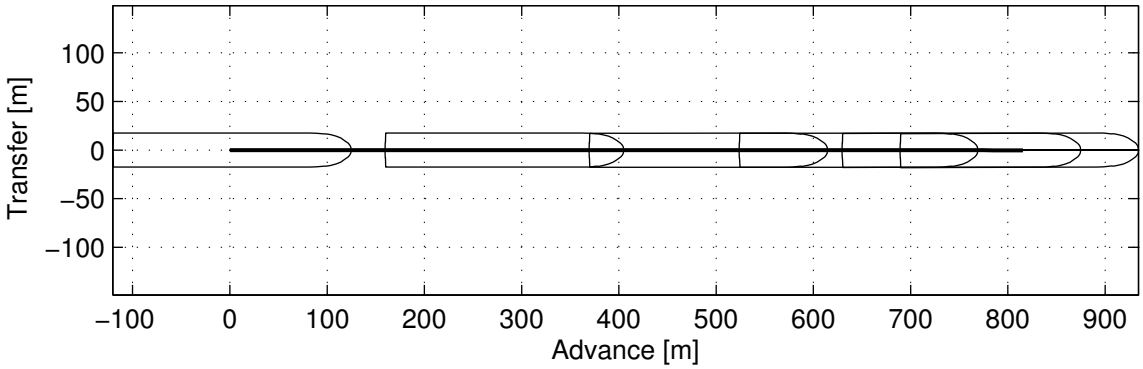
6. Crash Stop

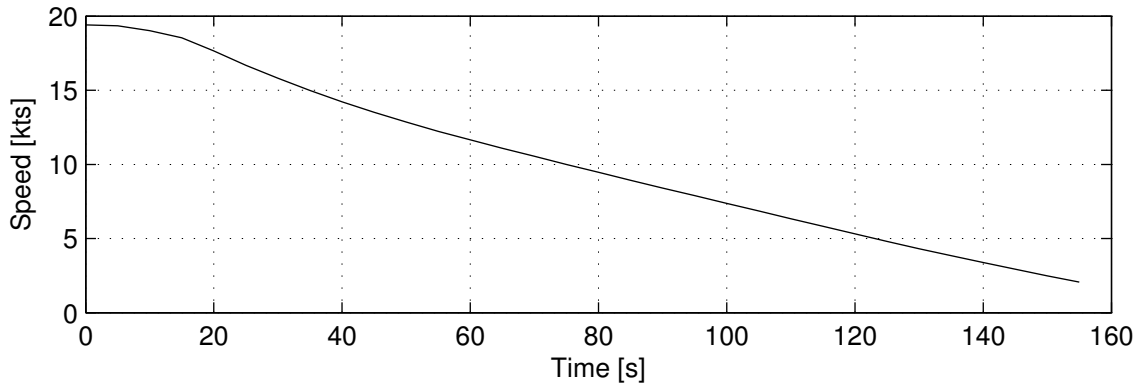
Initial Conditions and Controls

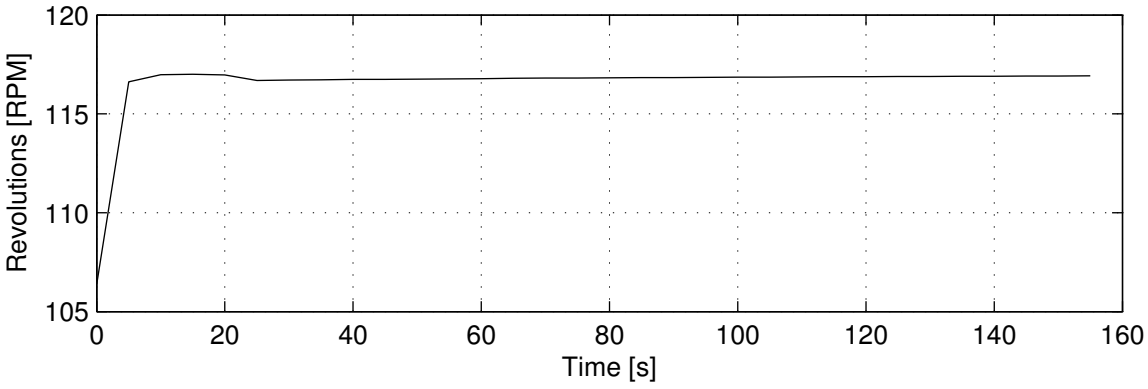
Initial speed	: 19.4 knots
Water depth	: h/T = ∞

Results and Equilibrium Values

Advance	: 816 m
Speed	: 2.1 knots
Revolutions	: 116.9 RPM
Time	: 155 s







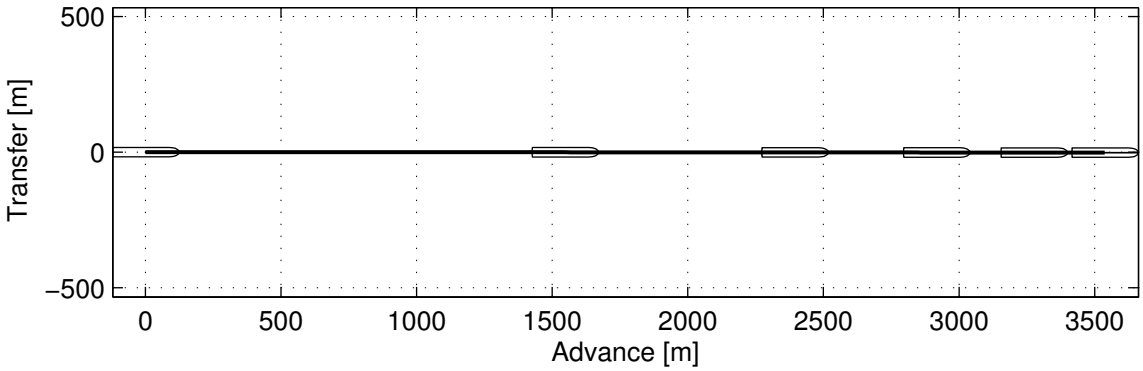
7. Coasting Stop

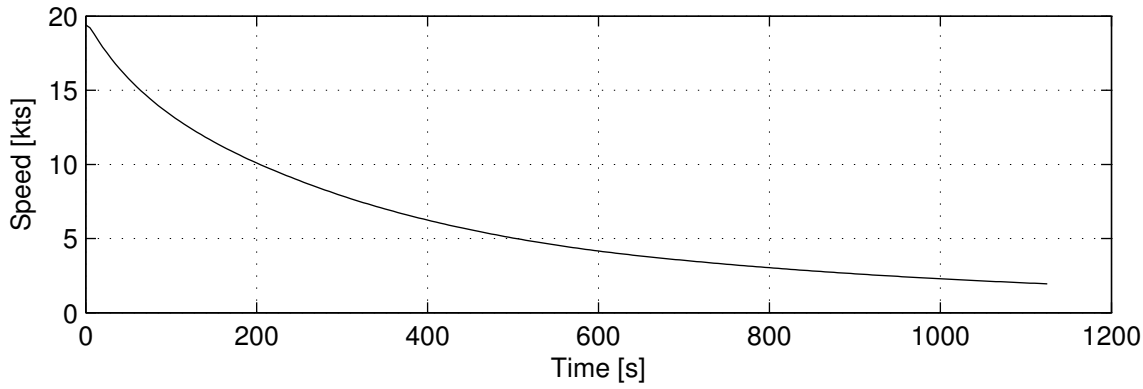
Initial Conditions and Controls

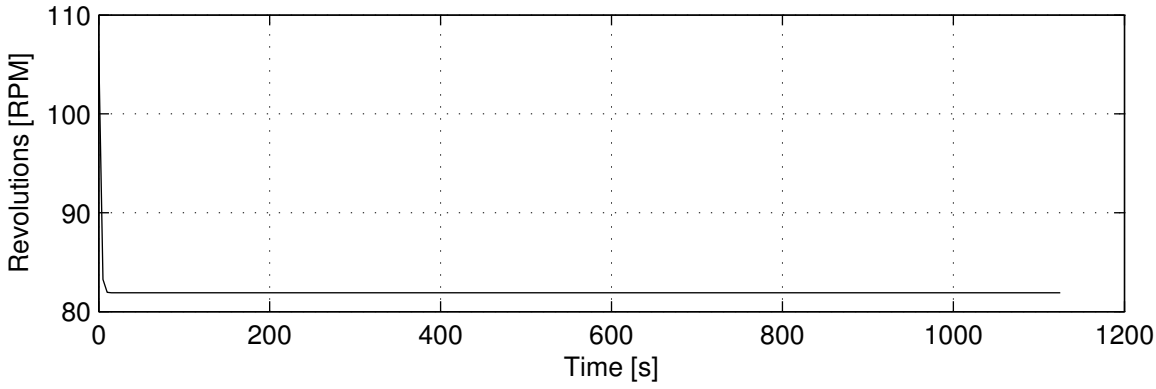
Initial speed	: 19.4 knots
Water depth	: h/T = ∞

Results and Equilibrium Values

Advance	: 3537 m
Speed	: 1.9 knots
Revolutions	: 81.9 RPM
Time	: 1125 s







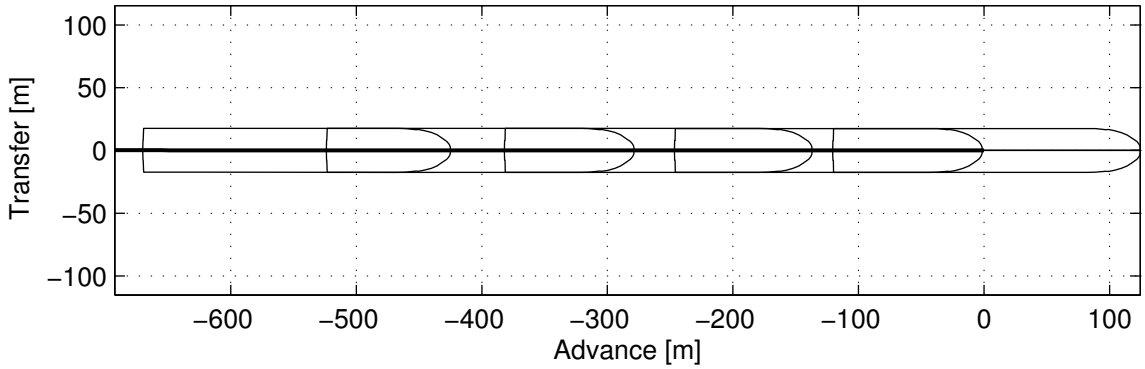
8. Going Astern

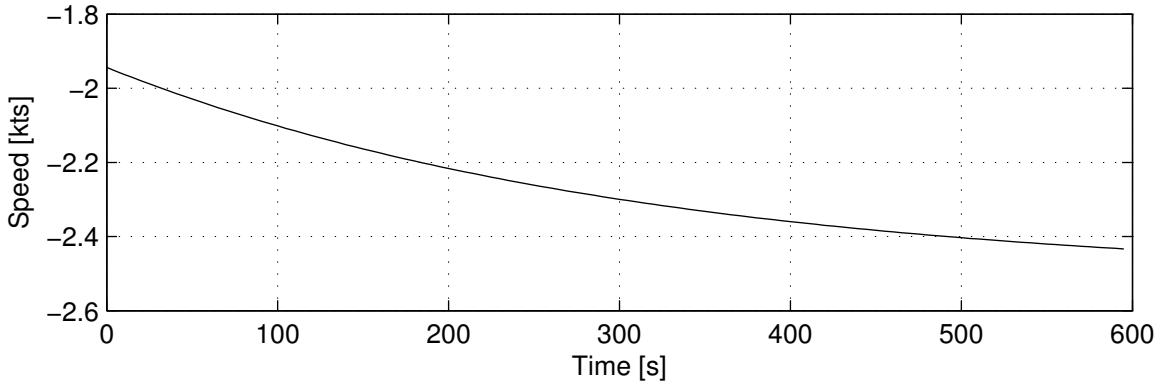
Initial Conditions and Controls

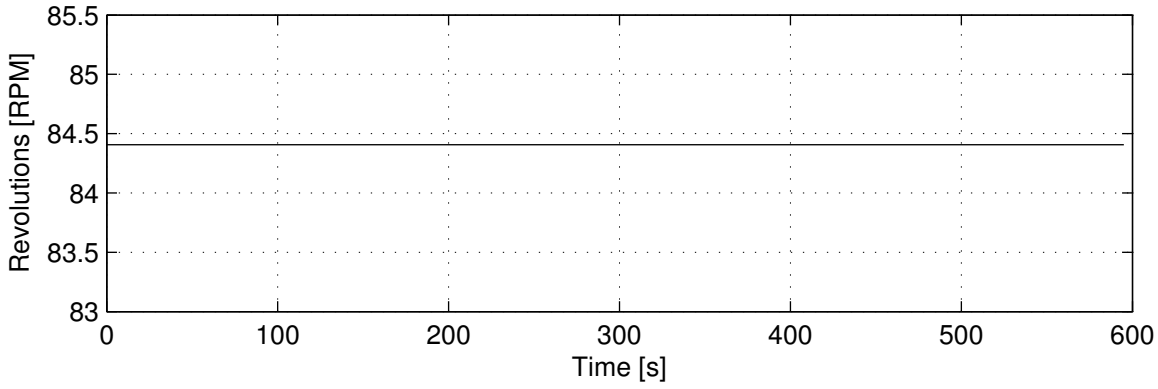
Initial speed	: –1.9 knots
Water depth	: h/T = ∞

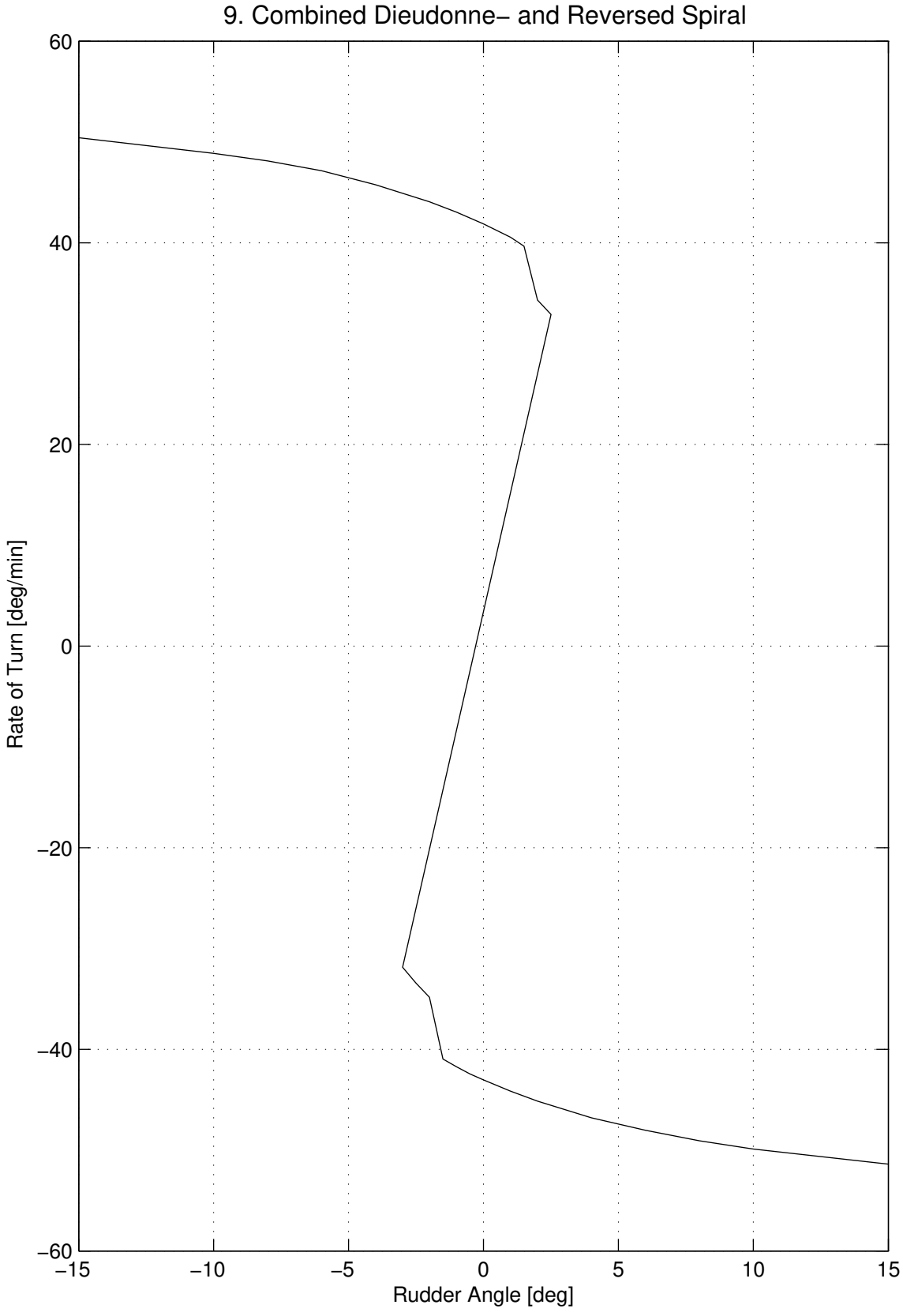
Results and Equilibrium Values

Advance	: –692 m
Speed	: –2.4 knots
Revolutions	: 84.4 RPM
Time	: 595 s








9. Combined Dieudonne– and Reversed Spiral
Rate of Turn [deg/min]
Rudder Angle [deg]
60
40
20
0
–20
–40
–60
–15
–10
–5
0
5
10
15

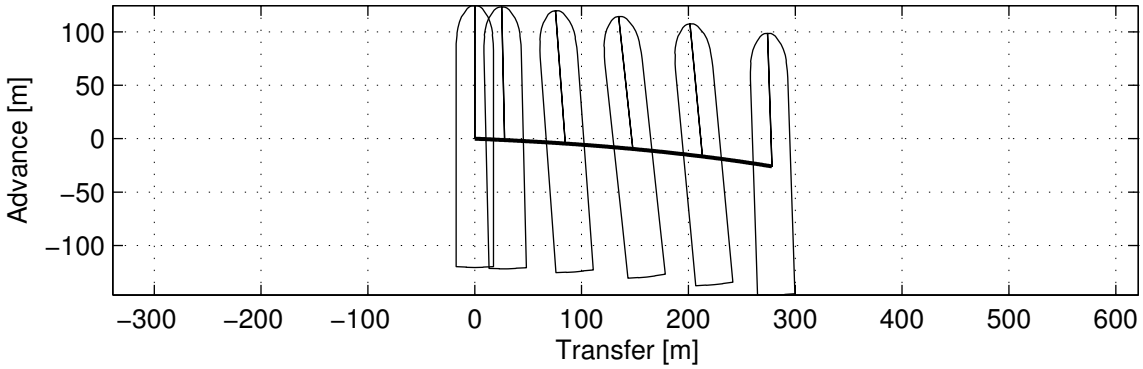
10. Drifting in Wind

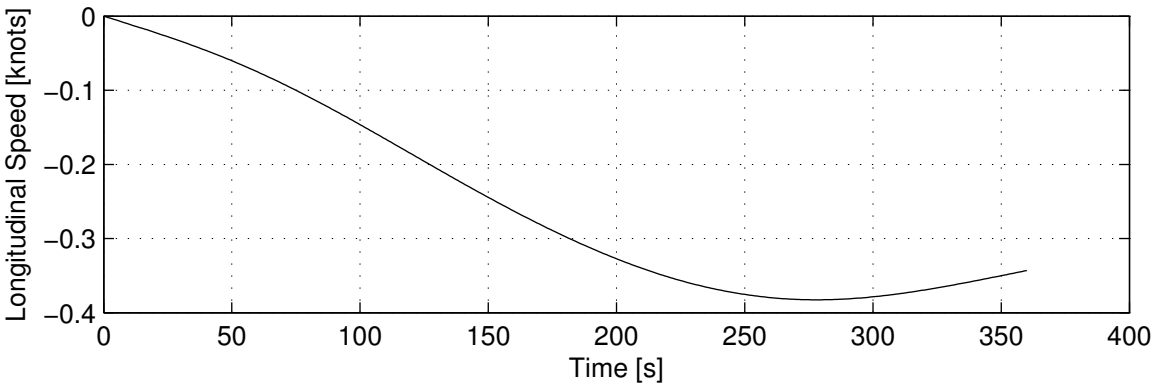
Initial Conditions and Controls

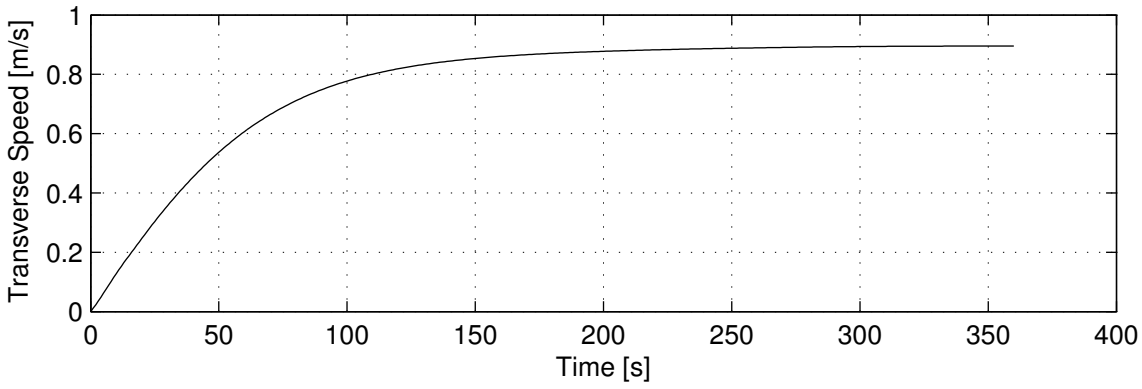
Water depth	: h/T = ∞
Wind speed	: 15 m/s
Wind direction	: 270 deg

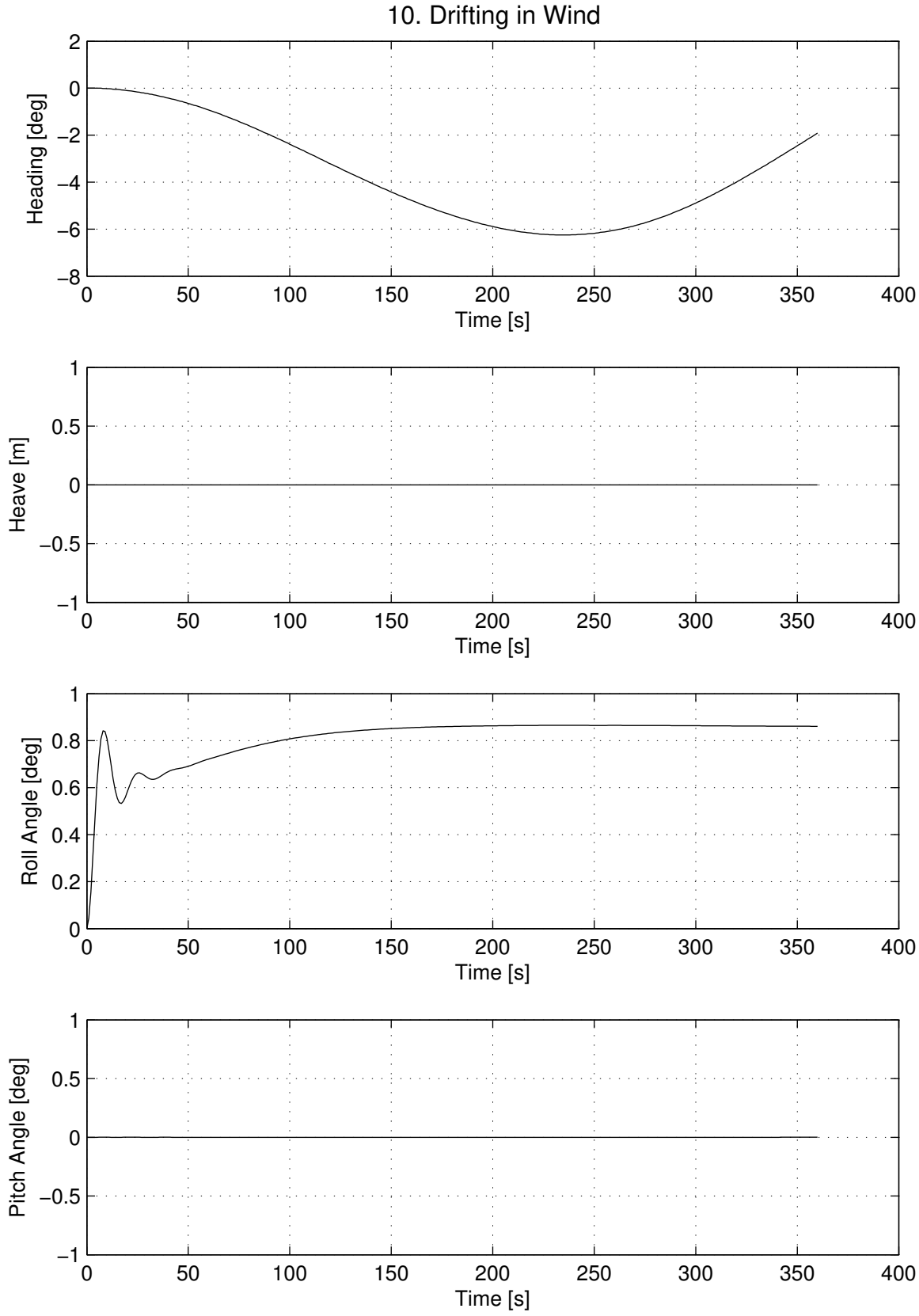
Results and Equilibrium Values

Longitudinal Speed	: –0.3 knots
Transverse Speed	: 0.9 m/s
Roll Angle	: 0.9 deg








10. Drifting in Wind
Heading [deg]
Time [s]
Heave [m]
Time [s]
Roll Angle [deg]
Time [s]
Pitch Angle [deg]
Time [s]

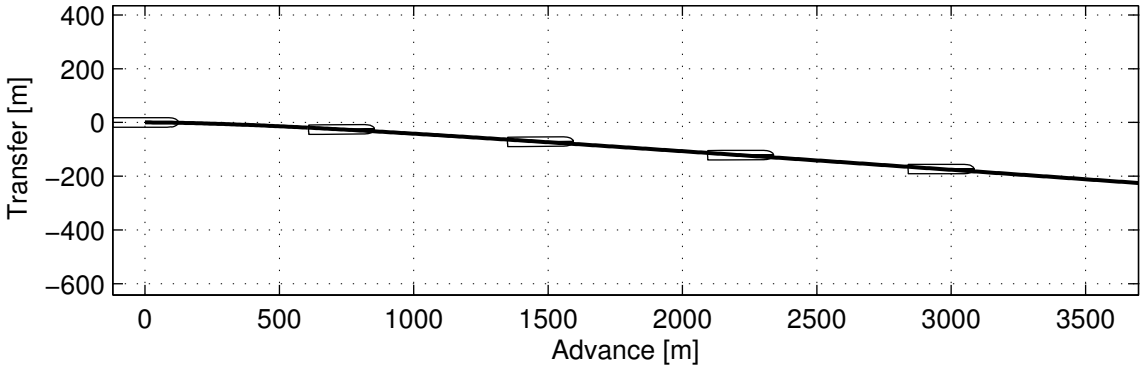
11. Sailing with Autopilot in Wind

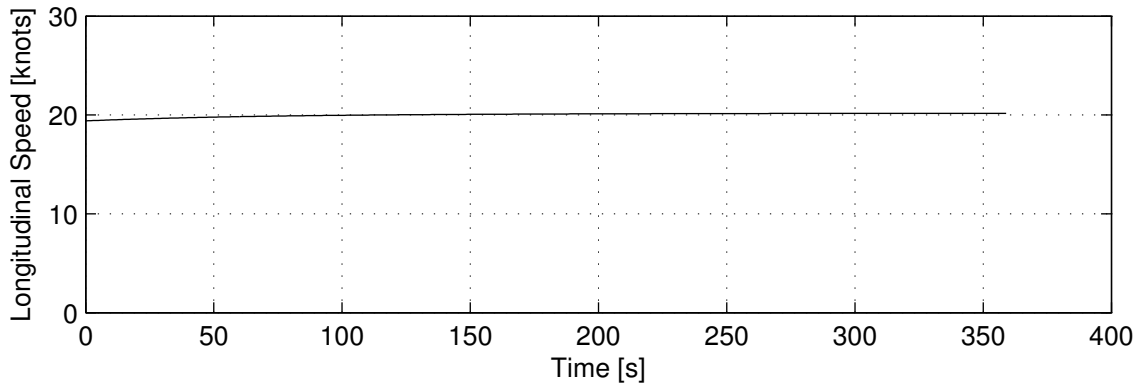
Initial Conditions and Controls

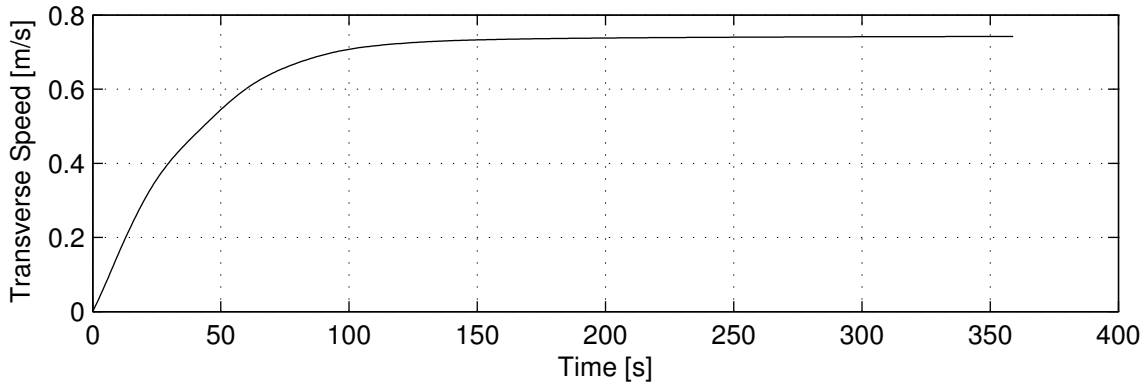
Water depth	: h/T = ∞
Wind speed	: 15 m/s
Wind direction	: 270 deg

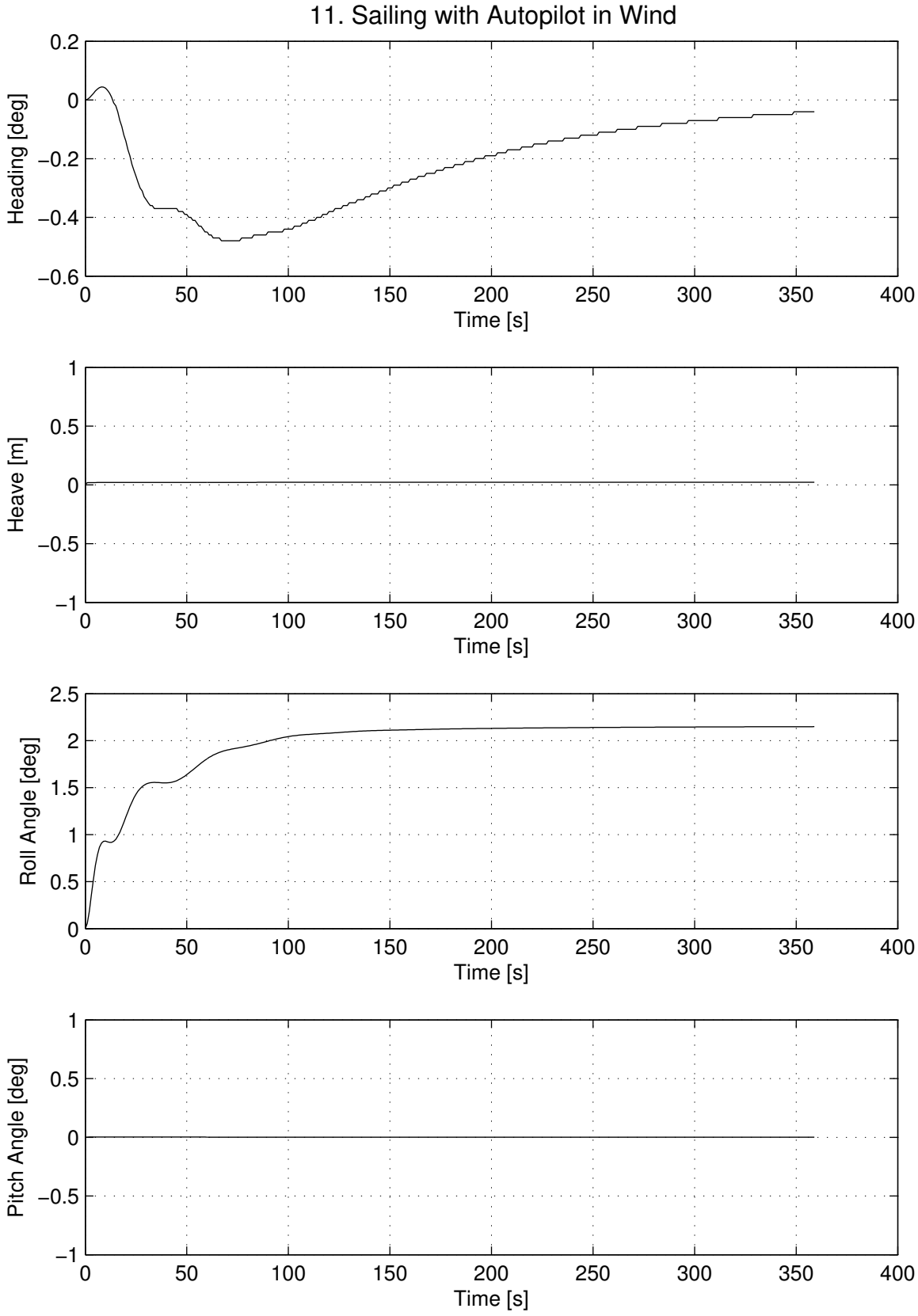
Results and Equilibrium Values

Longitudinal Speed	: 20.2 knots
Transverse Speed	: 0.7 m/s
Roll Angle	: 2.1 deg








11. Sailing with Autopilot in Wind
Heading [deg]
Time [s]
Heave [m]
Time [s]
Roll Angle [deg]
Time [s]
Pitch Angle [deg]
Time [s]

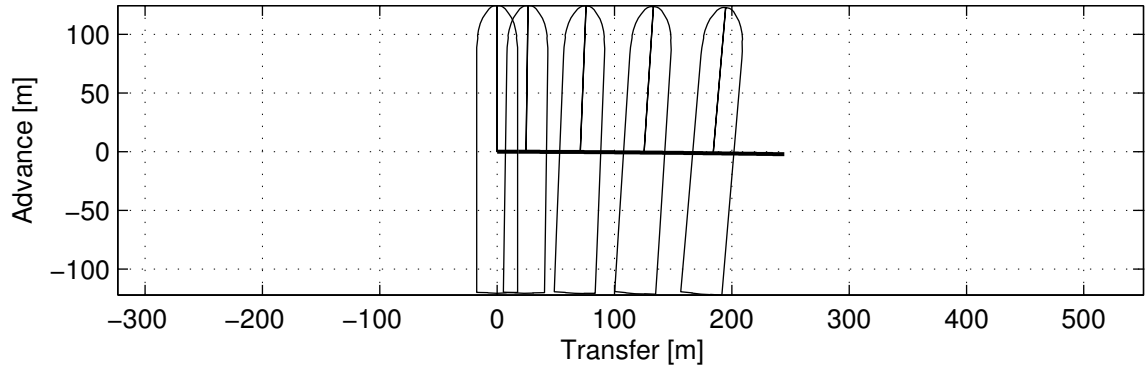
12. Drifting in Current

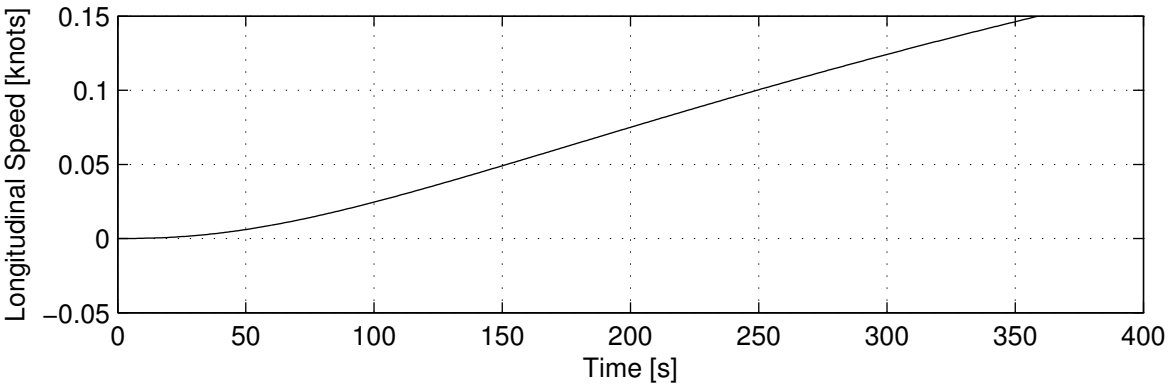
Initial Conditions and Controls

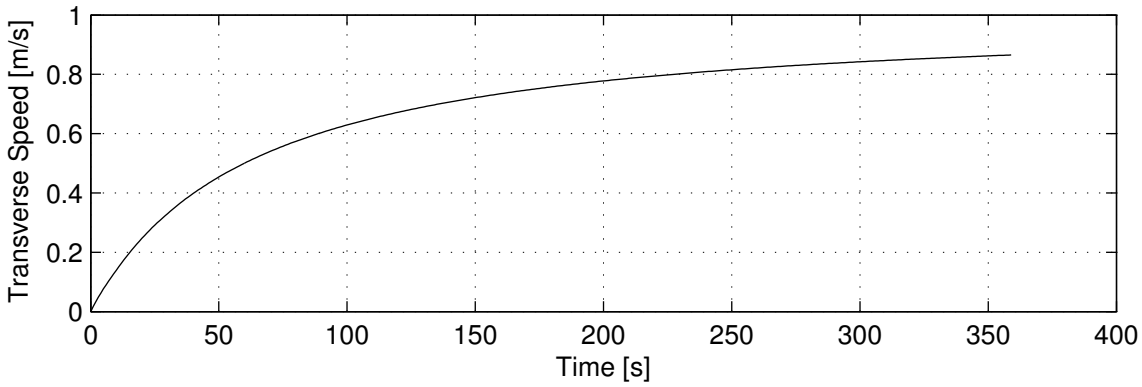
Water depth	: h/T = ∞
Current speed	: 2 knots
Current direction	: 90 deg

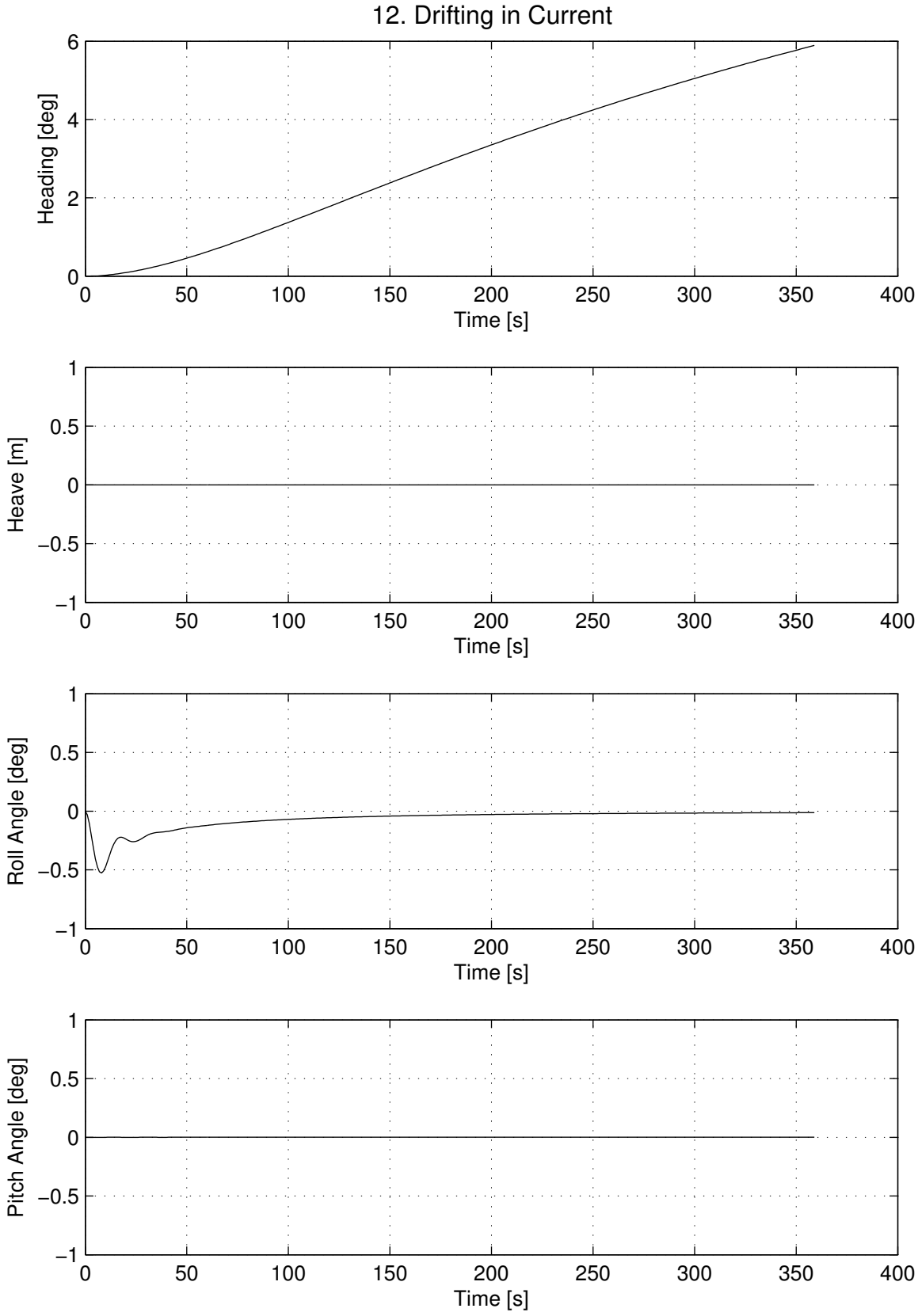
Results and Equilibrium Values

Longitudinal Speed	: 0.1 knots
Transverse Speed	: 0.9 m/s
Roll Angle	: –0.0 deg








12. Drifting in Current
Heading [deg]
Time [s]
Heave [m]
Time [s]
Roll Angle [deg]
Time [s]
Pitch Angle [deg]
Time [s]

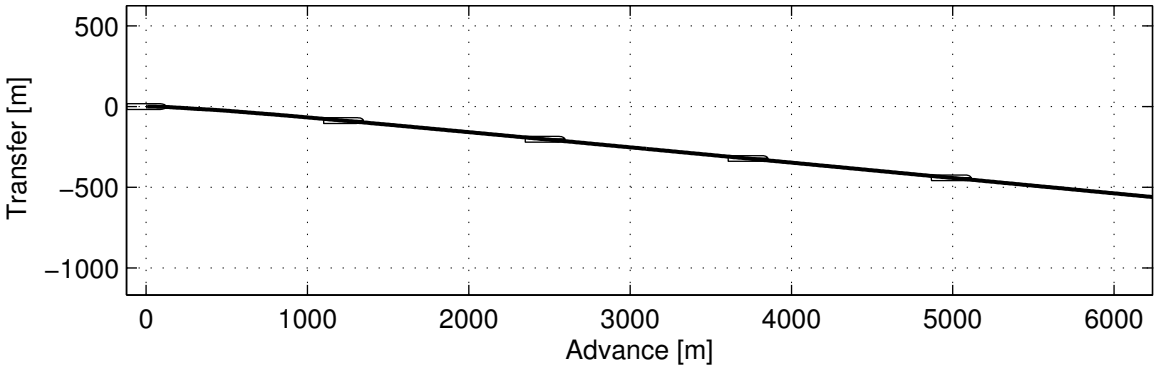
13. Sailing with Autopilot in Current

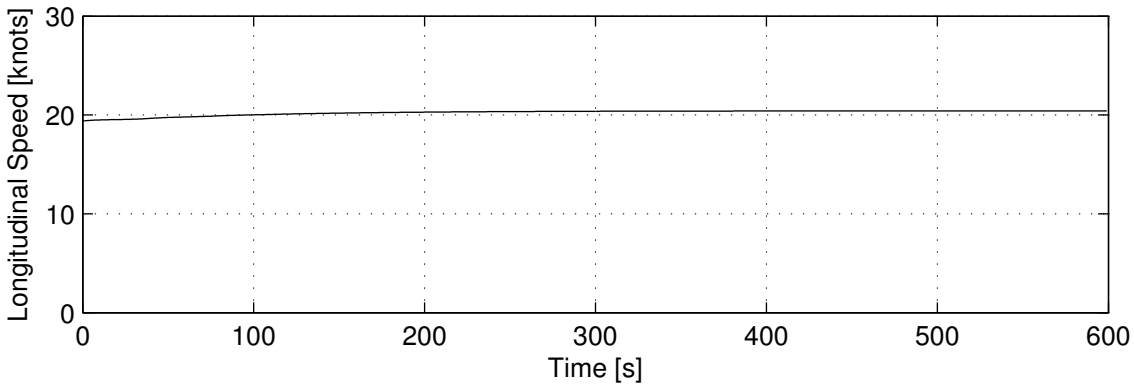
Initial Conditions and Controls

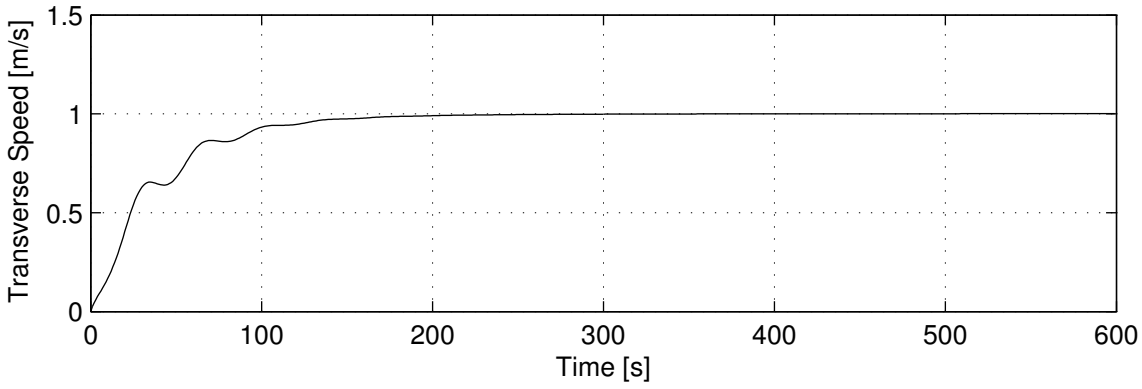
Water depth	: h/T = ∞
Current speed	: 2 knots
Current direction	: 90 deg

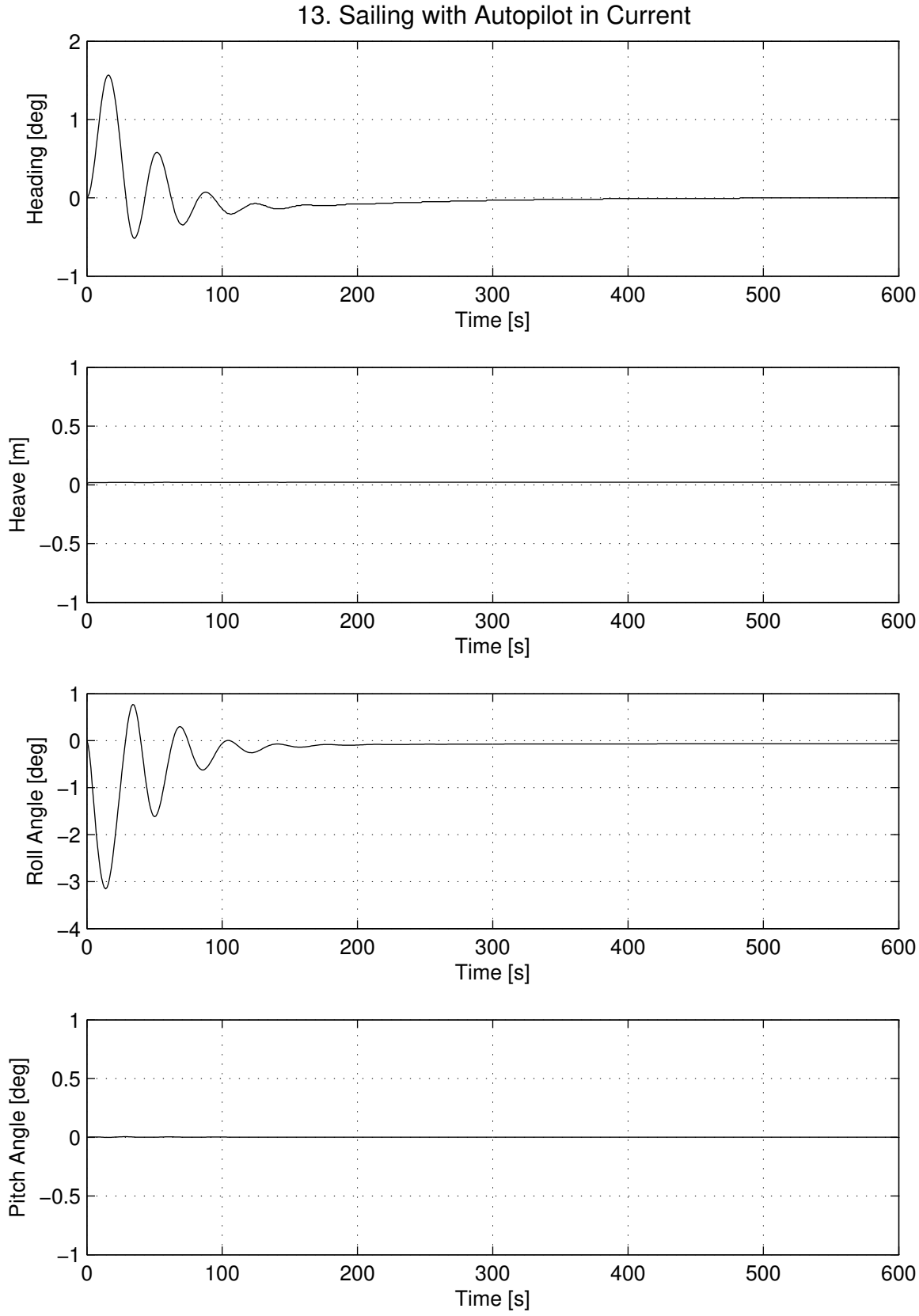
Results and Equilibrium Values

Longitudinal Speed	: 20.4 knots
Transverse Speed	: 1.0 m/s
Roll Angle	: –0.1 deg








13. Sailing with Autopilot in Current
Heading [deg]
Time [s]
Heave [m]
Time [s]
Roll Angle [deg]
Time [s]
Pitch Angle [deg]
Time [s]

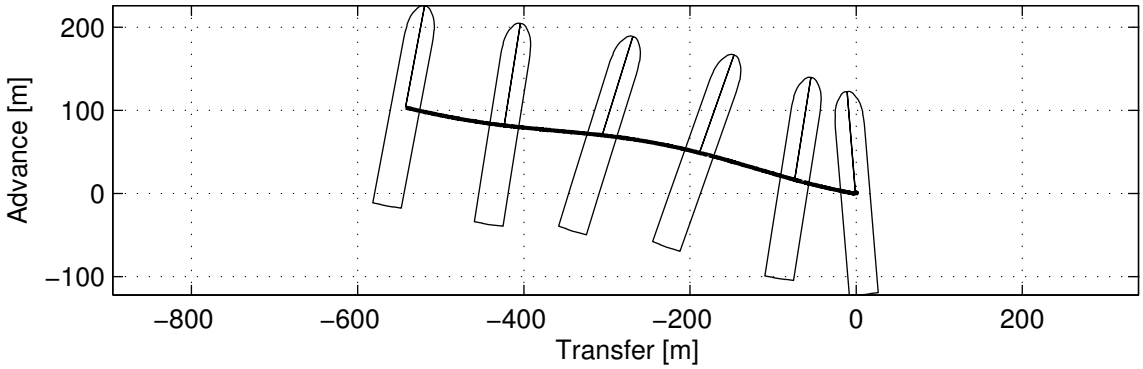
14. Drifting in Waves

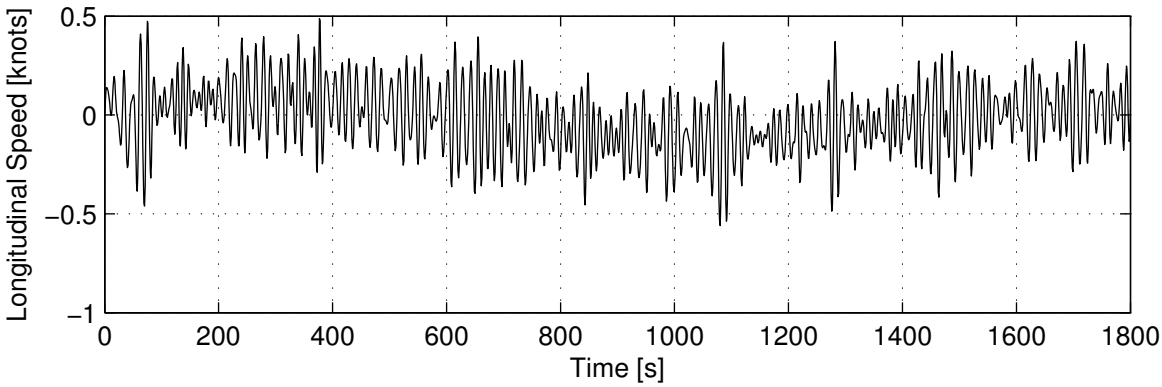
Initial Conditions and Controls

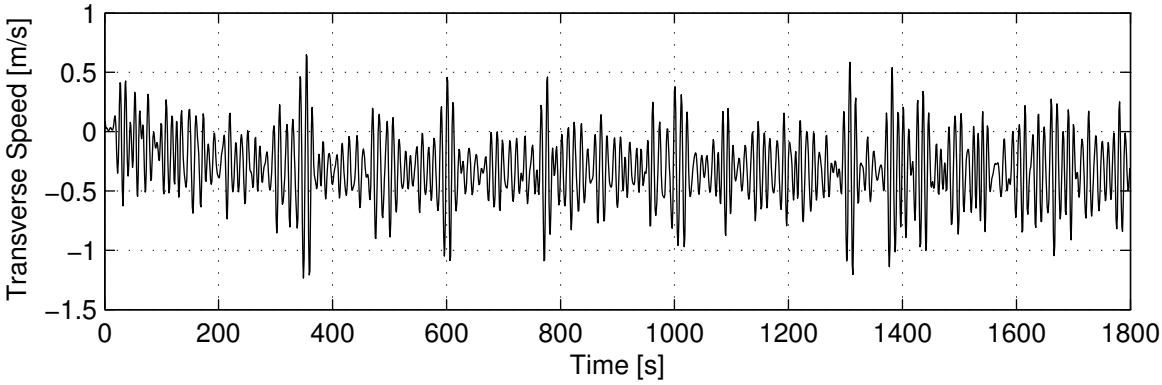
Water depth	: h/T = ∞
Wave height (Hs)	: 3 m
Wave period (Tp)	: 9.1 s
Wave direction	: 90 deg

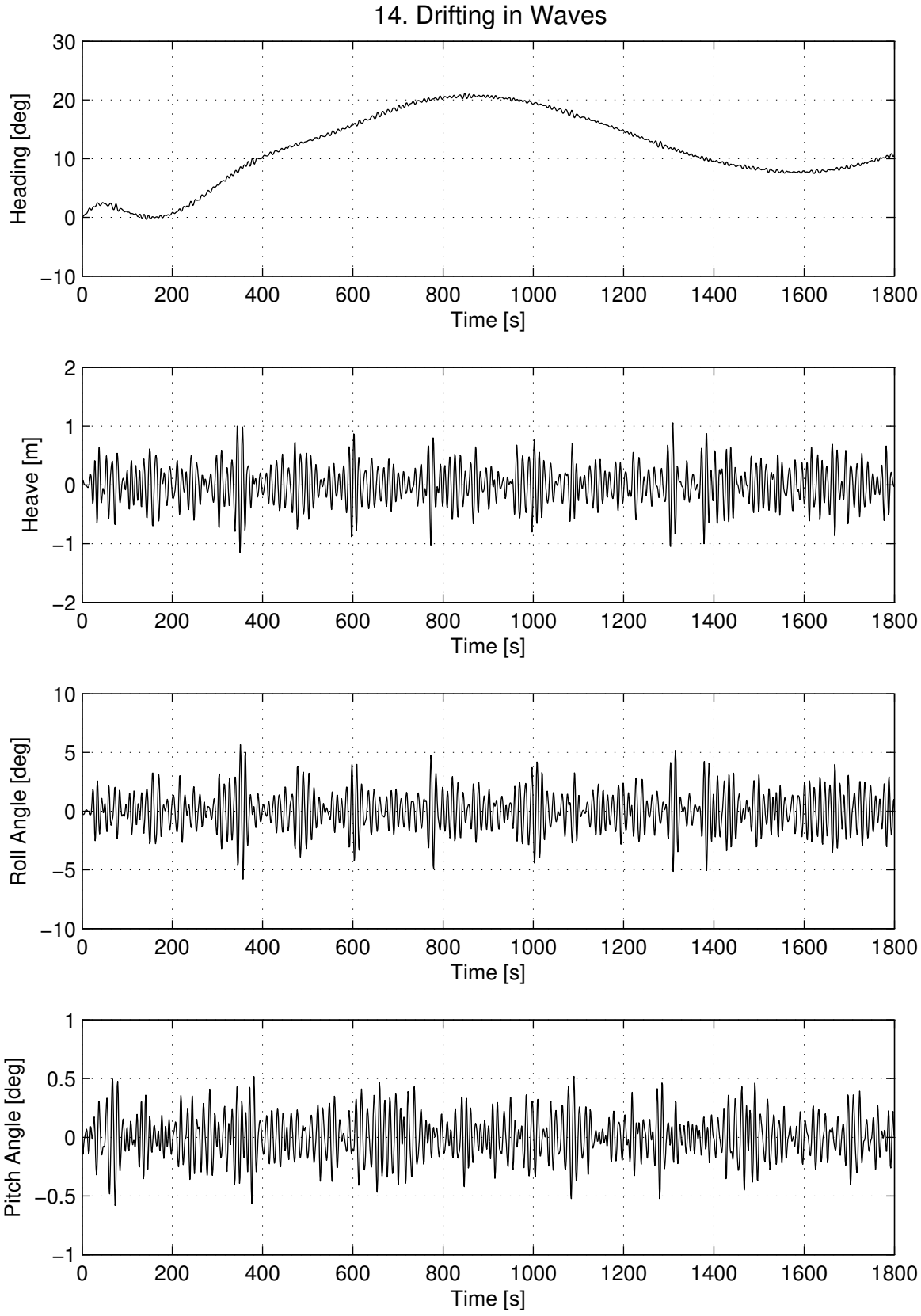
Results and Equilibrium Values

Longitudinal Speed	: 0.0 knots
Transverse Speed	: –0.3 m/s
Maximum Roll Angle	: 5.7 deg








14. Drifting in Waves
Heading [deg]
Time [s]
Heave [m]
Time [s]
Roll Angle [deg]
Time [s]
Pitch Angle [deg]
Time [s]

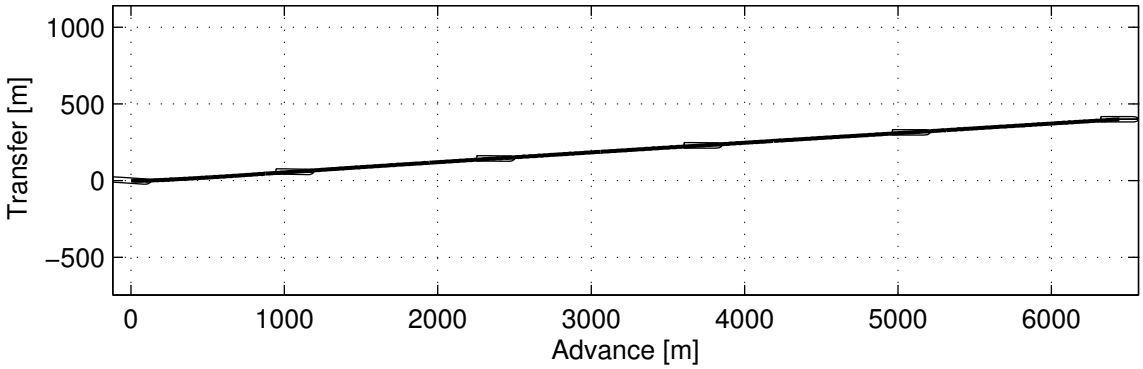
15. Sailing with Autopilot in Waves

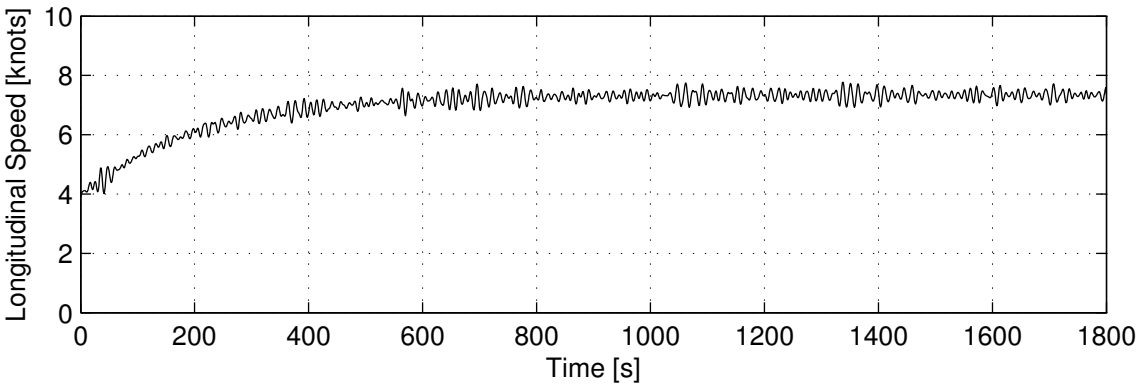
Initial Conditions and Controls

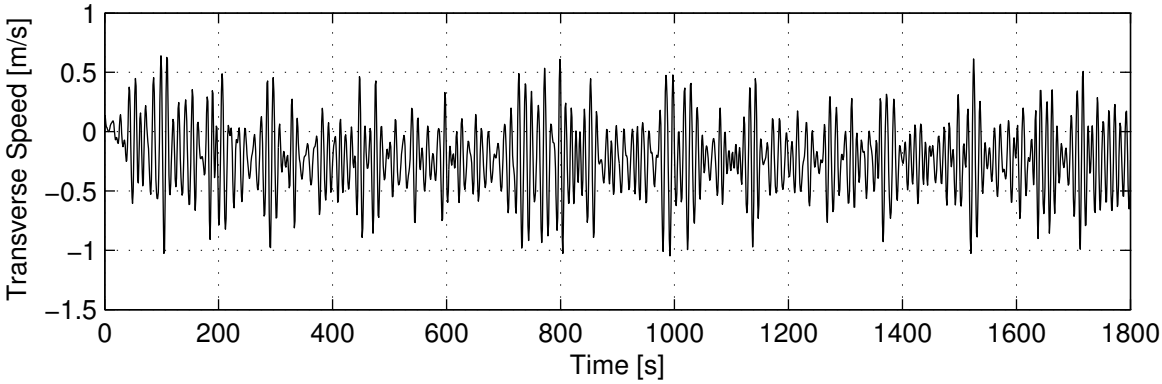
Water depth	: h/T = ∞
Wave height (Hs)	: 3 m
Wave period (Tp)	: 9.1 s
Wave direction	: 90 deg

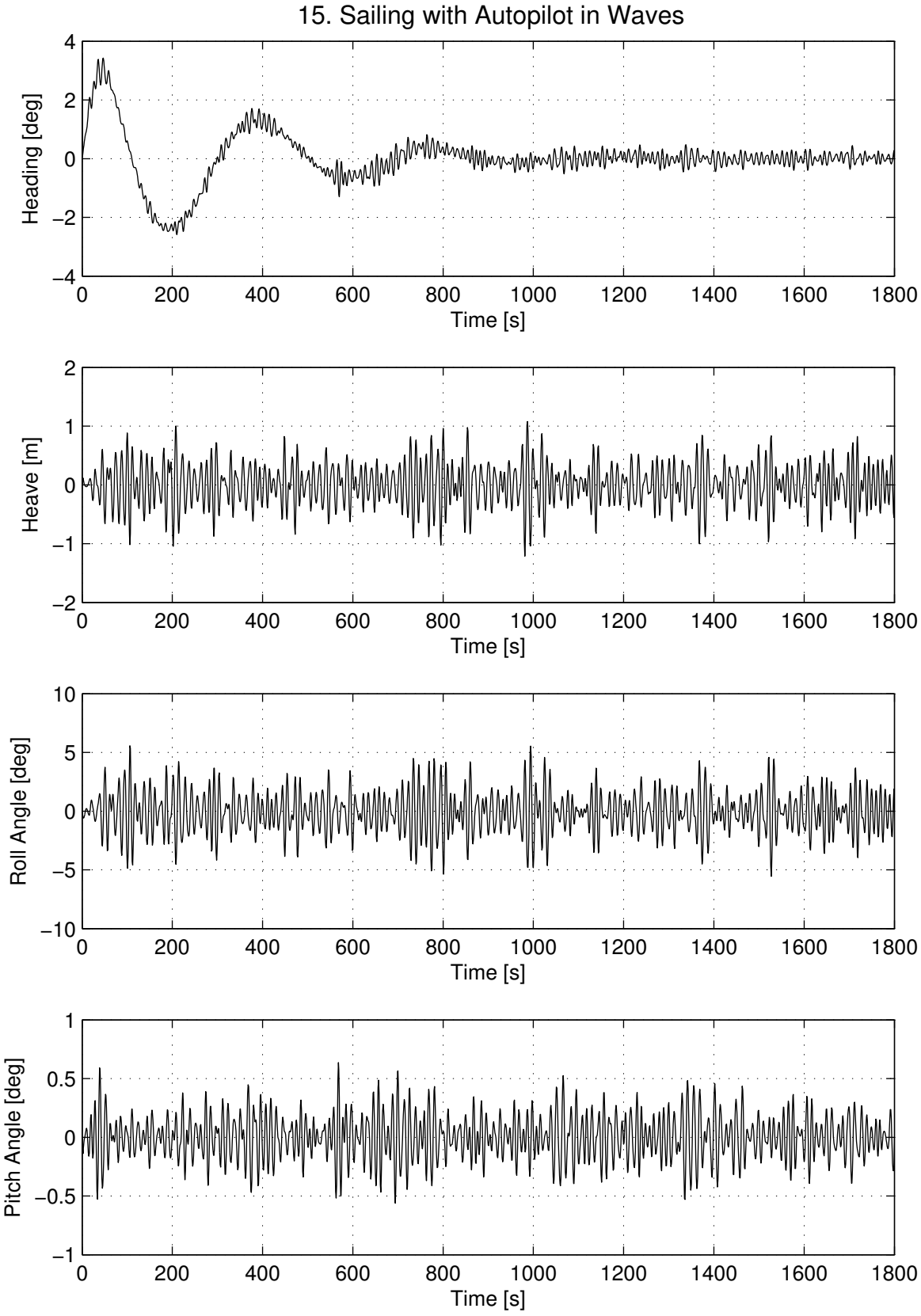
Results and Equilibrium Values

Longitudinal Speed	: 7.3 knots
Transverse Speed	: –0.2 m/s
Maximum Roll Angle	: 5.6 deg








15. Sailing with Autopilot in Waves
Heading [deg]
Heave [m]
Roll Angle [deg]
Pitch Angle [deg]
Time [s]

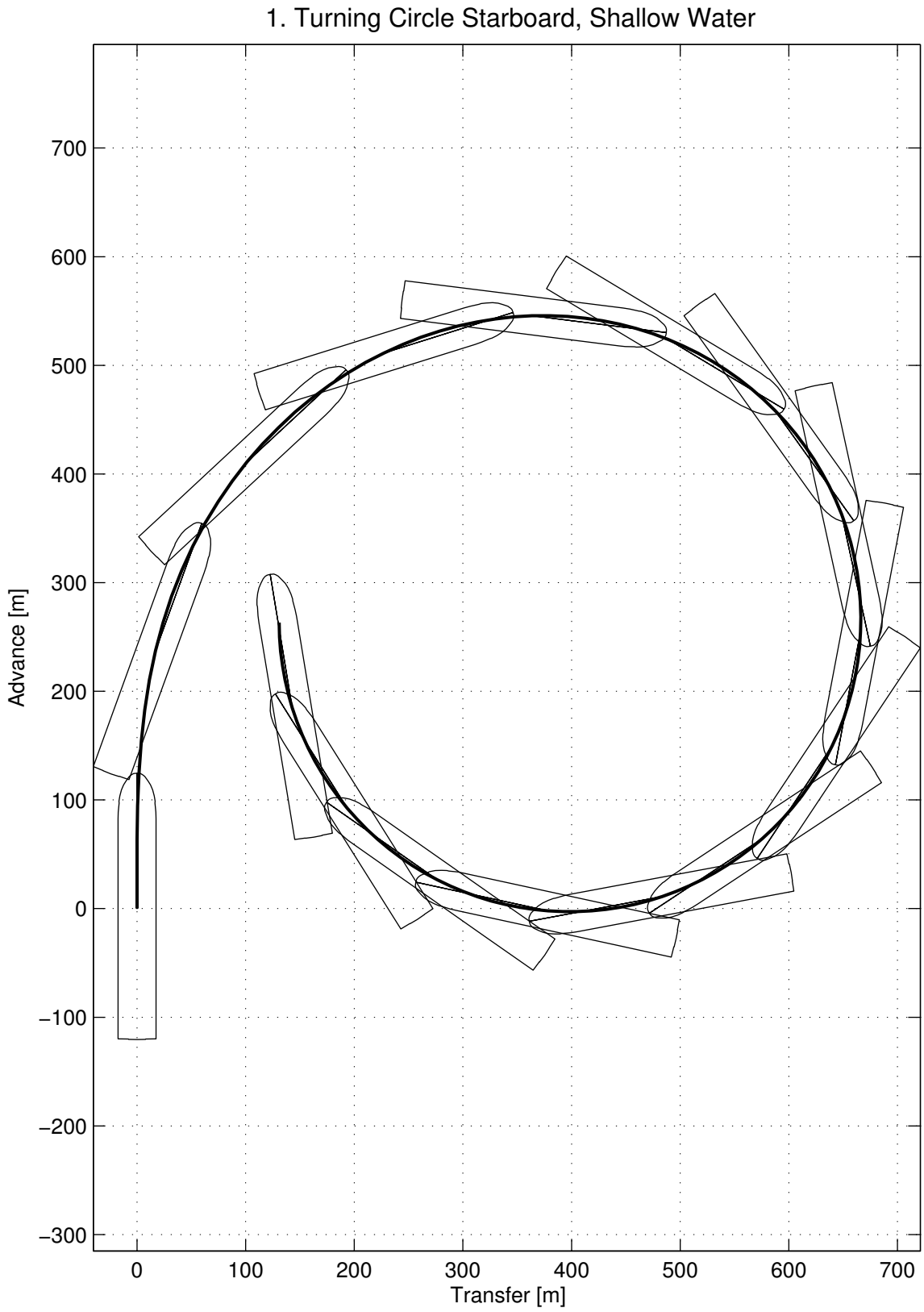
Appendix B

Mathematical Ship Model No. 3895 Gothia

Plots of Standard and Check Manoeuvres in shallow waters

List of Contents

1. Turning Circle Starboard 3
2. Turning Circle Port 5
3. Zig–zag 10/10 7
4. Zig–zag 20/20 8
5. Acceleration 9
6. Crash Stop 10
7. Coasting Stop 11


1. Turning Circle Starboard, Shallow Water
Advance [m]
Transfer [m]
700
600
500
400
300
200
100
0
−100
−200
−300
0
100
200
300
400
500
600
700

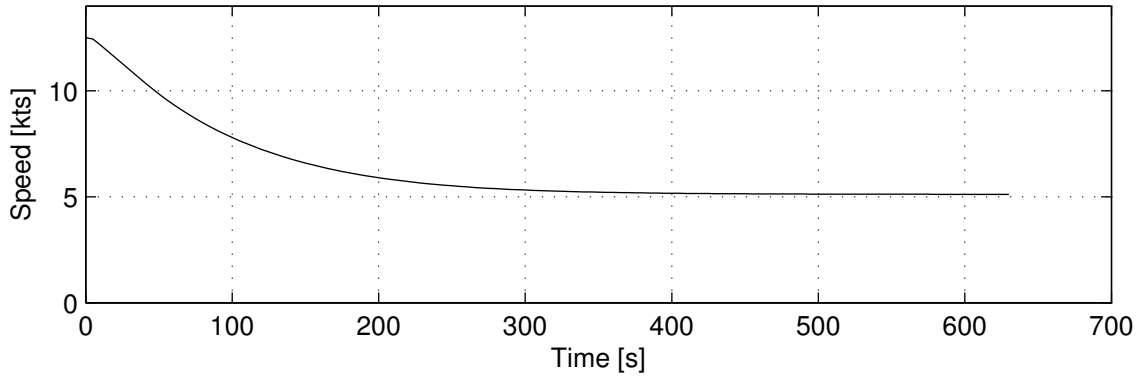
1. Turning Circle Starboard, Shallow Water

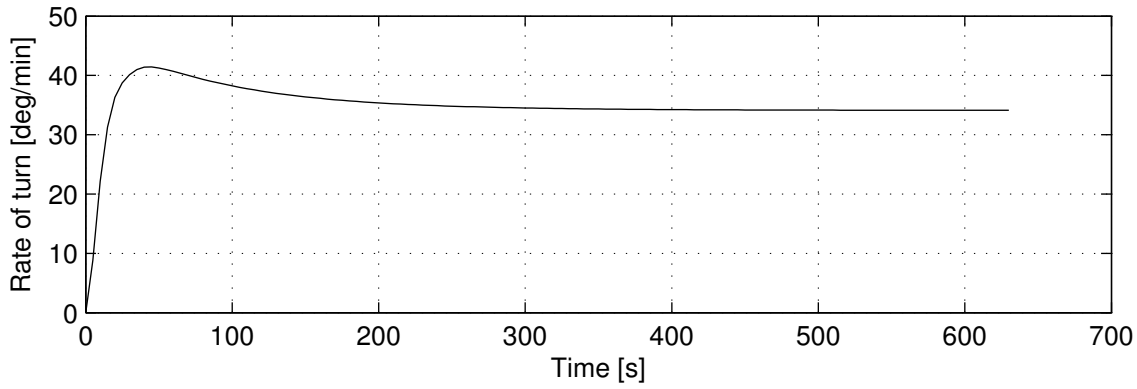
Initial Conditions and Controls

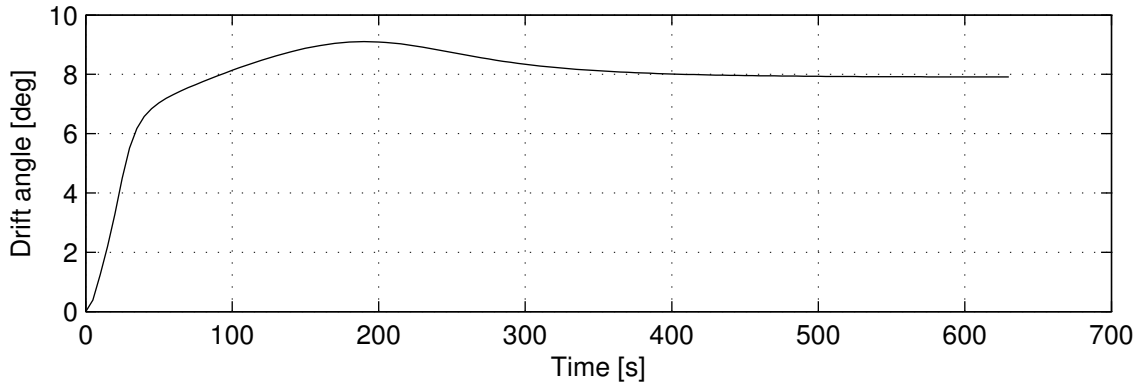
Approach speed	: 12.5 knots
Rudder deflection	: –35 deg
Water depth	: h/T = 1.2

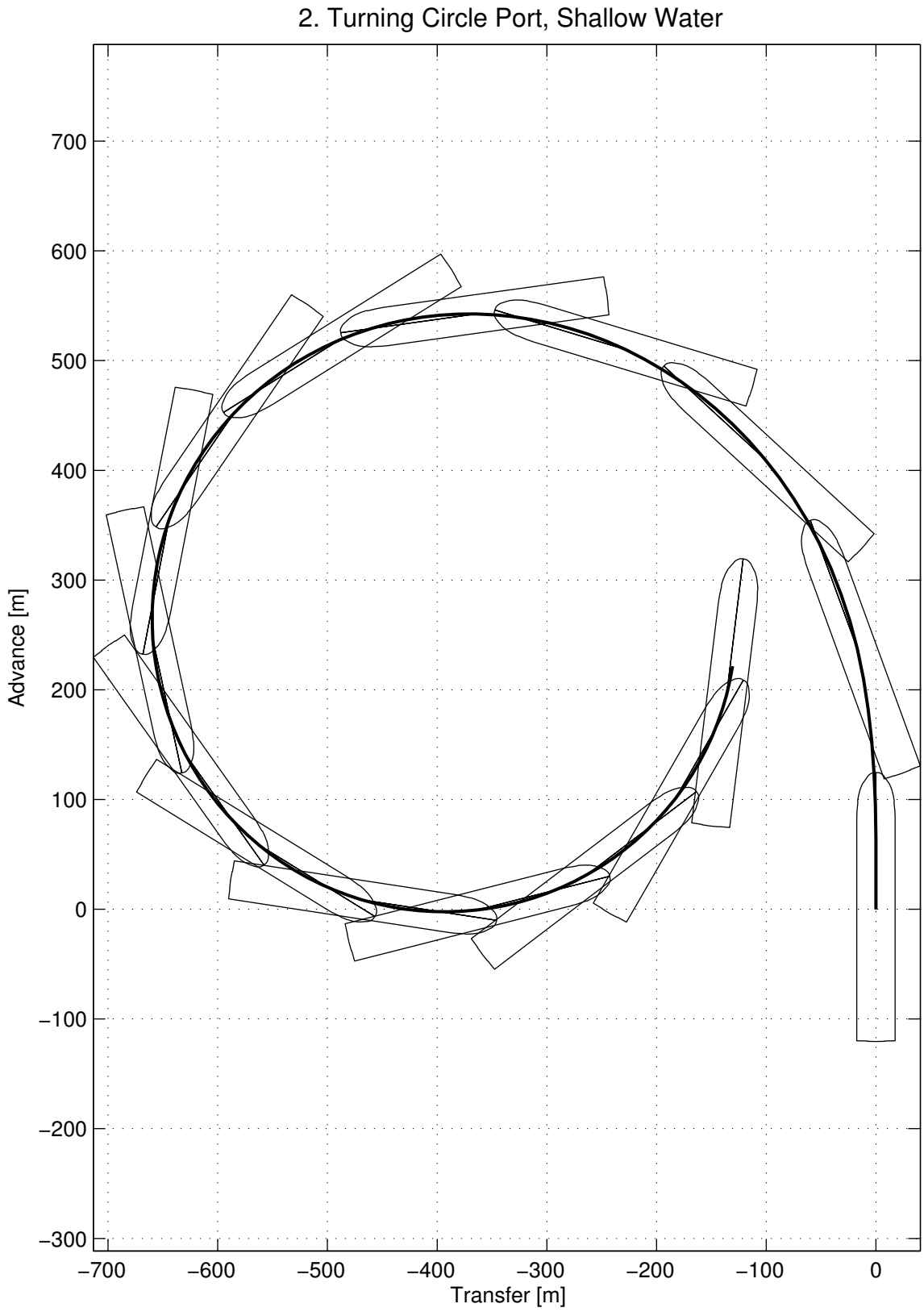
Results and Equilibrium Values

Advance	: 543 m
Transfer	: 330 m
Tactical diameter	: 663 m
Steady diameter	: 532 m








2. Turning Circle Port, Shallow Water
Advance [m]
Transfer [m]
700
600
500
400
300
200
100
0
−100
−200
−300
−700
−600
−500
−400
−300
−200
−100
0

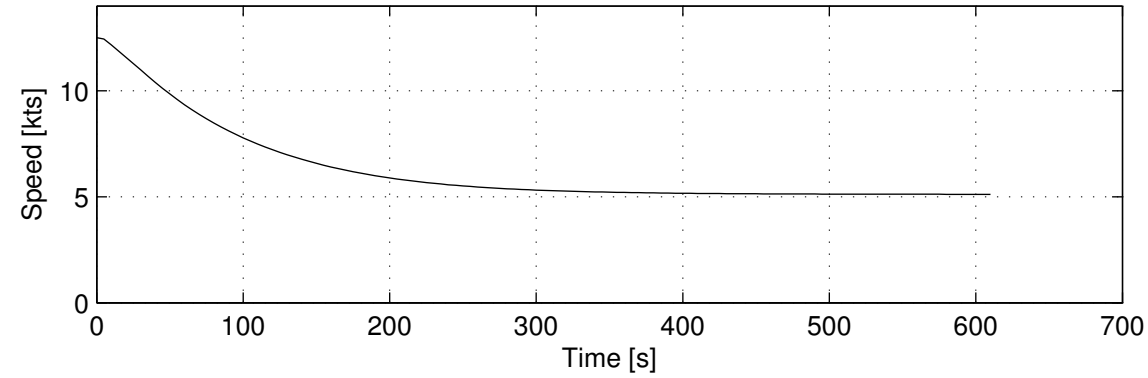
2. Turning Circle Port, Shallow Water

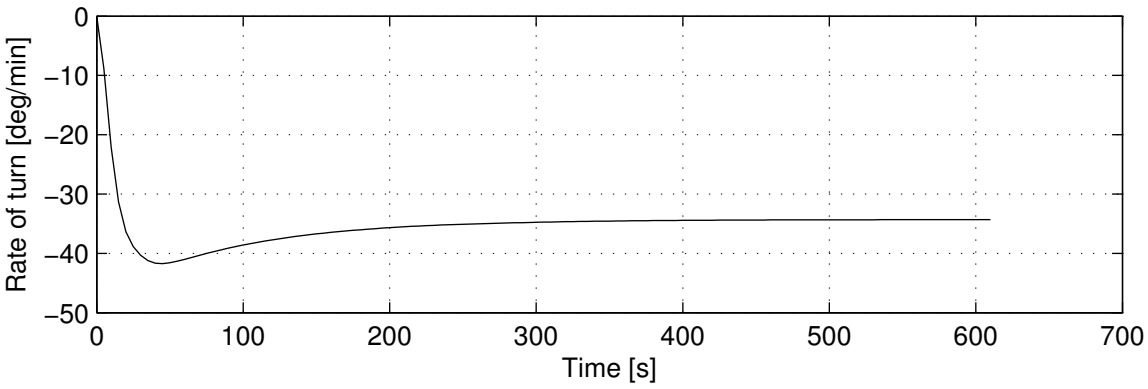
Initial Conditions and Controls

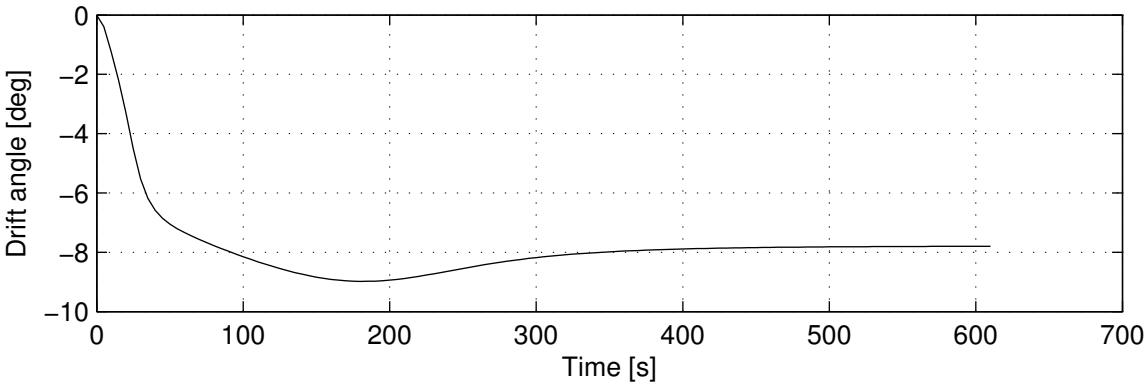
Approach speed	: 12.5 knots
Rudder deflection	: 35 deg
Water depth	: h/T = 1.2

Results and Equilibrium Values

Advance	: 538 m
Transfer	: 314 m
Tactical diameter	: 657 m
Steady diameter	: 527 m







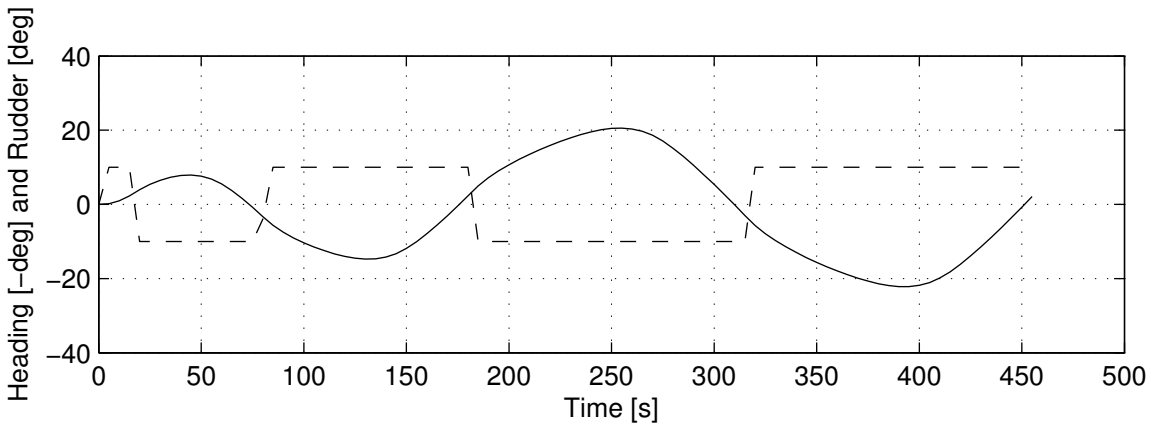
3. Zig−zag 10/2.5, Shallow Water

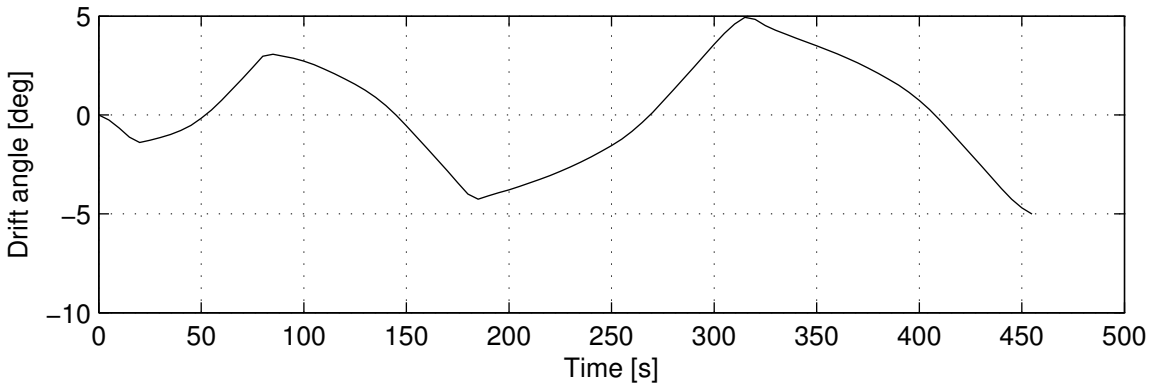
Initial Conditions and Controls

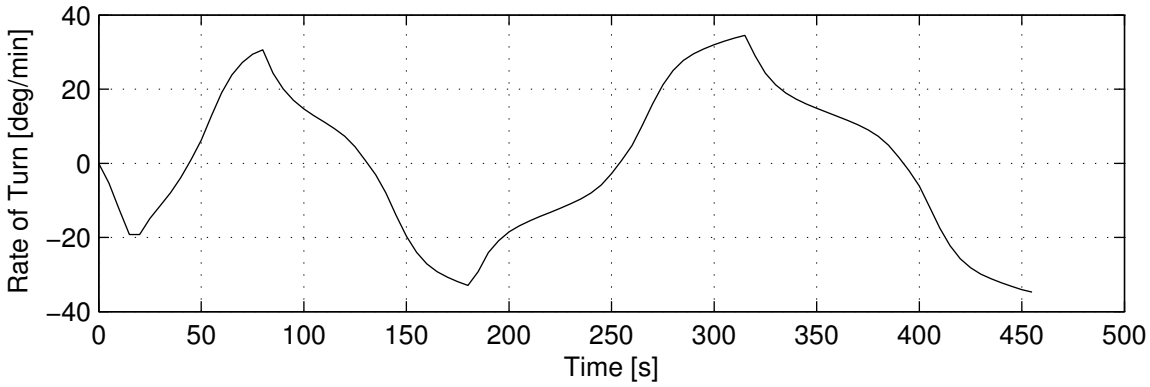
Approach speed	: 12.5 knots
Rudder/heading deflection	: 10/2.5 deg

Results and Equilibrium Values

1st Overshoot Angle	: 5.4 deg
2nd Overshoot Angle	: 19.7 deg
Initial turning ability	: 97 m







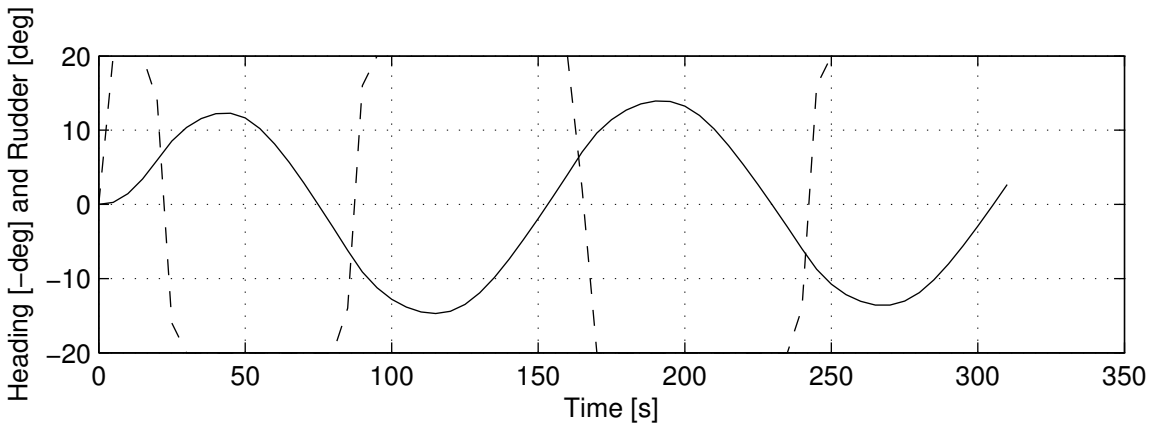
4. Zig−zag 20/5, Shallow Water

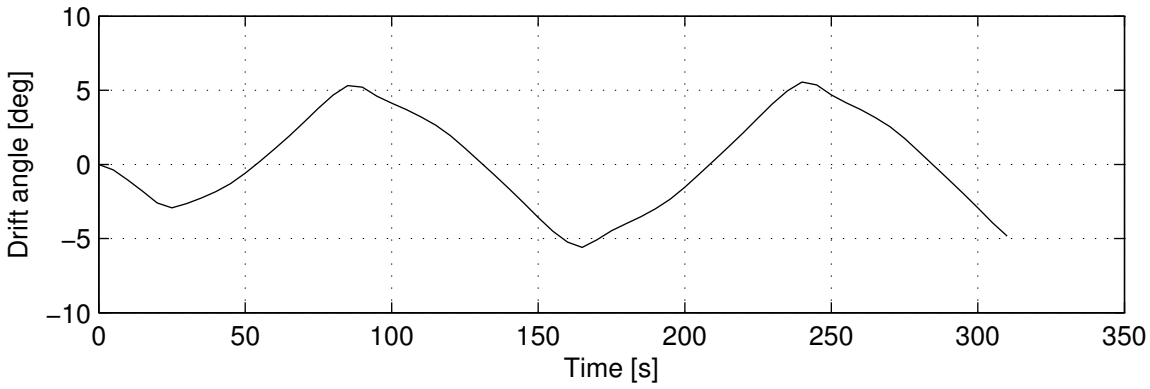
Initial Conditions and Controls

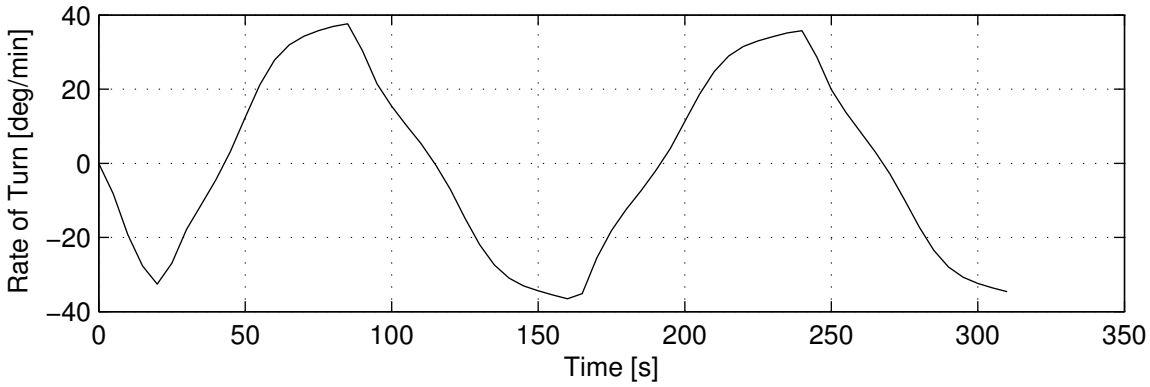
Approach speed	: 12.5 knots
Rudder/heading deflection	: 20/5 deg

Results and Equilibrium Values

1st Overshoot Angle	: 7.3 deg
2nd Overshoot Angle	: 9.7 deg
Initial turning ability	: 96 m







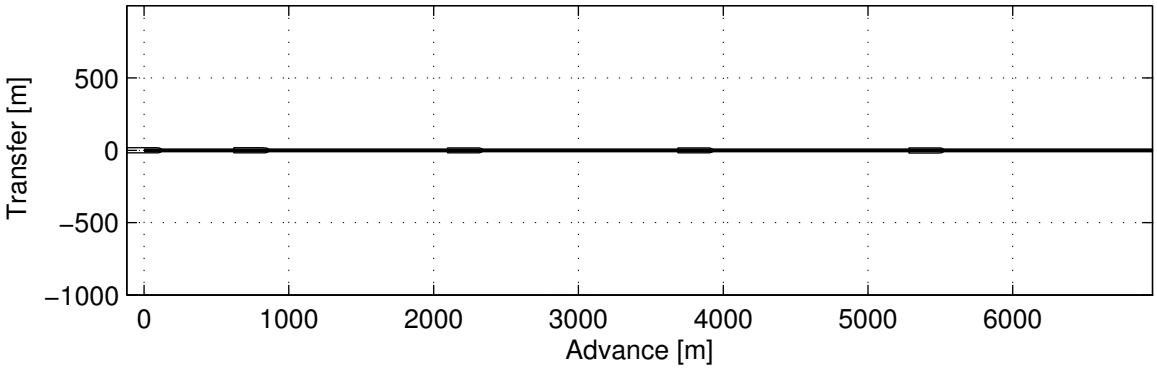
5. Acceleration, Shallow Water

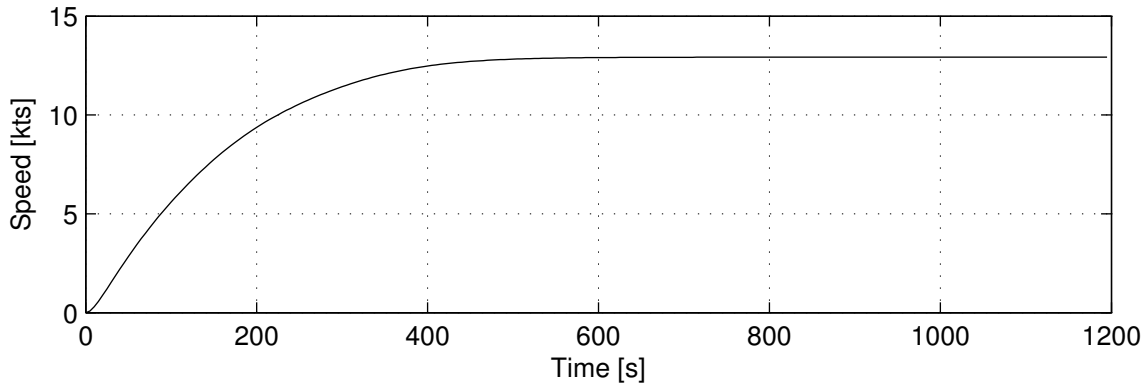
Initial Conditions and Controls

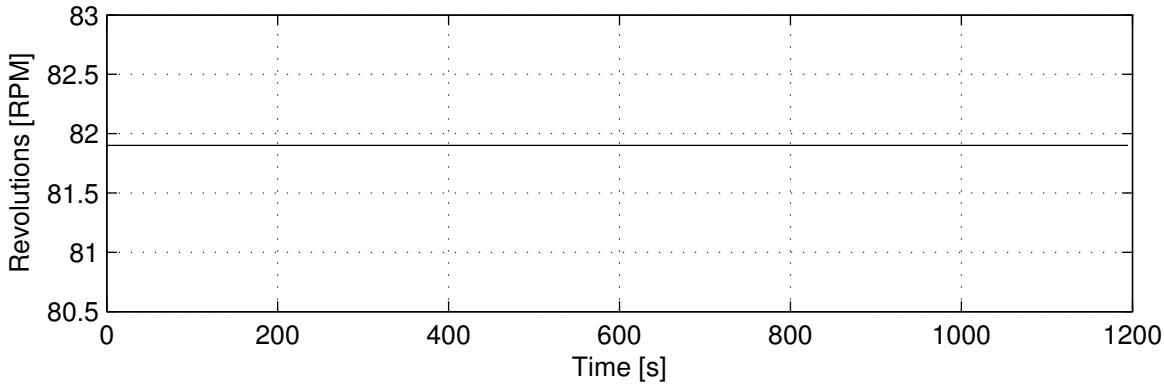
Initial speed	: 0.0 knots
Water depth	: h/T = 1.2

Results and Equilibrium Values

Advance	: 6965 m
Speed	: 12.9 knots
Revolutions	: 81.9 RPM
Time	: 1195 s







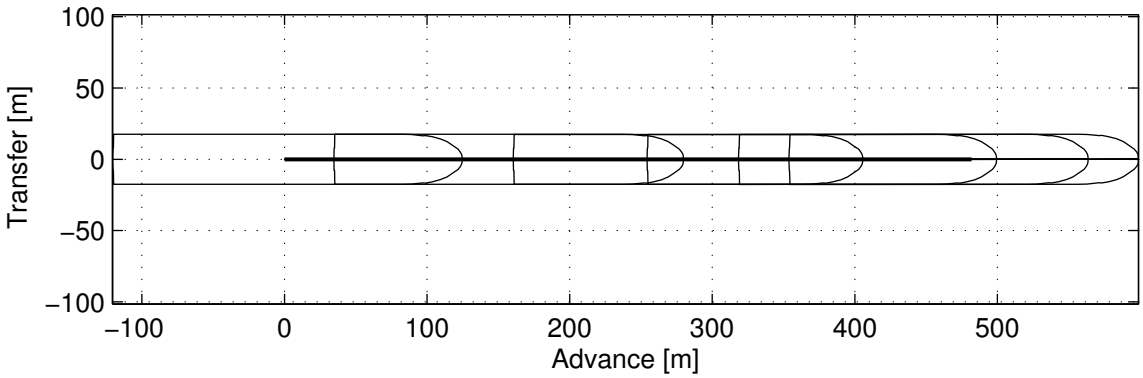
6. Crash Stop, Shallow Water

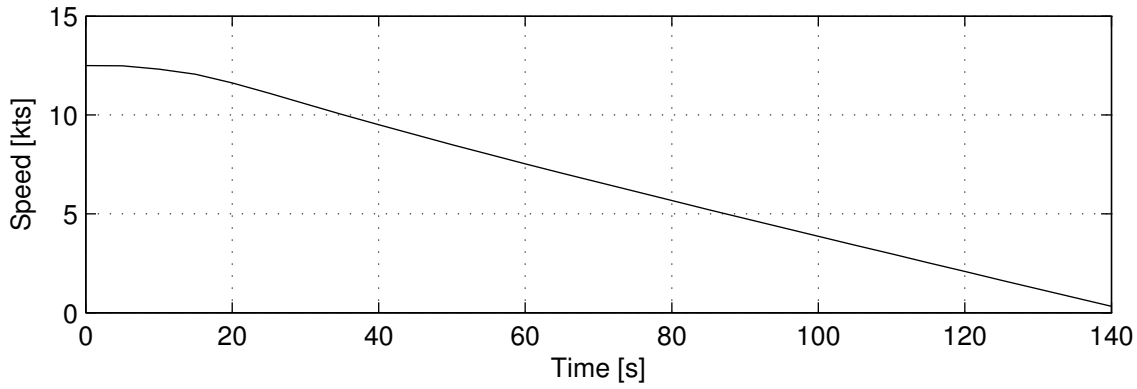
Initial Conditions and Controls

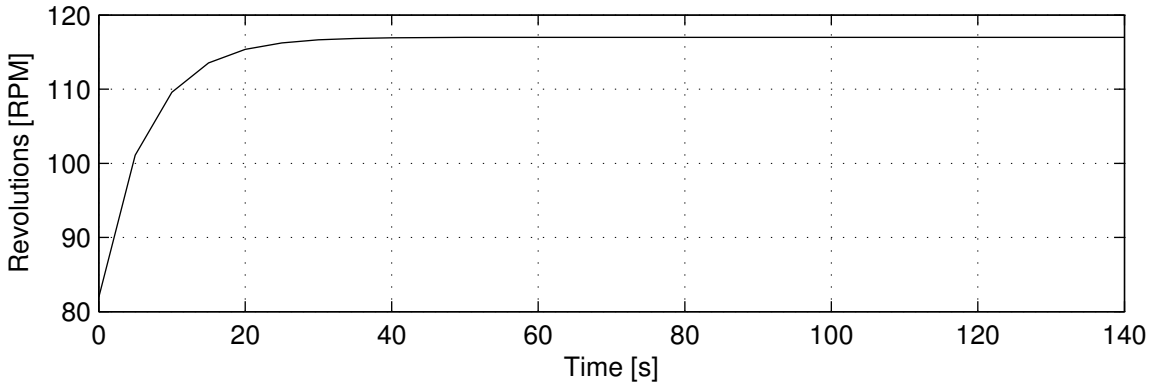
Initial speed	: 12.5 knots
Water depth	: h/T = 1.2

Results and Equilibrium Values

Advance	: 482 m
Speed	: 0.3 knots
Revolutions	: 117.0 RPM
Time	: 140 s







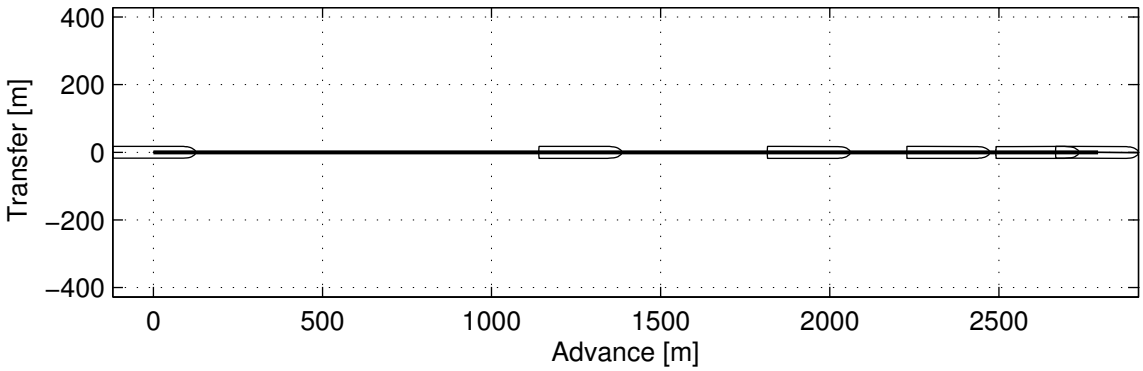
7. Coasting Stop, Shallow Water

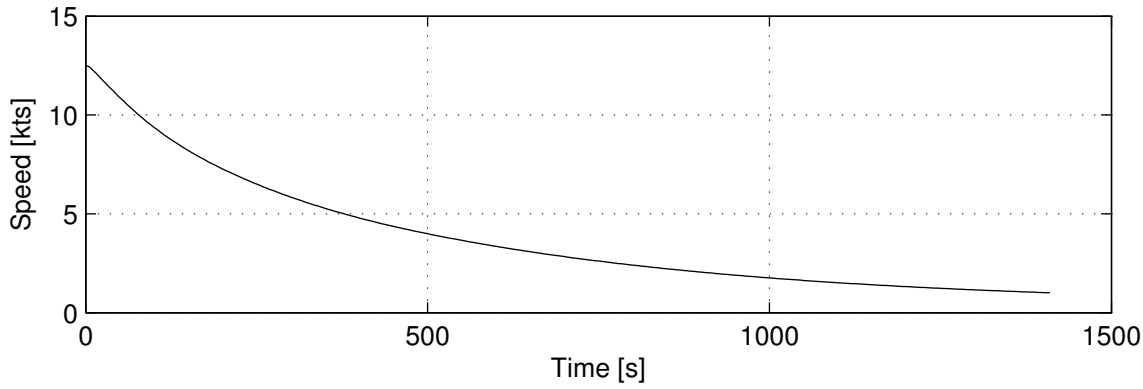
Initial Conditions and Controls

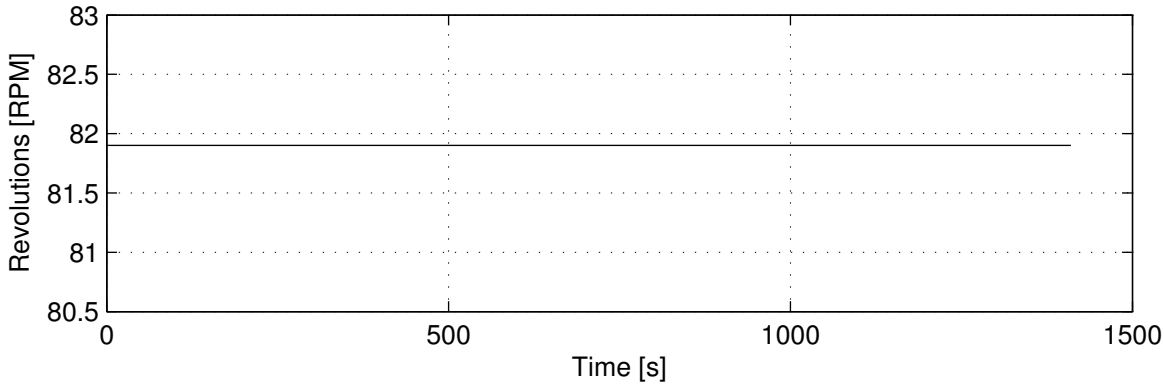
Initial speed	: 12.5 knots
Water depth	: h/T = 1.2

Results and Equilibrium Values

Advance	: 2793 m
Speed	: 1.0 knots
Revolutions	: 81.9 RPM
Time	: 1410 s







Appendiks C

Områdebeskrivelse:

Esbjerg Havn (Esbjerg_udv_2018)

Area Model Generation

“Esbjerg_udv_2018”

Date: 2018-12-07

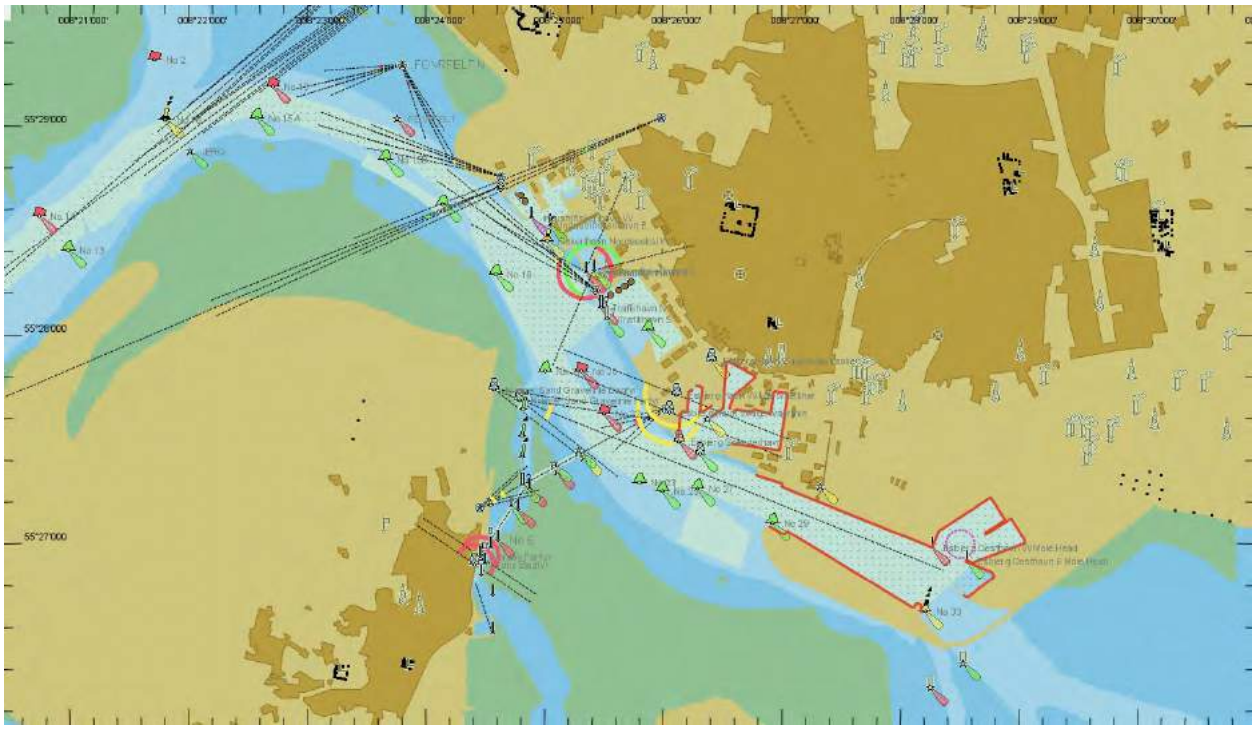


Table of Contents

1. Introduction 3
2. Area Geographical Limits 3
3. Input data 4
3.1 Bathymetry 4
3.2 Land elevation 5
3.3 Aids to navigation 5
3.4 Tidal elevation 5
3.5 Current 6
3.6 Waves 7
3.7 Wind 8
3.8 Fenders 9
3.9 Banks 9
3.10 Level of details 9
3.11 Other information 9
3.12 Visual database (screen dumps) 10

1. Introduction

The area “Esbjerg_udv_2018” is based on the following data

- Electronic Chart “DK5ESBJG“ and drawing from Port of Esbjerg which is merged into a electronic chart (ENC) “Esbjerg_udv_2018” received from Geodatastyrelsen and Port of Esbjerg November 2018.
- Info on current are based on info from previous simulations (2009).
- Info on waves are based on info from previous simulations (2009).
- Info on banks None
- Info on depth from Chart and drawings from Port of Esbjerg and DHI.

2. Area Geographical Limits

The environment model of “Esbjerg_udv_2018” have been developed to cover the area shown in Figure 2.1 below.

Figure 2-1 Area Coverage

The limits are:

SW: 55 00 000.000 N, 007 30 000.000 E
NE: 56 00 000.000 N, 009 00 000.000 E
Origin: 55 00 000.000 N, 007 00 000.000 E

3. Input data

3.1 Bathymetry

Bathymetry were derived from the chart and calculations from DHI. See section 1.

Figure 3-1 Depths Esbjerg 2 m, 5 m, 10 m, 15 m and 20 m

Figure 3-2 Depth Esbjerg 9.30 m

Figure 3-3 Depth Esbjerg 9.30 m, Expansion area.

3.2 Land elevation

Land elevation were taken from Google or Earth Explorer

3.3 Aids to navigation

Aids to navigation was derived from the chart and drawings. See section 1.

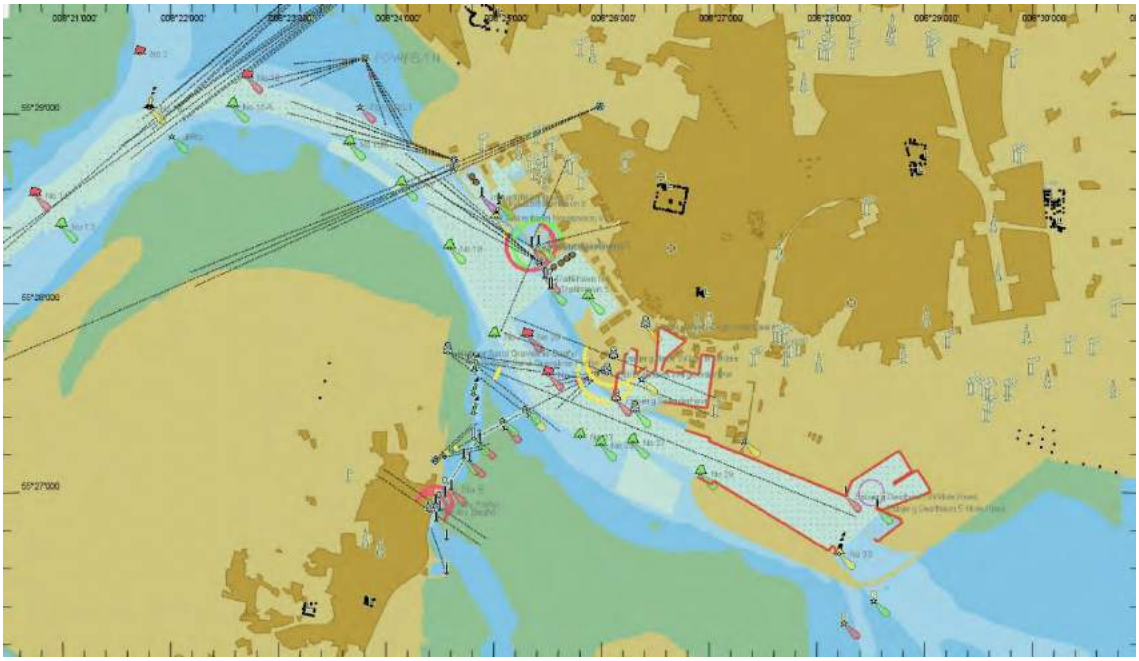


Figure 3-4 Markings Esbjerg

3.4 Tidal elevation

No tidal data was implemented, can be set directly in the simulator

3.5 Current

Current fields as delivered by DHI for Port of Esbjerg.

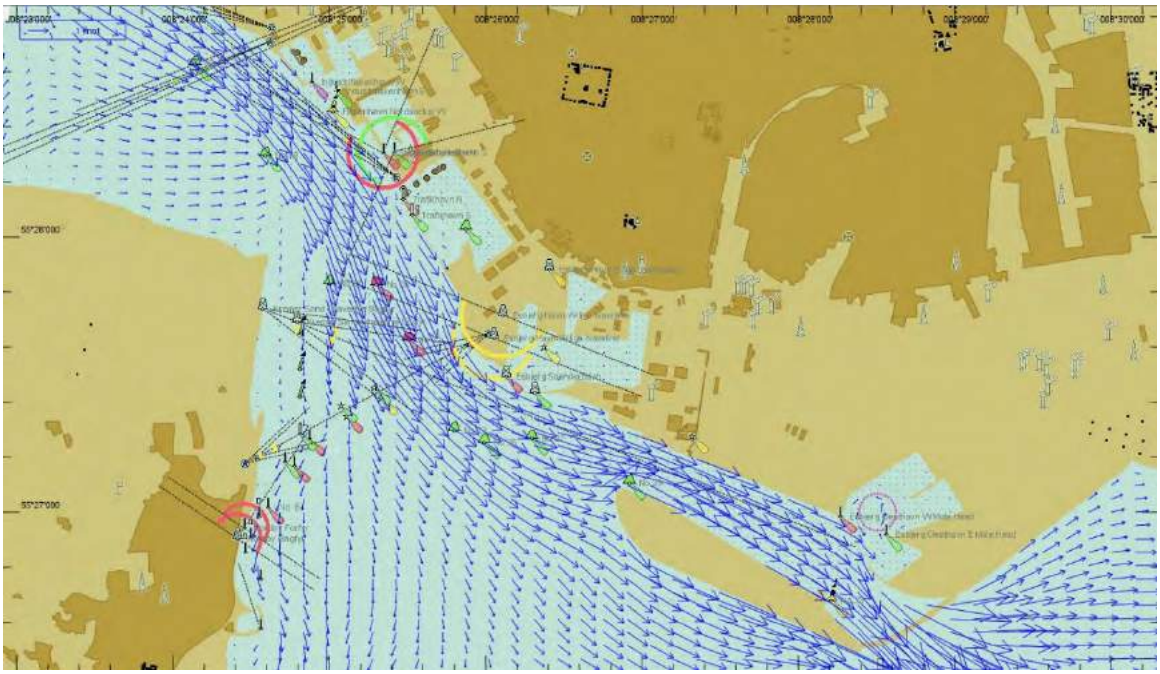


Figure 3-5 SE-going current

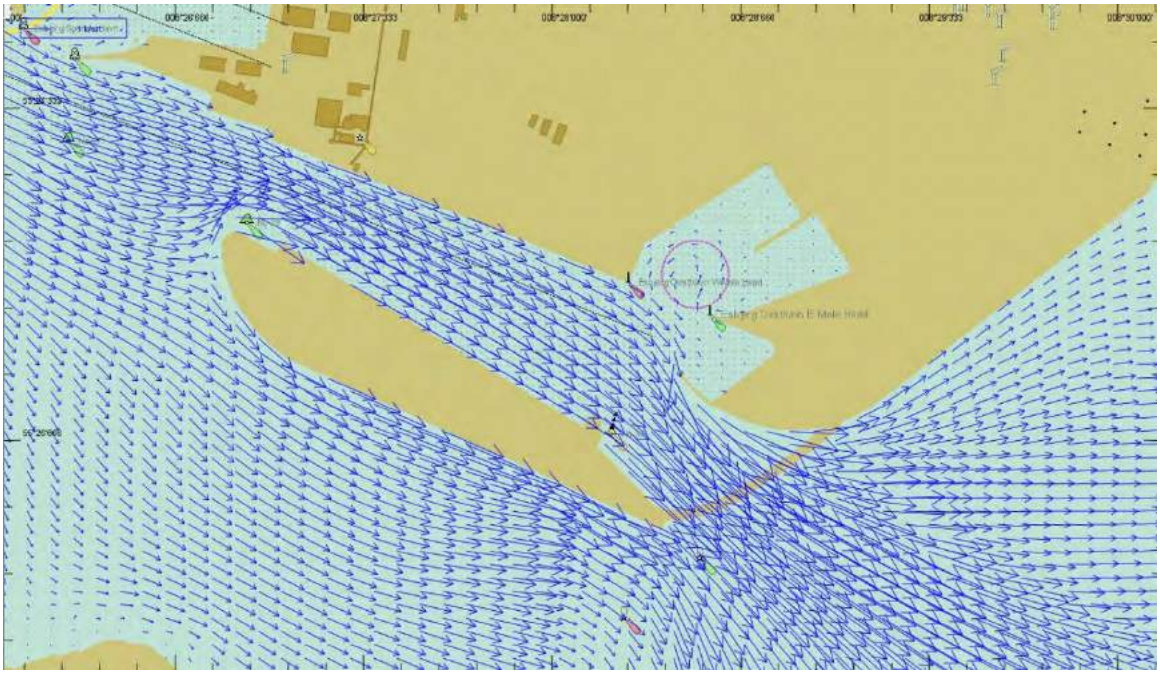


Figure 3-6 SE-going current new area

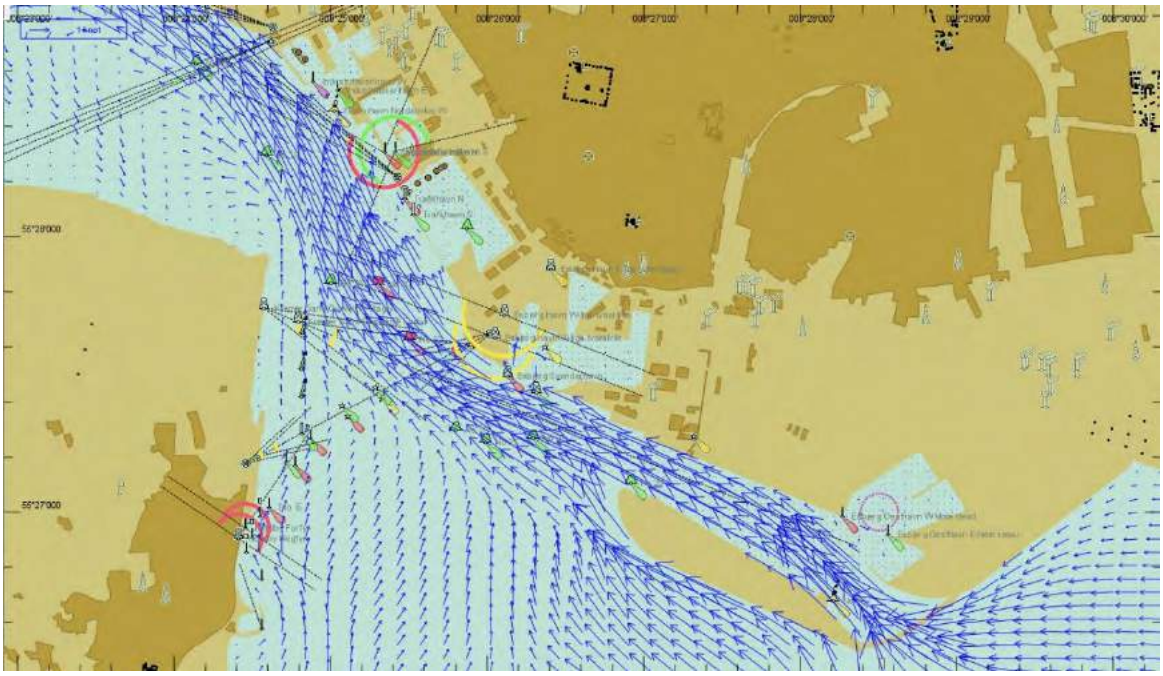


Figure 3-7 NW-going current

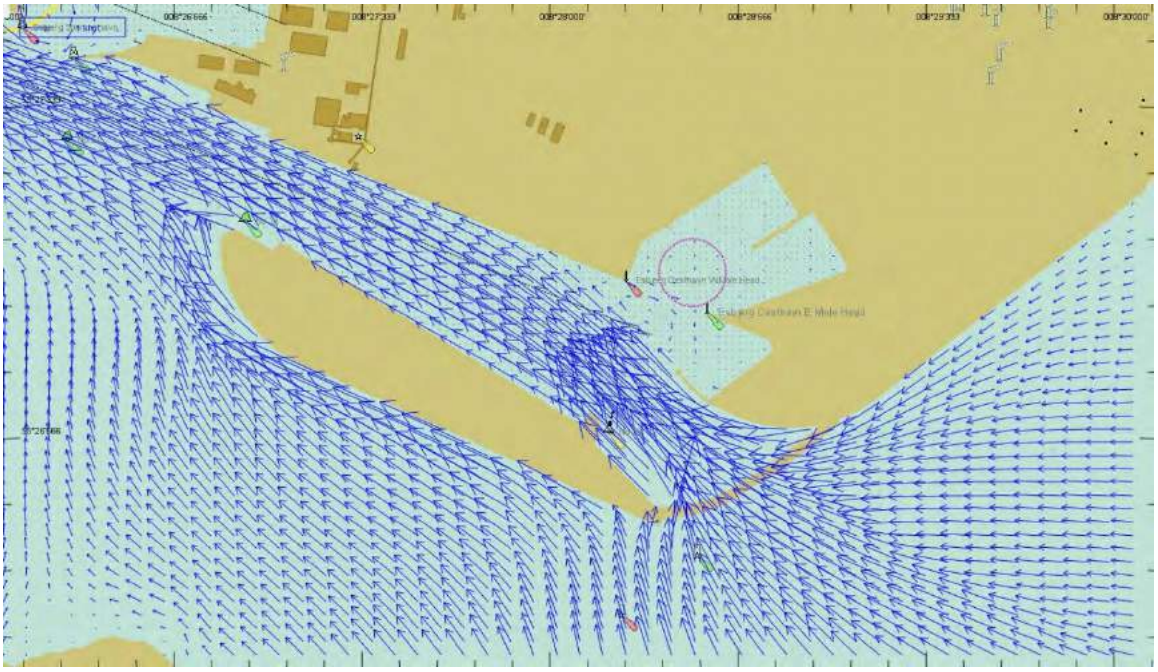


Figure 3-8 NW-going current new area

3.6 Waves

Waves are set directly in the simulator but are insignificant in the new area.

3.7 Wind

No wind chart is available. Wind has to be set directly in the simulator.

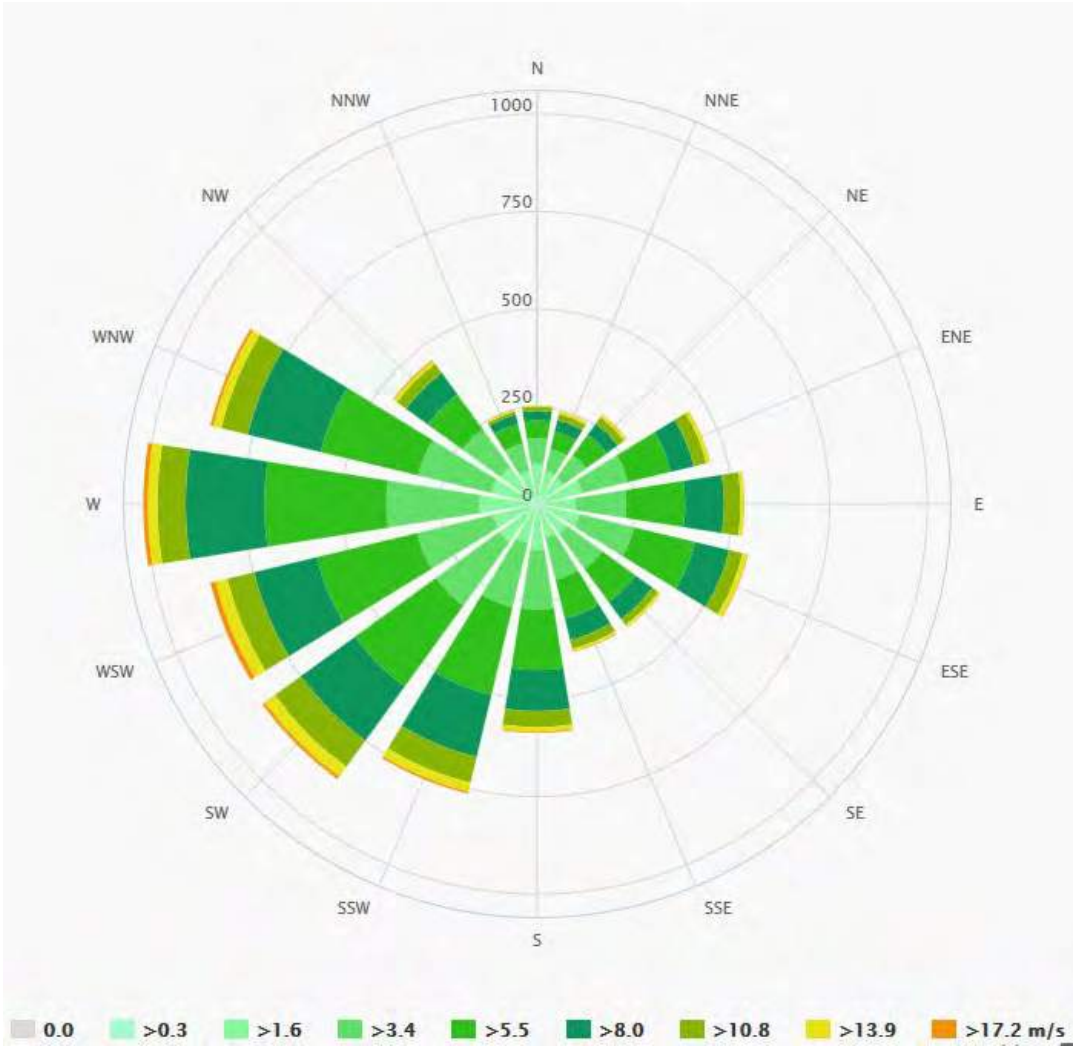


Figure 3-9 Wind rose for Esbjerg

3.8 Fenders

Fenders were placed on the new quay as shown below.

Figure 3-10 Fenders in Esbjerg (Red lines)

3.9 Banks

No banks were implemented.

3.10 Level of details

No level was outlined, but level is I in the port.

3.11 Other information

Info of placement of buildings from Esbjerg Havn.

3.12 Visual database (screen dumps)

Appendix D

Vindbeskrivelse

Wind definitions in relation to the simulators wind speed indicator versus the vessel's wind speed indicator.

In the simulator the wind speed is given in "meteorological wind speed". This wind speed is not equal to the wind speed read from the wind indicator of the ship. As a tentative comparison the following facts and assumptions can be given:

Wind indicator registers the wind speed e.g. in 35 meters height.

Coefficient for calculating wind forces in the simulator refers to wind speed in 10 meters height and a mean value of a 10-minute sampling period.

Wind information from meteorological sources should refer to wind in 10 meters height.

Read-out from a wind indicator will typically refer to the mean value of a 5 second sampling period.

The variation of the mean wind in the height z above ground level is found by the formula:

$$u_z = u_{10} \times \left(\frac{z}{10}\right)^{\alpha}$$

u_z = Wind speed in a certain height

u_{10} = Wind speed in 10 meters height

α = Power constant (0,12 over sea, 0,16 over land, 0,28 over town).

z = Wind speed indicator height above the surface

Using Engineering Sciences Data Unit (ESDU) 72026 we find the following ratio between

"Max 5 second wind" and "mean 10 minutes wind" equal to 1,25.

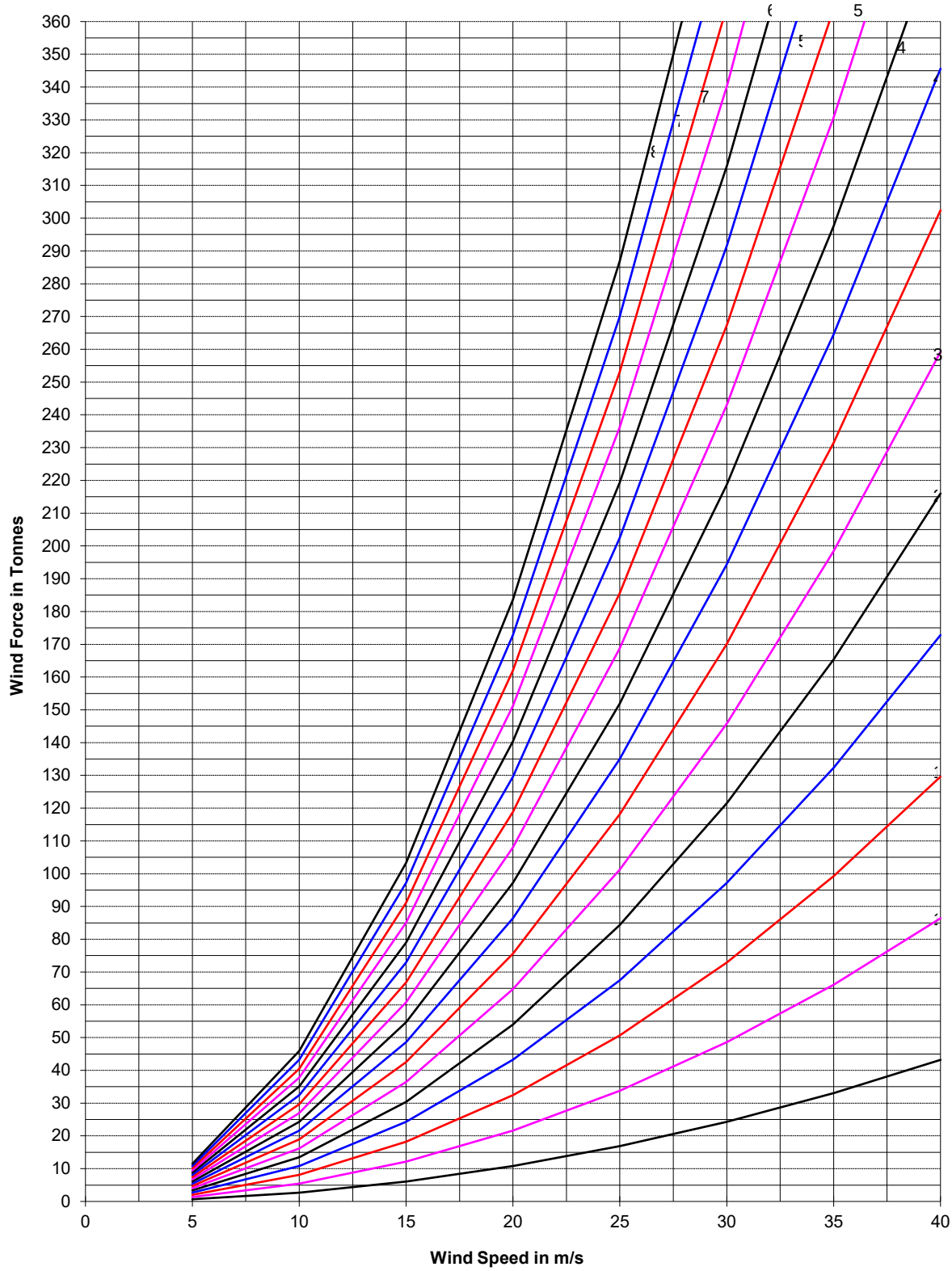
Example:

Wind read out on wind indicator (on vessel, height 35 m) = 25 m/s

10 min. mean wind in e.g. 35 m height = 25 / 1,25 = 20 m/s

10 min mean wind in 10 m height = $20 / \left(\frac{35}{10}\right)^{0,12}$ = 17,2 ms

This means that what the navigator correctly reads as a wind speed of 25 m/s corresponds to a "meteorological" wind speed of 17,2 m/s.



Wind Force = 0.52 * 10^{-4} * A * V^2
A = Beam Wind area in m^2
V = Wind speed in m/s

Appendiks E

Fotos

Esbjerg Havn udvidelse
3D visualiseringer

Udarbejdet af NIRAS

Metode

Visualiseringerne for Esbjerg Havn er udarbejdet som fotomatch. I de enkelte fotomatch er 3D modellen for projektet indarbejdet i fotos taget fra relevante positioner omkring projektets fremtidige afgrænsning. Ved fotomatch opmåles kameraet samt et antal punkter i hvert enkelt billede, herved kan genskabes en digital georefereret kopi af kameraet i 3D modellen for projektet. Ved at benytte denne metode sikres en høj præcision og kvalitet i visualiseringerne. 3D modellen er baseret på tegninger fra Esbjerg Havn og skitser af bebyggelsesplanen med et footprint på 10%. Der er for bygningerne vist varierende højder med en maksimal højde på 30 meter over terræn (kote35) med enkelte bygningsdele op til 35 meter over terræn (kote 40). For oplag er delområde B er indarbejdet vindmølletårne op til 90 meter over terræn (kote 95). Toppen af kajkanterne er sat til kote 5.

For hver enkelt standpunkt er vist følgende elementer;

1. Et eksisterende forhold af den nuværende situation
2. Visualisering af en mulig udbygning af havnen. Vist med eksempel på forventet oplagstyper og et footprint på 10%, hvilket er den maksimale udnyttelse, vist med varierende bygningshøjder.
3. Markering med tydelig rød farve, hvad der er det nye projekt.
4. Visualisering vist med maksimale tilladte højder. Med rød er vist den maksimale bygningshøjde. I delområde A udgør dette ligeledes den maksimale oplagshøjde, mens oplagshøjden i Delområde B der ikke er begrænset, er vist med grøn farve. Oplag op til kote 95 er markeret med en stiplet linje mens pilene når op til kote 125.

For standpunkt 10000 er ydermere vist en fuld markering af projektets placering ovenpå billedet, da projektet er meget lidt synligt i de udarbejdede visualiseringer.
For standpunkt 5000 er billederne vist som panoramabilleder, dette er for at vise projektet i sin fulde fremtidige kontekst. Der er tilføjet yderligere materiale i venstre side af billederne. Dette har ingen betydning for visualiseringens præcision. Visualiseringerne vises bedst på en printet version af denne rapport, med korrekt betragtningsafstand. For visualiseringerne er den optimale betragtningsafstand svarende ca. til bredden af visualiseringen. Printet i

korrekt skala svarer den til ca. 42 cm. Ses visualiseringerne på større afstand vil projektets visuelle påvirkning syne mindre, mens den på kortere afstand vil forstærkes.

Ved gennemlæsning af rapporten skal læseren være opmærksom på at visualiseringerne kan opleves forskelligt da rapporten ofte vil blive læst på en skærm der ikke er farvekalibreret. Det samme gør sig gældende ved print, da de fleste printere ikke er farvekalibrerede.

Fotooptagelse, GPS og visualisering

Fotos er taget med kamera på stativ således, at fotoet svarer omtrent til en øjenhøjde på 1,7m over terræn. Alle fotos er optaget med objektiv fastsat til 35mm på et full-frame kamera, svarende til en let vidvinkel. Dette er benyttet for at vise projektet i sin kontekst uden behov for panoramafotos for flere af fotostandpunkterne. Det menneskelige øje er i stand til at opfatte et bredt panorama, et normalt synsfelt har ca. 180 grader, samtidigt med at øjet kan stille skarpt på enkelte genstande. Hermed er øjet i stand til at fokusere på et lille område meget klart, denne oplevelse ville kunne genskabes ved et teleobjektiv, men herved mistes oplevelsen af projektet i sin kontekst. Fotografierne vil derfor aldrig kunne gengive den individuelle menneskelige synsopfattelse af projektet, men er den bedst mulige tilnærmelse af den visuelle oplevelse af projektet i sin kontekst. Kameraets placering og kontrolpunkter er målt ind med RTK-GNSS GPS. Kontrolpunkter, som eksempelvis opsatte målestokke, kegler, faste objekter, eksisterende møller og bygninger mv. bruges til at retningsbestemme og kvalitetssikre hvert enkelt foto. Målestokke og kegler er efterfølgende redigeret bort i Photoshop. Fotos er korrigeret for geometriske forvrængning, hvilket sikrer at fotos stemmer helt overens med den digitale kameraopsætning i en samlet 3D model for projektet. Til at sikre kvaliteten og præcisionen for hvert enkelt visualisering er indarbejdet data fra SDFE i form af højdemodeller, punkskyer, ortofotos og grundlæggende landkortdata. Disse data er benyttet i processen med at matche fotostandpunkter med 3D modellen for projektet. Kombinationen af opmålte standpunkter og højdedata er med til at give så præcis som muligt en gengivelse af projektets fremtidige placering i eksisterende forhold. Visualiseringerne er udarbejdet i Autodesk 3ds Max og efterbehandlet i Adobe Photoshop. Alle visualiseringer er

udarbejdet som et øjebliksbillede af fremtidige forhold. Fotooptagelserne er taget i klart vejr for at have så god sigtbarhed som muligt. Hermed gengives projektet i klart vejr. Det er ikke muligt at gengive eksisterende forhold 100% korrekt, da mange faktorer spiller ind i fotograferingen; eksempelvis lukketid, iso-indstillinger, f-stop og andre fototekniske indstillinger på kameraet. Derfor vil fotos altid være en efterligning af eksisterende forhold og ikke en 100% virkelighedstro kopi. Ydermere er det ikke muligt at gengive særlige lysforhold, hvor der over kort tid kan være store forskelle i oplevelsen af de enkelte områder.
For alle visualiseringerne er indregnet jordens krumning og efterfølgende indarbejdet i 3D modellen for det fremtidige projekt.

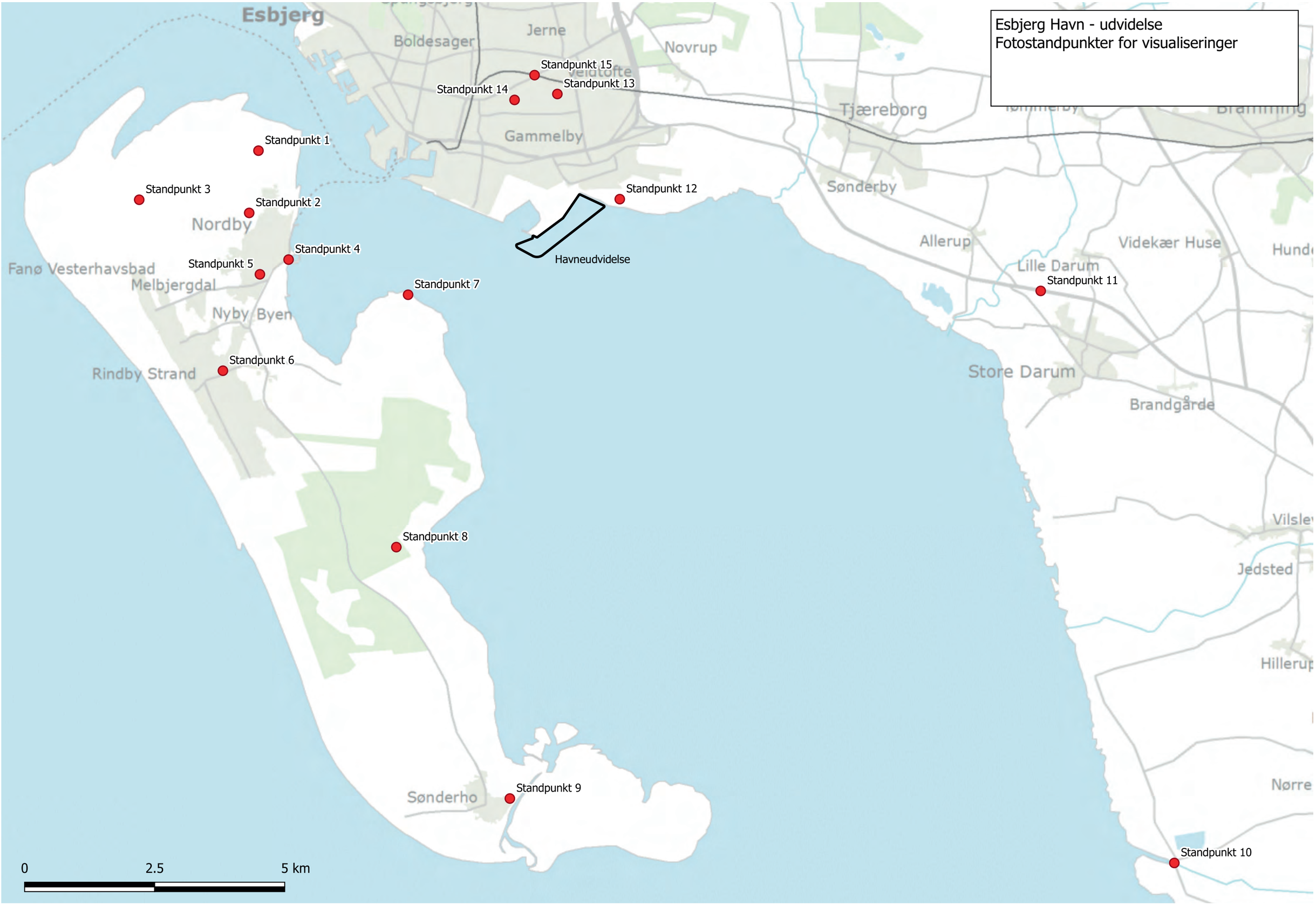
Nattevisualiseringer

Fotos er taget i nattetimerne, med en øjebliksvisning af landskab og lys. Fotos er taget med lang lukketid. Bevægelige dele skaber derfor en illusion af mere lys på horisonten, både da lyset bevæger sig, samt bliver kraftigere jo længere en lukketid der er benyttet. Lyset på projektet og eksisterende lys er derfor en approksimation af billedlige forhold. Lyset på projektet er tilnærmet eksisterende forhold, hvor eksisterende elementer er benyttet som reference. Dette er med til at sikre en ensartethed på tværs af visualiseringerne, samt en tilnærmelse af virkelige forhold. Nattefotografierne er opmålt på samme måde som dagsbillederne.

Kvalitetssikring

Alle visualiseringer er kvalitetssikret intern. For kvalitetssikringen er benyttet data fra SDFE i form af højdemodeller, ortofotos, punktskyer samt grundlæggende landkortdata. Data kvalitetssikres på tværs og de opmålte punkters korrekthed sikres ved at sammenligne data fra flere uafhængige georefererede datakilder. På fotografier hvor eksisterende bygninger og bygningsværker (eksempelvis skorstene på havnen ved Esbjergværket) benyttet til at verificere de enkelte fotomatch. Hver enkelt visualisering er gennemgået af fagpersoner og kvalitetssikret med fokus på at gengive projektet så korrekt som muligt.

Projektoversigt


Esbjerg Havn - udvidelse
Fotostandpunkter for visualiseringer
Esbjerg
Boldesager
Jerne
Novrup
Veldtofte
Gammelby
Tjæreborg
Sønderby
Allerup
Lille Darum
Videkær Huse
Store Darum
Brandgårde
Nordby
Fanø Vesterhavsbad
Melbjergdal
Nyby Byen
Rindby Strand
Sønderho
Jedsted
Hillerup
Nørre
Standpunkt 1
Standpunkt 2
Standpunkt 3
Standpunkt 4
Standpunkt 5
Standpunkt 6
Standpunkt 7
Standpunkt 8
Standpunkt 9
Standpunkt 10
Standpunkt 11
Standpunkt 12
Standpunkt 13
Standpunkt 14
Standpunkt 15
Havneudvidelse
0
2.5
5 km

Standpunkt 1|eksisterende forhold

Standpunkt 1|visualisering

Standpunkt 1|markering

Standpunkt 1|maksimale højder

Standpunkt 2|eksisterende forhold

Standpunkt 2|visualisering

Standpunkt 2|markering

Standpunkt 2|maksimale højder

Standpunkt 3|eksisterende forhold

Standpunkt 3|markering

Standpunkt 3|maksimale højder

Standpunkt 4|eksisterende forhold

Standpunkt 4|markering

Standpunkt 4|maksimale højder

Standpunkt 5|eksisterende forhold

Standpunkt 5|visualisering

Standpunkt 5|markering

Standpunkt 5|maksimale højder

Standpunkt 6|eksisterende forhold

Standpunkt 6|visualisering

Standpunkt 6|markering

Standpunkt 6|maksimale højder

Standpunkt 7|eksisterende forhold

Standpunkt 7|visualisering

Standpunkt 7|markering

Standpunkt 7|maksimale højder

Standpunkt 8|eksisterende forhold

Standpunkt 8|visualisering

Standpunkt 8|markering

Standpunkt 8|maksimale højder

Standpunkt 9|eksisterende forhold

Standpunkt 9|visualisering

Standpunkt 9|markering

Standpunkt 9|maksimale højder

Standpunkt 10|eksisterende forhold

Standpunkt 10|markering

Standpunkt 10|maksimale højder

Standpunkt 11|eksisterende forhold

Standpunkt 11|visualisering

Standpunkt 11|markering

Standpunkt 11|maksimale højder

Standpunkt 12|eksisterende forhold

Standpunkt 12|visualisering

Standpunkt 12|markering

Standpunkt 12|maksimale højder

Standpunkt 13|eksisterende forhold

Standpunkt 13|visualisering

Standpunkt 13|markering

Standpunkt 13|maksimale højder

Standpunkt 14|eksisterende forhold

Standpunkt 14|visualisering

Standpunkt 14|markering

Standpunkt 14|maksimale højder

Standpunkt 15|eksisterende forhold

Standpunkt 15|visualisering

Standpunkt 15|markering

Standpunkt 15|maksimale højder

Standpunkt 4|eksisterende forhold, nat

Standpunkt 4|nattevisualisering

Standpunkt 15|eksisterende forhold, nat

Standpunkt 15|nattevisualisering

Esbjerg Østhavn Etape 5

Ekstern støj - baggrundsrapport

ESBJERG HAVN

26. MARTS 2020

Indhold

1	**Indledning**	**4**
2	**Baggrund og indhold**	**4**
3	**Projektområdet**	**4**
4	**Planlægningsmæssige rammer**	**6**
4.1	Kommuneplanrammer	6
4.2	Lokalplaner	9
4.3	Støjbelastede arealer	14
4.4	Virksomheder med særlige beliggenhedskrav	15
4.5	Øvrige plan- og lovgivningsmæssige bindinger	16
5	**Metode**	**17**
5.1	Definitioner	17
5.2	Beregningsmetode	18
6	**Støjgrænser**	**19**
6.1	Ekstern støj	19
6.1.1	Støj fra virksomheder	19
6.1.2	Støj fra skibstrafik	20
6.1.3	Regulering af støj fra forskellige aktiviteter	20
6.1.4	Lavfrekvent støj, infralyd og vibrationer	23
6.1.5	Støj fra vejtrafik	23
6.1.6	Støj fra jernbaner og vindmøller	24
7	**Eksisterende forhold**	**24**
7.1	Støjgrænser	24
7.2	Esbjerg Havn	25
7.2.1	Blue Water Shipping	26
7.2.2	COPCO A/S	27
7.2.3	Jutlandia Terminal A/S	27
7.2.4	Semco Maritime	27
7.2.5	Stena Recycling A/S	27
7.2.6	Zodiak Havnedepot	28
7.2.7	Ørsted Bioenergy & Thermal Power A/S, Esbjergværket	28
7.2.8	NCC Industry A/S Vesterhavsral	28

7.2.9	Siemens Gamesa Renewable Energy A/S	28
7.2.10	Mhi Vestas Offshore Wind A/S	28
7.2.11	Scandinavian Auto Logistics	29
7.2.12	Sea Cargo	29
7.2.13	IAT Base & Energy A/S	29
7.2.14	Øvrige virksomheder	29
7.2.15	Esbjerg Havn	29
7.2.16	Støjberegninger	30
7.3	Støj fra vindmøller	32
7.4	Trafikstøj	34
7.5	Samlet støjpåvirkning	34
8	**Støj i anlægsfasen**	**35**
8.1	Ekstern støj - anlægsfasen	35
8.2	Vibrationer	40
8.3	Lavfrekvent støj og infralyd	40
8.4	Trafikstøj	41
8.4.1	Tilførsel af materialer	41
8.4.2	Trafik	41
9	**Driftsfasen**	**42**
9.1	Skibe/installationsfartøjer ved kaj	42
9.2	Ekstern støj fra virksomheder	42
9.3	Lavfrekvent støj, infralyd og vibrationer	43
9.4	Trafikstøj	43
10	**Kumulative effekter**	**44**
11	**Landstrøm**	**45**
12	**Referencer**	**48**

1 Indledning

Denne rapport vedrører ekstern støj i forbindelse med miljøkonsekvensrapport for udvidelse af Esbjerg Havn.

Emissionen af støj opdeles i henholdsvis anlægsstøj, virksomhedsstøj og støj fra vejtrafik. I forbindelse med anlægsstøj og virksomhedsstøj behandles desuden emner som vibrationer, lavfrekvent støj og infralyd.

2 Baggrund og indhold

Der er udarbejdet støjberegninger for det eksisterende støjbidrag fra havnen og havnevirksomhederne på baggrund af kendskab til eksisterende havneaktiviteter og virksomheder i området. Påvirkningen fra havneudvidelsen er vurderet ved beregning af støj fra hhv. aktiviteter i anlægsfasen og aktiviteter i driftsfasen. Der er foretaget vurderinger af både på støj fra enkelt virksomheder og på den samlede kumulative støj fra nuværende og fremtidige virksomheder og aktiviteter. Støjberegninger er foretaget ved hjælp af beregningsprogrammet SoundPLAN efter Miljøstyrelsens gældende vejledninger. Resultatet er vist på støjkort, så støjudbredelsen kan vurderes i alle geografiske punkter omkring Esbjerg Havn.

Beregningerne anvendes både til vurdering af støjpåvirkning for befolkningen og for dyreliv.

Der er foretage vurderinger af trafikstøj på det overordnede vejnet (Tjæreborgvej og Gammelby Ringvej). Der er foretaget vurderinger for såvel de eksisterende forhold samt de fremtidige forhold med udvidelse af havnen baseret på den fremtidige forventede trafik.

Sidst i rapporten er der i afsnit 11 beskrevet de støjmæssige konsekvenser ved indførelse af landstrøm på den eksisterende havn.

3 Projektområdet

Der er indledningsvis foretaget en beskrivelse af området med afsæt i de planlægningsmæssige rammer for anlægsområdet og relevante nærliggende områder. Rammerne er fastsat af Esbjerg Kommuneplan (Esbjerg Kommune, 2018) og Fanø kommuneplan 2013 (Fanø Kommune, 2017), samt af øvrige myndigheders plan- og lovgivningsmæssige bindinger. Arealinteresser er afdækket ved opslag i gældende planer for området og ved søgninger i Danmarks Miljøportal (Danmarks Miljøportal, 2020) og Plandata (Plandata, 2018).

Projektområdet for den ønskede havneudvidelse fremgår af Figur 3.1 nedenfor.

Figur 3.1: Projektområdet (etape 5).

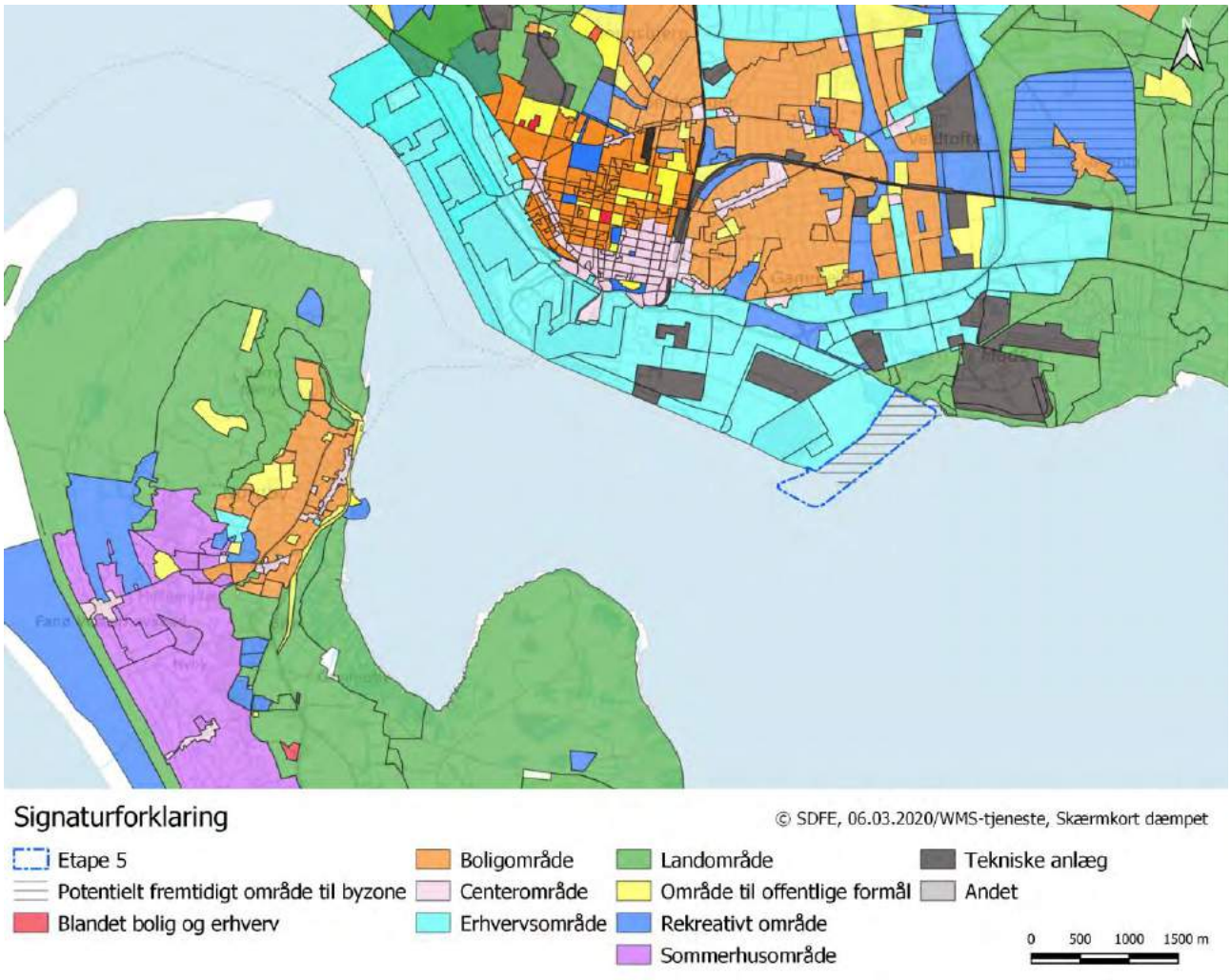
4 Planlægningsmæssige rammer

I dette afsnit beskrives de relevante rammer og retningslinjer samt tilhørende udpegninger, som findes i Kommuneplan 2018-2030 for Esbjerg kommune (Esbjerg Kommune, 2018) og - hvor det er relevant - Fanø Kommuneplan 2017 (Fanø Kommune, 2017).

4.1 Kommuneplanrammer

Ifølge rammeområdebestemmelserne i Esbjerg Kommuneplan 2018-2030 (Esbjerg Kommune, 2018) ligger havneudvidelsen uden for vedtagne kommuneplanrammer, da den ligger på havet, se Figur 4.1.

Figur 4.1: Projektområdet grænser til havneerhvervsområde mod vest samt landområde mod nord (Danmarks Miljøportal, 2020)



Projektområdet grænser mod nordvest op til areal med hovedanvendelsen *Havneområde* (Kommuneplanramme 01-100-230).

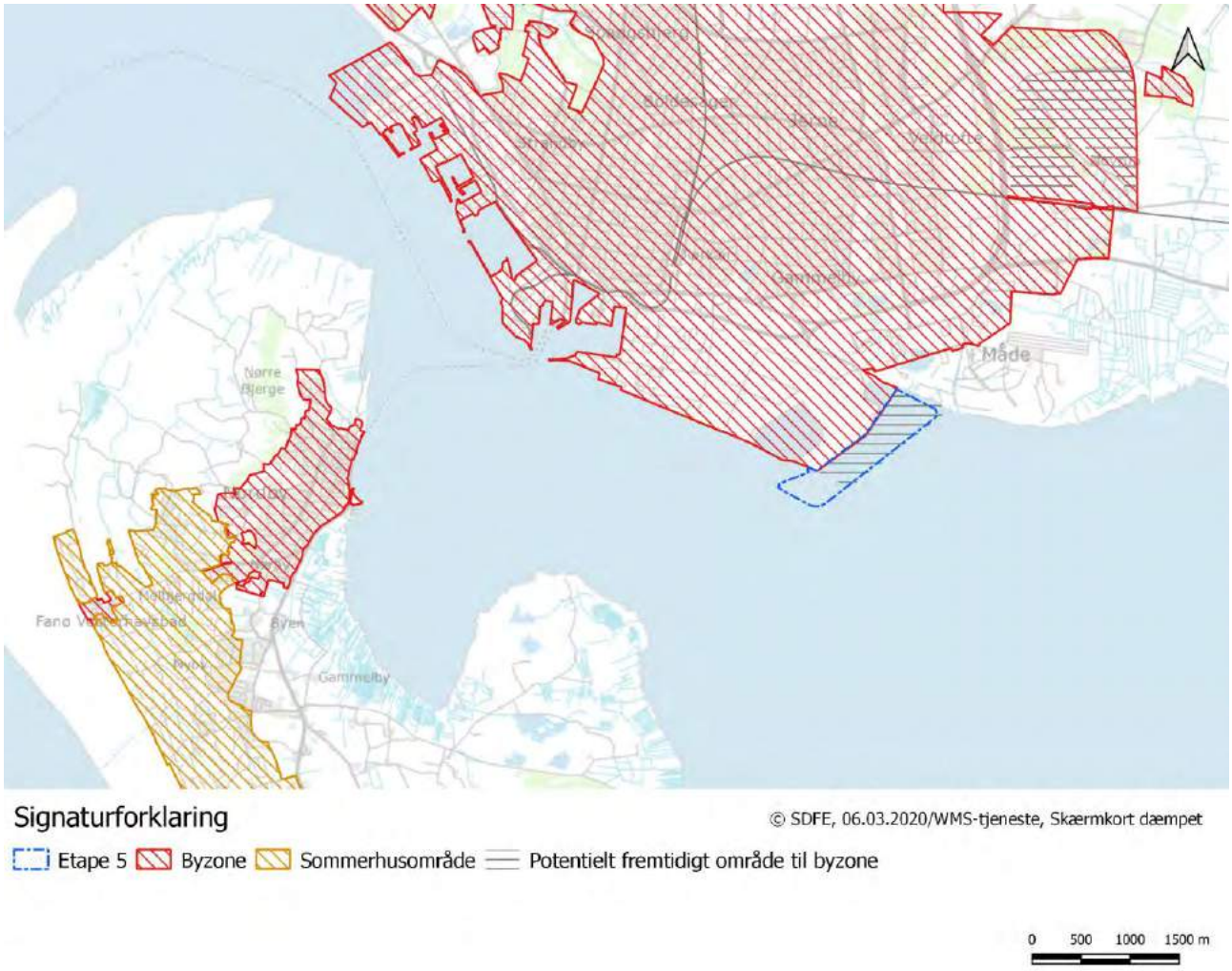
Mod nord grænser projektområdet op til areal med hovedanvendelsen *Grønt danmarkskort* (Kommuneplanramme 11-030-70 Natur nord for Mådehavn og 11-030-72 Natur mellem Mådevej og havet). I Tabel 4.1 er anvendelsen af arealerne indsat, idet der primært er fokuseret på forhold, der har relevans i forhold til ekstern støj.

Rammeområde nr.	Anvendelse
01-100-230	Hovedanvendelse: Havneområde Anvendelsen fastlægges til havneerhverv uden boliger, dvs. havneerhverv i form af kraftværker og havneorienteret industri med særlige beliggenhedskrav, samt mindre belastende havneerhverv såsom havneorienteret håndværk, maskinfabrikker, levnedsmiddelfabrikker, fragt, handel og service. Der kan placeres virksomheder, der i Håndbog om Miljø og Planlægning er klassificeret mellem klasse 4 og 7. Der skal sikres en hensigtsmæssig trafikbetjening af området. Vandareal overføres til byzone. Støjbelastningen fra hver virksomhed fastsættes for perioderne dag/aften/nat til: * max 70/70/70 dB(A) uden for egen grundgrænse i området, * max tilladte støj i naboerhvervsområder, * max 55/45/40 dB(A) i centerområder (herunder blandet bolig og erhverv) og ved boliger i det åbne land, * max 50/45/40 dB(A) i etageboligområder og * max 45/40/35 dB(A) i områder med lav bebyggelse. I området skal der sikres areal til og udfoldelsesmuligheder for risikoerhverv. Der skal sikres areal til og udfoldelsesmuligheder for Trafik- og Færgehavn i sejlbare vandarealer og på havneværker, som kajanlæg, ramper og lignende. I området skal der sikres areal til og udfoldelsesmuligheder for godsbaneterminal. Der er udarbejdet en miljørapport eller en VVM-redegørelse for et VVM-pligtigt projekt i området. Der må ikke tillades etableret eller ændret byggeri eller anlæg, der kan forhindre en realisering af det beskrevne projekt.
11-030-70	Hovedanvendelse: Grønt danmarkskort (ikke 'grønt rekreativt område') Anvendelsen fastlægges til grønt danmarkskort med det sigte at beskytte og udvikle levesteder og spredningskorridorer for vilde dyr og planter samt beskytte landskabelige og kulturhistoriske værdier. Der må ikke tillades etableret eller ændret anlæg, så de naturmæssige og landskabelige værdier forringes. Ny bebyggelse og anlæg skal søges placeret uden for det grønne danmarkskort. Er det ikke muligt, stilles der krav om afskærmende beplantning. Eksisterende landbrug kan fortsættes i områderne. Fastholdes som landzone. Der kan etableres de til områdets anvendelse og drift nødvendige bygninger og anlæg. I området skal der sikres areal til og udfoldelsesmuligheder for vindmøller og dertilhørende tekniske anlæg. Inden for følgende støjisolinje(r) må der ikke tillades etableret støjfølsom anvendelse, med mindre det i henhold til de til enhver tid gældende love, vejledninger og lignende godtgøres, at grænseværdierne med f.eks. støjdæmpende foranstaltninger kan respekteres, og det i øvrigt ikke er en belastning over for den tilladte aktivitet, der er baggrund for støjisolinjen: Vindmøllestøj-isolinjen på 37 dB(A).
11-030-72	Hovedanvendelse: Grønt danmarkskort (ikke 'grønt rekreativt område') Anvendelsen fastlægges til grønt danmarkskort med det sigte at beskytte og udvikle levesteder og spredningskorridorer for vilde dyr og planter samt beskytte landskabelige og kulturhistoriske værdier. Der må ikke tillades etableret eller ændret anlæg, så de naturmæssige og landskabelige værdier forringes. Ny bebyggelse og anlæg skal søges placeret uden for det grønne danmarkskort. Er det ikke muligt, stilles der krav om afskærmende beplantning. Eksisterende landbrug kan fortsættes i områderne. Der kan etableres de til områdets anvendelse og drift nødvendige bygninger og anlæg. Bygningshøjden fastsættes i overensstemmelse med Byggelovens bestemmelser. I området skal der sikres areal til og udfoldelsesmuligheder for vindmøller og dertilhørende tekniske anlæg. Inden for følgende støj-isolinje(r) må der ikke tillades etableret støjfølsom anvendelse, med mindre det i henhold til de til enhver tid gældende love, vejledninger og lignende godtgøres, at grænseværdierne med f.eks. støjdæmpende foranstaltninger kan respekteres, og det i øvrigt ikke er en belastning over for den tilladte aktivitet, der er baggrund for støj-isolinjen: Vindmøllestøj-isolinjen på 37 dB(A).

Tabel 4.1: Tilgrænsende kommuneplanrammer (Danmarks Miljøportal, 2020)

Projektområdet grænser op til byzonen i Esbjerg by, og på Fanø er Nordby udpeget til byzone, se Figur 4.2.

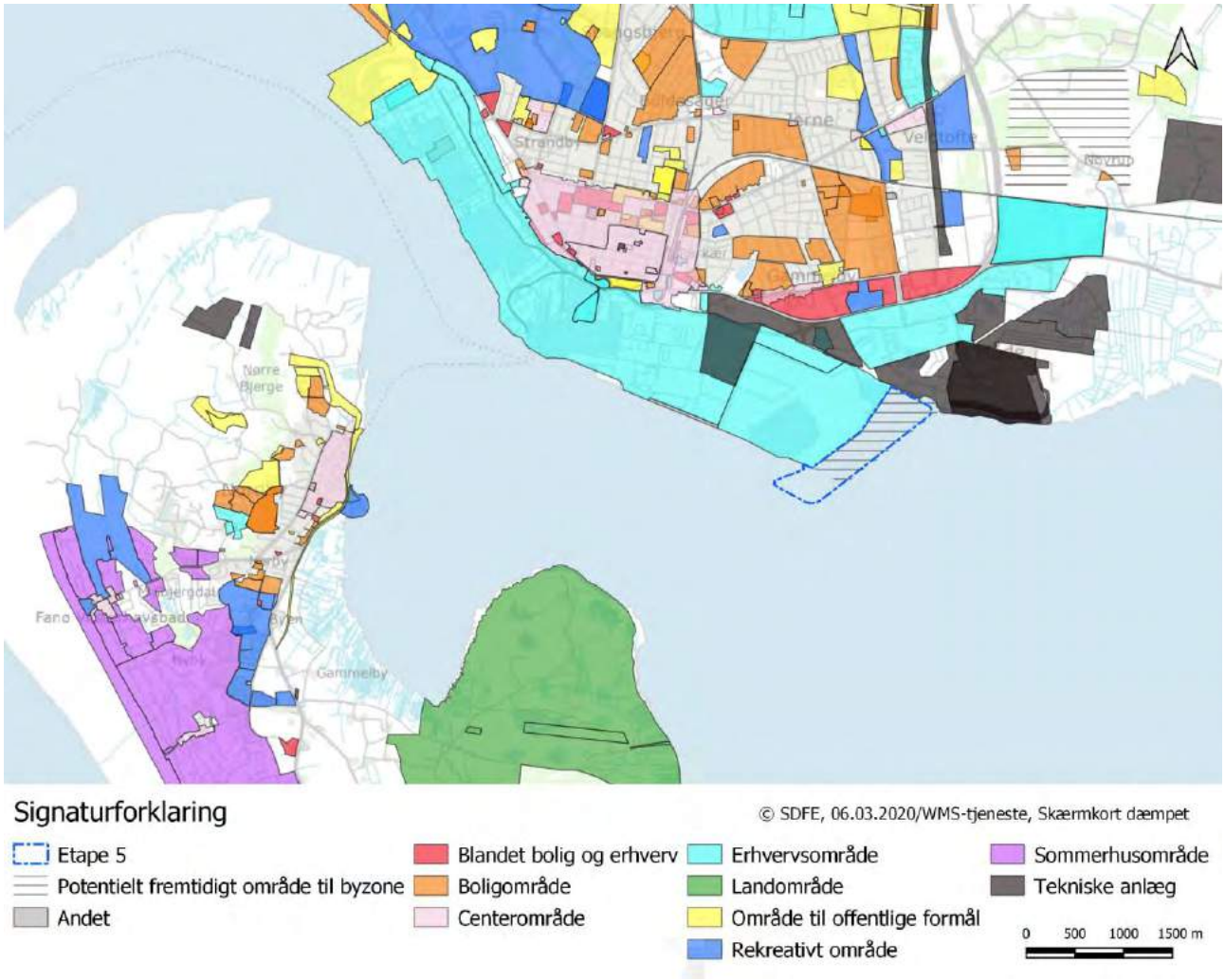
Figur 4.2: Projektområdet og nærliggende områders zonestatus i kommuneplanen (Danmarks Miljøportal, 2020).



4.2 Lokalplaner

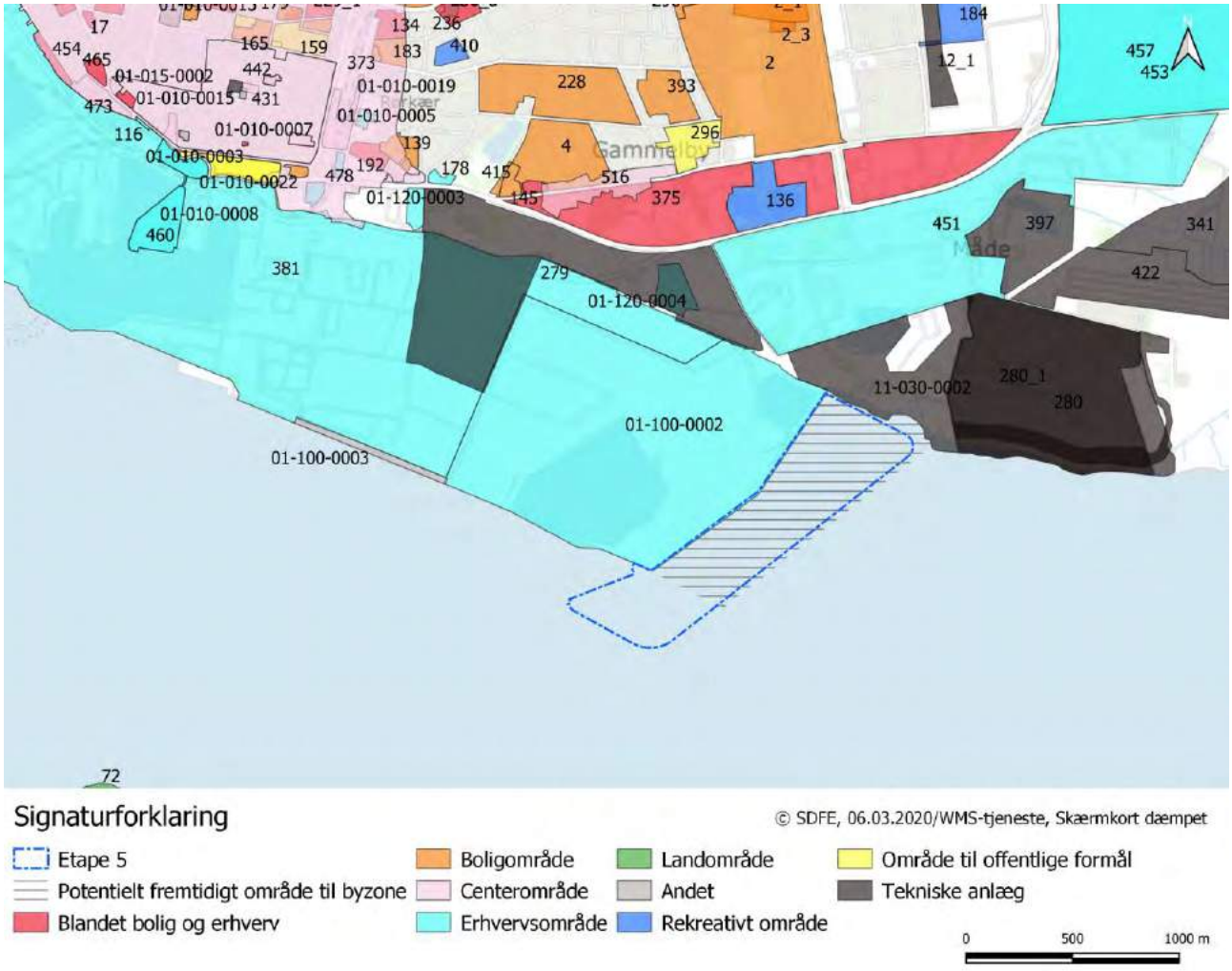
Selve havneudvidelsen – benævnt etape 5 – er ikke omfattet af lokalplaner. Figur 4.3 viser, hvilke områder der er lokalplanlagt i Esbjerg og Fanø.

Figur 4.3: Vedtagne lokalplaner i Esbjerg og på Fanø (Danmarks Miljøportal, 2020). For lokalplannumre henvises til mindre udsnit i Tabel 4.2 og Tabel 4.3.



På land umiddelbart nord for etape 5 ligger i Esbjerg Kommune lokalplanområdet for vindmølleanlægget "Forsøgsmøller ved Esbjerg" (11-030-0002), se Figur 4.4. Mod vest grænser etape 5 til Lokalplanområdet "Havneudvidelse mod syd" (01-100-0002), som er erhvervsområde til havneerhverv. I Tabel 4.2 fremgår den fastlagte anvendelse i disse og andre nærliggende lokalplanområder.

Figur 4.4: Vedtagne lokalplaner i nærområdet i Esbjerg (Danmarks Miljøportal, 2020).

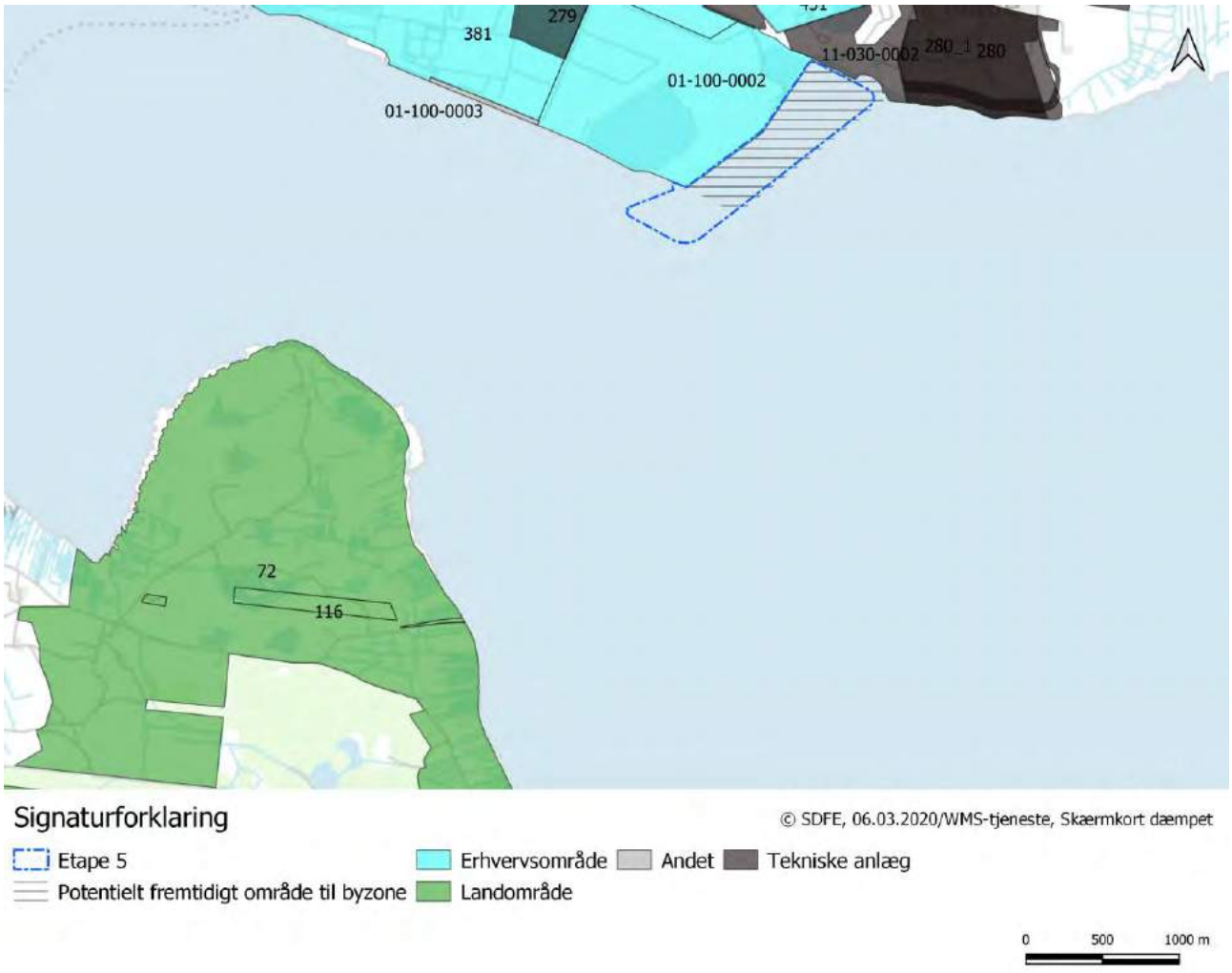


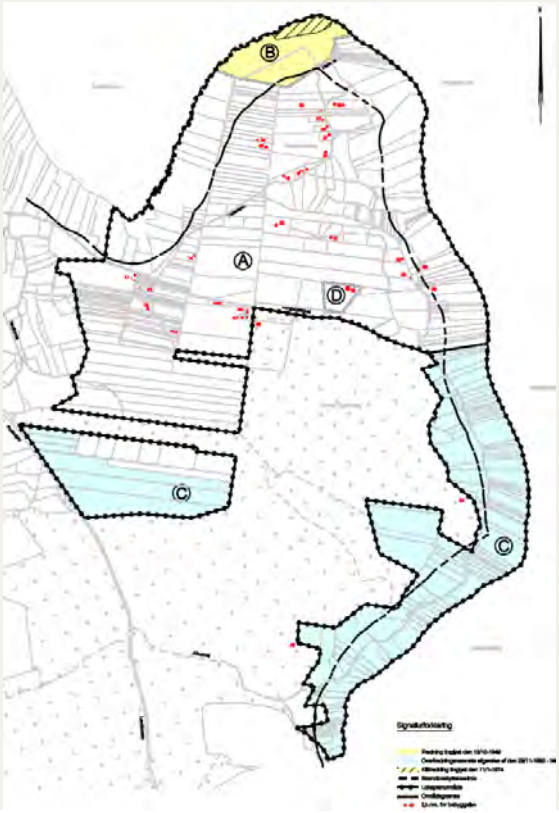
Lokalplan nr.	Anvendelse
11-030-0002	Forsøgsmøller ved Esbjerg. Lokalplanområdet kan anvendes til opstilling af op til 4 forsøgsvindmøller med tilhørende anlæg og bygninger, arbejdsarealer og tilkørselsveje samt meteorologimaster på land og master til lysmarkering på land. Lokalplanen rummer ikke mulighed for støjfølsom anvendelse.
01-100-0002	Havneudvidelse mod syd. Udlægges til havneorienteret industri med særlige beliggenhedskrav samt havneerhverv såsom containerterminal, færgeterminal, havneorienteret håndværk, maskinfabrikker, levnedsmiddelfabrikker, fragt, oplag af gods, handel og service med tilhørende kontor og velfærdsfaciliteter samt anlæg til skibsdriften. Lokalplanen rummer ikke mulighed for støjfølsom anvendelse.
279	Område til deponering af oprenset sediment fra Esbjerg Havn. Anvendelsen i delområde II er fastlagt til deponering af oprenset sediment og er udlagt til offentligt grøn område efter endt opfyldning. (Deponering er ophørt og området er overgået til grønt område). Afstanden mellem projektområdet og det grønne område er ca. 350 m.
280	Udvidelse af deponeringskapaciteten for lossepladsen i Måde, skydebane og vindmøller. Anvendelsen i delområde B er fastlagt til kontrolleret losseplads med tilhørende anlæg, og efter afsluttet deponering overgår området til offentligt grønt område. Afstanden mellem projektområdet og det grønne område er ca. 250 m. Tillæg til lokalplan nr. 280. Senere er bl.a. overgangen til grønt område blevet reguleret via et lokalplantillæg, således at dette skal ske efter en fastlagt disponering. Afstanden mellem projektområdet og det grønne område er ca. 250 m.

Tabel 4.2: Tilgrænsende lokalplanområder (Plandata, 2018).

På Fanø er der på Halen en række lokalplanområder "Bebyggelse på Halen, Sandflod Hede og langs Albuevej" (72) og "Fritidshuse på Halen" (116), se Figur 4.5. I Tabel 4.3 fremgår den fastlagte anvendelse i disse lokalplanområder.

Figur 4.5: Vedtagne lokalplaner i nærområdet på Fanø (Plandata, 2018)



Lokalplan nr.	Anvendelse
116	Fritidshuse på Halen. Lokalplan 116 omfatter de tre mørke striber på Figur 4.5 Områdets anvendelse fastholdes som naturområde med spredt fritidsbebyggelse med mulighed for ekstensiv jordbrugsmæssig udnyttelse, f.eks. græsning, høslæt, rørhøst, skrælning af mønningstørv og lignende. De eksisterende 3 fritidshuse må udskiftes, udvides eller ombygges efter nærmere angive bestemmelser og kun med nærmere angivne placeringer inden for afgrænsede byggefelter. Afstanden mellem projektområdet og det nærmeste fritidshus er ca. 2,25 km.
72	Bebyggelse på Halen, Sandflod Hede og langs Albuevej. Lokalplan 72 er aflyst for arealerne omfattet af lokalplan 116. Område A, B og C's anvendelse fastlægges til naturområde med én helårsbebyggelse, spredt fritidsbebyggelse og med mulighed for ekstensiv jordbrugsmæssig udnyttelse, f.eks. græsning, høslæt, rørhøst, skrælning af mønningstørv og lignende. Lokalplanen fastlægger ikke anvendelsen af områderne A-C til rekreativt område eller sommerhusområde, hvorved fritidshusene set ift. f.eks. støjbestemmelser må betragtes som bolig i åbent land. Der må ikke etableres ny selvstændig bebyggelse, og eksisterende bebyggelse må kun ombygges, udskiftes eller udbygges efter nærmere angivne bestemmelser for de enkelte delområder. Afstanden mellem projektområdet og det nærmeste fritidshus beliggende i område A er ca. 1,25 km. Område D må kun anvendes til følgende formål – spejderbygning, lejrskole, skovbørnehave og lignende. 

Tabel 4.3: Tilgrænsende lokalplanområder på Fanø (Plandata, 2018).

4.3 Støjbelastede arealer

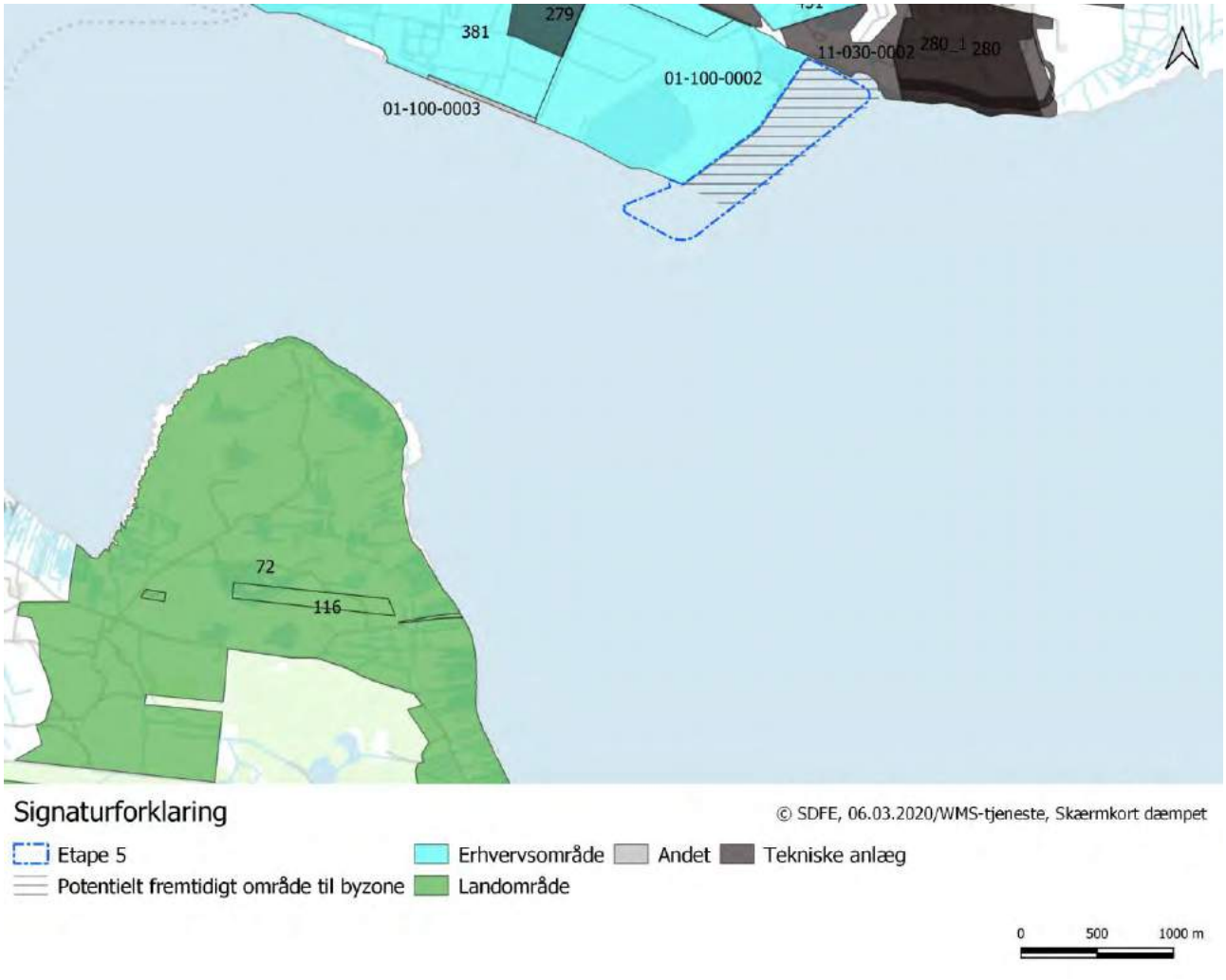
Støjbelastede arealer jf. planlovens § 11a, stk. 7 har til følgende formål: ”sikring af, at støjbelastede arealer ikke udlægges til støjfølsom anvendelse, medmindre den fremtidige anvendelse kan sikres mod støjgener, jf. § 15 a,”. Projektområdet ligger delvist inden for område som er udlagt som støjbelastet areal.

I kommuneplanen for Esbjerg Kommune står der: ”*Støjbelastede arealer i landzone, der skal forblive i landzone, må ikke udlægges til støjfølsom anvendelse. I kommuneplanen angives der støjisolinjer omkring støjende aktiviteter i det åbne land. Isolinjen har til formål at sikre, at aktiviteterne ikke skaber støjproblemer i de omkringliggende områder. Indenfor støjisolinjen, må der ikke opføres støjfølsom bebyggelse eller udlægges områder til støjfølsom anvendelse*” (Esbjerg Kommune, 2018).

I Esbjerg ligger der en række støjbelastede arealer i nærområdet bl.a. den eksisterende havn samt vindmølleområder (se Figur 4.6). Bemærk at nogle af områderne overlapper hinanden, derfor er nogle områder mere brune end andre.

På Fanø ligger der støjbelastede arealer omkring tre vindmøller og en skydebane nord for Nordby.

Figur 4.6: Støjbelastede arealer i kommuneplanerne for Esbjerg og Fanø (Danmarks Miljøportal, 2020).



4.4 Virksomheder med særlige beliggenhedskrav

Projektet grænser op til arealer udpeget til virksomheder med særlige beliggenhedskrav jf. planlovens § 11a, pkt. 6 "Beliggenheden af virksomheder mv., hvortil der af hensyn til forebyggelse af forurening må stilles særlige beliggenhedskrav" (Figur 4.7). Det drejer sig om de eksisterende samt seneste udvidelser af havnearealerne, og et areal ved Måde nord for etape 5 (Plandata, 2018). Dette er uddybet i lokalplanerne for områderne, som er gennemgået nedenfor.

I Esbjerg Kommunes retningslinjer står der vedr. erhvervsområder til erhverv med særlige beliggenhedskrav: "*I erhvervsområder gives der mulighed for erhverv svarende til klasse 4 -7 i Håndbog om Miljø og Planlægning (2004). I disse områder må der ikke ligge boliger. Der kan i rammedelen gives mulighed for kontorer, hvor det kan indpasses i forhold til den øvrige anvendelse i området.*" (Esbjerg Kommune, 2018).

På Fanø er der ikke udpeget arealer til virksomheder med særlige beliggenhedskrav.

Figur 4.7: Erhvervsområder til erhverv med særlige beliggenhedskrav, jf. kommuneplanen (Danmarks Miljøportal, 2020).

4.5 Øvrige plan- og lovgivningsmæssige bindinger

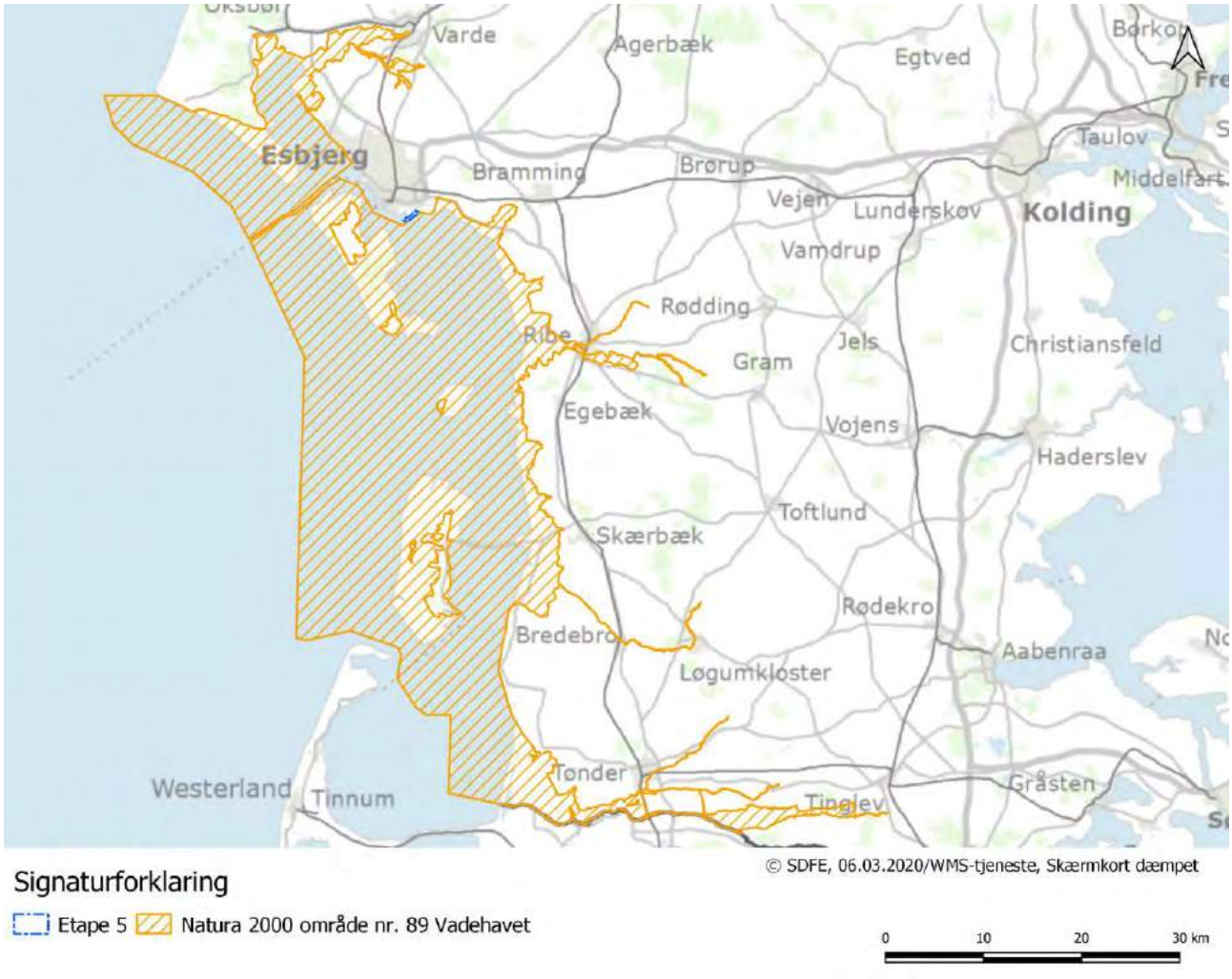
I dette afsnit gennemgås de øvrige planmæssige bindinger for og i nærheden af projektområdet, som vurderes at være betydende i forhold til det planlagte projekt og ekstern støj.

Vadehavet har status som et internationalt naturbeskyttelsesområde og er således omfattet af bestemmelserne i Bekendtgørelse om afgrænsning og administration af internationale naturbeskyttelsesområder (BEK nr 188 af 26/02/2016).

Projektområdet grænser umiddelbart op til Natura 2000-område nr. 89: Vadehavet. Øvrige Natura 2000-områder ligger i så lang afstand fra projektområdet, at der ikke er risiko for, at disse vil blive påvirket af projektet. Se Figur 4.8.

Der er foretaget en beskrivelse og vurdering af Natura 2000-område nr. 89 og projektets potentielle påvirkning på naturbeskyttelsesområdet. Dette er sket i et særskilt dokument *" Miljøkonsekvensrapport Esbjerg Havn etape 5"* (Niras A/S, 2020).

Figur 4.8: Projektområdet samt det nærliggende Natura 2000-område nr. 89: Vadehavet (Danmarks Miljøportal, 2020)



5 Metode

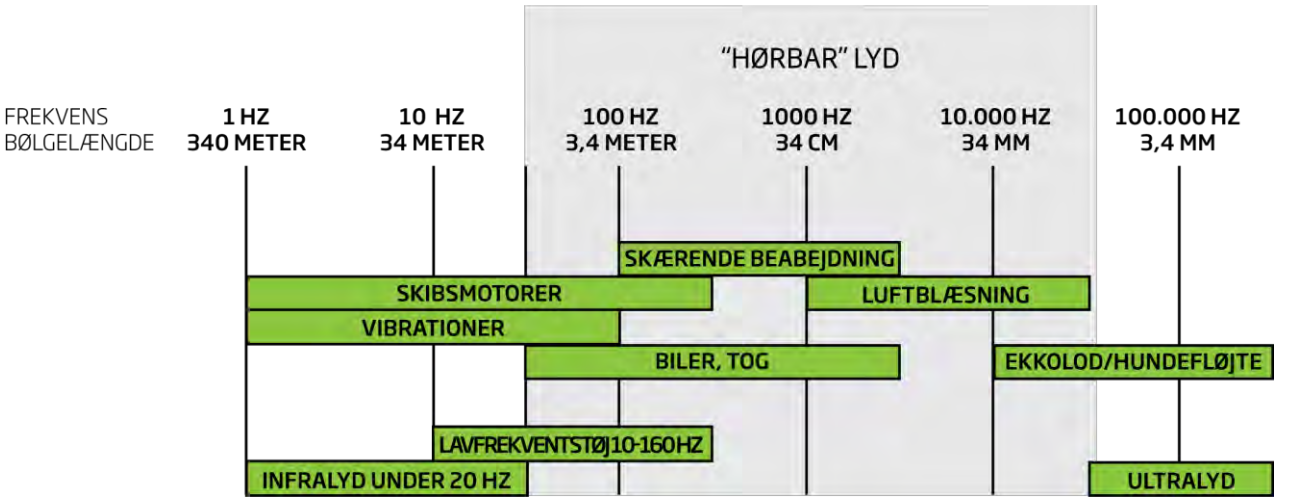
I dette afsnit er der foretaget en beskrivelse af begrebet støj og hvilke enheder og metoder, der arbejdes med.

5.1 Definitioner

Lydens styrke måles i decibel - forkortet dB. Ved måling af lydens styrke bruges en særlig metode, som efterligner det menneskelige øres følsomhed. Når der måles på denne måde, kaldes måleenheden dB(A). En stigning på 3 dB svarer til en fordobling og en dæmpning på 3 dB svarer til en halvering af lydstyrken. Der skal dog en stigning på 8-10 dB(A) til, før det opleves som støjen er blevet fordoblet.

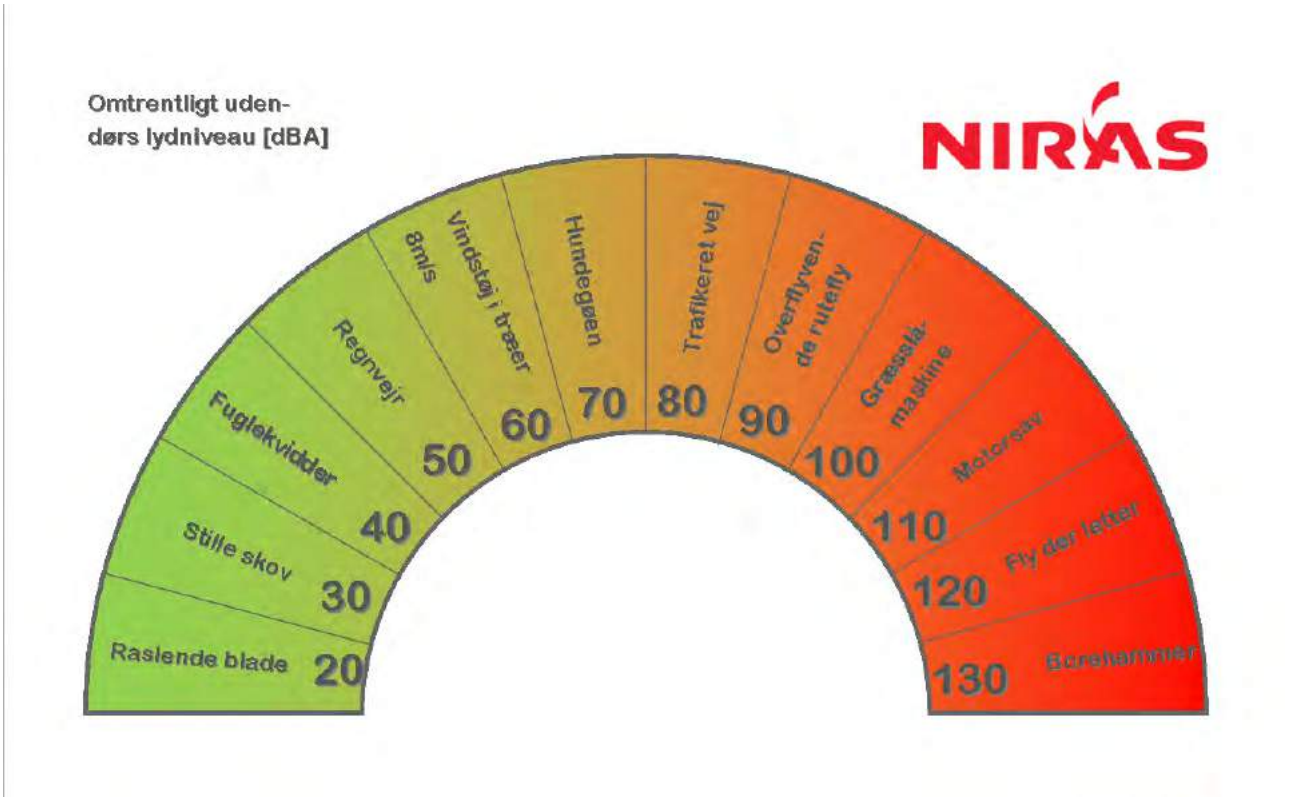
Det menneskelige øre er følsomt for lyde inden for frekvensområdet 20-20.000 Hz og særlig følsomt i området 2.000-5.000 Hz. Dybe toner i frekvensområdet 10-160 Hz betegnes lavfrekvent støj, mens infralyd er betegnelsen for lyd i frekvensområdet under 20 Hz, se Figur 5.1. Det menneskelige øre er almindeligvis ikke ret følsomt over for dybe lyde, men lyden er hørbar, hvis niveauet er højt nok, og den vil da ofte være generende.

Figur 5.1: Typiske støjkilders frekvenssammensætning samt definition af forskellige støjtyper.



Nedenstående Figur 5.2 viser typiske støjniveauer for udendørs støj.

Figur 5.2: Typiske udendørs lydniveauer ved forskellige støjkilder



5.2 Beregningsmetode

Beregninger af støj er gennemført efter den fælles nordiske beregningsmodel angivet i Miljøstyrelsens vejledning nr. 5/1993, (Miljøstyrelsen, 1993).

Til beregningerne af støj er anvendt programmet SoundPLAN ver. 8.1, hvor kort med målestoksforhold, bygninger, skærme, reflekterende genstande, terræn, beregningspunkter og kildedata indlægges /digitaliseres, hvorefter SoundPLAN beregner støjen i udvalgte punkter. Programmet beregner støjen i et net på f.eks. 25 * 25 m og ud fra disse beregninger foretages en interpolation til sammenhængende isodecibellinjer. Resultatet kan herefter præsenteres i overskuelig grafisk form som et støjkort.

Der findes ingen præcise metoder til at regne udbredelse af vibrationer gennem jorden. Det er fordi undergrundens sammensætning og beskaffenhed er af overordentlig stor betydning for udbredelsen af vibrationer i jordbunden. Endvidere er de enkelte bygningers kvalitet, konstruktionsvalg og fundering af meget stor betydning for de vibrationsgener, der opleves indendørs. Derfor er vurdering af vibrationer primært foretaget ud fra erfaringer fra bl.a. andre anlægsarbejder.

6 Støjgrænser

I dette afsnit er der angivet miljømål for støj og vibrationer i forhold til de enkelte typer af støj/vibrationer samt områdeanvendelse. Der er tale om generelle danske retningslinjer udarbejdet af Miljøstyrelsen.

Der skelnes mellem forskellige typer af støj:

- Ekstern støj
- Lavfrekvent støj
- Infralyd

Desuden er der også regulering af vibrationer, der kan give gener for mennesker.

Støj opdeles yderligere i typen/den kilde der er årsag til støj. Der er specielle støjgrænser, reguleringer og beregningsmetoder for f.eks.:

- Virksomhedsstøj
- Støj fra vejtrafik
- Støj fra jernbaner
- Støj fra vindmøller

For hver støjtype gælder forskellige grænseværdier, der bl.a. er fastlagt på baggrund af den genevirkning støjetypen giver. Der findes ingen regler for den samlede støjpåvirkning, som folk kan påvirkes med.

6.1 Ekstern støj

6.1.1 Støj fra virksomheder

Støj fra virksomheder reguleres jf. Miljøstyrelsens vejledning nr. 5 fra 1984 om ekstern støj fra virksomheder, (Miljøstyrelsen, 1984). Grænseværdierne angiver det støjniveau, som den enkelte virksomhed ikke må overstige i naboområderne. Der er altså ingen regulering af det samlede kumulative støjbidrag fra en række virksomheder, f.eks. fra et havneområde bestående af en række virksomheder.

De vejledende støjgrænseværdier er angivet i Tabel 6.1.

Område	Hverdage Kl. 07 – 18 Lørdage: Kl. 07 – 14	Hverdage Kl. 18 – 22 Lørdage Kl. 14 – 18 Søn- og helligdage: Kl. 07 – 22	Alle dage Kl. 22 – 07	Makismalværdier om natten Kl. 22 – 07
1. Erhvervs- og industriområder	70	70	70	
2. Erhvervs- og industriområder med forbud mod generende virksomheder	60	60	60	
3. Områder for blandet bolig- og erhvervsbebyggelse, centerområder (bykerne)	55	45	40	55
4. Etageboligområder	50	45	40	55
5. Boligområder for åben og lav boligbebyggelse	45	40	35	50
6. Sommerhusområder og offentligt tilgængelige rekreative områder	40	35	35	50

Tabel 6.1: Vejledende grænseværdier for ekstern støj i dB(A) (Miljøstyrelsen, 1984)

Grænseværdierne er angivet som det A-vægtede ækvivalente korrigerede støjniveau. Det ækvivalente støjniveau er støjens middelværdi over et tidsrum (om dagen 8 timer, om aftenen 1 time og om natten ½ time). På lørdage er midlingstiden hhv. 7 og 4 timer i tidsrummene 7-14 og 14-18.

Hvis støjen indeholder tydeligt hørbare toner eller impulser ved beregning-/målepunkterne, skal man lægge 5 dB til det ækvivalente støjniveau for at bestemme den samlede støjbelastning.

Ovenstående vejledende grænseværdier bliver reguleret via et evt. påbud fra tilsynsmyndigheden (den lokale kommune), jfr. § 42 i miljøbeskyttelsesloven eller via vilkår i en miljøgodkendelse (kommune eller Miljøstyrelsen).

6.1.2 Støj fra skibstrafik

Skibe på havet er ikke omfattet af reglerne for støj, da miljøbeskyttelsesloven først gælder, når skibe lægger til kaj. Når skibene lægger til kaj, er de til gengæld medtaget som støj fra aktiviteter på havnen. Hvis der er tale om lastning/losning i tilknytning til en af virksomhederne på havnen, opfattes skibet lovgivningsmæssigt som én af virksomhedens støjkilder. Men ofte betragtes støj fra skibe ved kaj som havnens virksomhed, da det ofte er havnen, der er ansvarlig for losning af gods. Der er dog visse juridiske uklarheder om hvem, der har ansvaret for den pågældende aktivitet.

6.1.3 Regulering af støj fra forskellige aktiviteter

Støjen fra byggepladser i Danmark reguleres i henhold til miljøbeskyttelsesloven. Hvis en aktivitet på en byggeplads medfører væsentlige gener, eksempelvis i form af støj, kan kommunalbestyrelsen med hjemmel i miljøbeskyttelseslovens § 42 give påbud om, at forureningen (her støjulemper) skal nedbringes, herunder påbud om gennemførelse af bestemte støjbegrænsende foranstaltninger. Et påbud om at nedbringe støjen gives undertiden i form af et påbud om, at støjende aktiviteter ikke må foregå uden for et nærmere anført tidsrum, og ikke som et påbud om at overholde visse specificerede støjgrænser.

Anlægsarbejder medfører ofte et støjniveau, der ligger over de vejledende støjgrænser for virksomhedsstøj anført i Tabel 6.1, specielt i områder, hvor anlægsarbejder skal udføres tæt på boliger. Da der ofte er en samfundsmæssig interesse i at gennemføre et anlægsprojekt, er det sædvanlig praksis, at miljømyndighederne (kommunerne), ser bort fra de vejledende grænseværdier for virksomhedsstøj, og fastsætter lempeligere støjgrænser, hvilket sker ud fra en konkret vurdering i hvert tilfælde, eller via retningslinjer i kommunale forskrifter. Nogle kommuner har udarbejdet forskrifter, hvor det nærmere er beskrevet, hvordan regulering finder sted.

Esbjerg og Fanø kommuner har udarbejdet en fælles forskrift for midlertidige bygge- og anlægsarbejder (Esbjerg Kommune, 2016).

I forskriften er der angivet følgende retningslinjer:

"Retningslinjer

§ 3.
Alle støjende aktiviteter jf. § 2 stk. 1 må kun foregå på hverdage fra mandag til fredag mellem kl. 7.00 og 18.00 og lørdage mellem kl. 7.00 og 14.00.

Støj, vibrationer, lavfrekvent støj og infralyd

§ 4.
Udførende entreprenør/personer skal overholde grænseværdierne jf. bilag A.

§ 5.
Esbjerg Kommune, Miljø kan forlange, at entreprenøren/personen foretager støj- eller vibrationsmåling i forbindelse med bestemte

bygge- og anlægsaktiviteter og overfladebehandling, hvis det konstateres, at aktiviteterne giver anledning til væsentlige gener i omgivelserne. En evt. støj- eller vibrationsmåling skal ske for egen regning.

Målingerne/beregningerne skal foretages som "Miljømåling – ekstern støj", jf. Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 900 af 17. august 2011 om kvalitetskrav til miljømålinger udført af akkrediterede laboratorier, certificerede personer m.v.

§ 6.

Stk. 1.
Uanset bestemmelsen i § 4 skal valg af maskiner, arbejdsmetoder og indretning af arbejdspladsen ske, så omgivelserne generes mindst muligt af støj og vibrationer.

Stk. 2.
Esbjerg Kommune, Miljø kan forlange dokumentation for, at valgte maskiner og arbejdsmetoder er de mest skånsomme for miljøet med hensyn til støj og vibrationer.

§ 7.
Særligt støjende aktiviteter må kun finde sted på hverdage mandag til fredag fra

kl. 7.00 - 18.00. Særligt støjende aktiviteter er:

- *Nedramning af spuns, pæle eller lignende.*
- *Etablering af sekantpæle eller jordankre.*
- *Skærende og slibende aktiviteter, fx betonskæring, asfaltskæring, metal-skæring*
- *eller lignende.*
- *Betonnedbrydning.*
- *Nedknusning af beton.*
- *Tilsvarende støjende aktiviteter."*

Herudover er der i § 10 angivet mulighed for dispensation fra retningslinjerne såfremt visse forudsætninger er opfyldt.

Bilag A i forskriften, der er henvist til i § 4 er affattet således:

Bilag A

Grænseværdier for støj og vibrationer			
		Bortset fra maksimalværdien er grænserne for støj angivet som det ækvivalente, korrigerede støj-niveau i dB(A)	Referencetidsrum timer
1. Grænseværdier for støjbelastning målt udendørs ved skel til nærmeste nabo	Hverdage fra kl. 07.00 - 18.00, samt lørdage fra kl. 07.00 – 14.00	70 dB(A)	8 7
	Andre tidsrum	40 dB(A)(*)	1
	Maksimalværdien om natten (kl. 22.00 – 07.00)	55 dB(A)	
2. Grænseværdier for bygningstransmitteret støj målt indendørs i beboelsesrum og kontorlokaler	Hverdage fra kl. 07.00 - 18.00, samt lørdage fra kl. 07.00 – 14.00	55 dB(A)	8 7
	Kontorlokaler udenfor disse tidsrum	40 dB(A)	1
	Beboelsesrum udenfor disse tidsrum	25 dB(A)	1
	Maksimalværdi om natten (kl. 22.00 – 07.00) i beboelsesrum	40 dB(A)	
		Værdierne er angivet som KB – vægtet accelerationsniveau	
3. Grænseværdier for vibrationer	Boliger i rene boligområder	75 dB	
	Boliger i områder med blandet bolig/erhverv	80 dB	
	Erhvervsbebyggelse	85 dB	

(*) Grænseværdi gældende ved skel til boliger

Grænseværdier for lavfrekvent støj og infralyd Anlæggets bidrag til lavfrekvent støj og infralyd (dB re 20µ PA), målt indendørs i de berørte bygninger, må ikke overskride de nedenfor anførte værdier. Støjgrænserne gælder for ækvivalentniveauet over et måletidsrum på 10 minutter, hvor støjen er kraftigst.			
Anvendelse		A – vægtet Lydtrykniveau (10 -160 Hz), dB	G – vægtet Infralydniveau, dB
Beboelsesrum, herunder i børneinst. og lignende	Aften/nat (kl. 18 - 07)	20	85
	Dag (kl. 07 - 18)	25	85
Kontorer, undervisningslokaler og andre lignende støjfølsomme rum		30	85
Øvrige rum i virksomheder		35	90

Der er ved vurderingerne taget afsæt i forskriften og ovenstående grænseværdier anvendes ved vurderingen af støjpåvirkningen fra anlægsarbejderne. Grænseværdierne følger de vejledende støjgrænser, dog med de lempelse, at der i dagperioden anvendes en støjgrænse på 70 dB(A) i stedet for de 45 – 55 dB(A) der normalt er gældende ved boliger.

Det skal dog bemærkes, at forskriften ikke automatisk gælder for VVM pligtige anlæg. Her vil der i forbindelse med VVM tilladelsen kunne stilles særskilte krav, der afviger fra ovenstående.

6.1.4 Lavfrekvent støj, infralyd og vibrationer

Miljøstyrelsen har fastsat vejledende støjgrænser for lavfrekvent støj og infralyd. (Miljøstyrelsen, 1997). Grænseværdier gælder kun indendørs. Støjgrænserne er anført i Tabel 6.2.

Anvendelse	A-vægtet lydtryksniveau (10 – 160 Hz), dB	G-vægtet infralydniveau (5 – 20 Hz), dB
Beboelsesrum, herunder i børneinstitutioner og lign.:		
Aften/nat kl. 18-07	20	85
Dag kl. 07-18	25	85
Kontorer undervisningslokaler og andre lignende støjfølsomme rum	30	85
Øvrige rum i virksomheder	35	90

Tabel 6.2: Vejledende grænseværdier for lavfrekvent støj og infralyd (Miljøstyrelsen, 1997)

De vejledende grænseværdier for vibrationer er i henhold til Miljøstyrelsens vejledning nr. 9/1997:

- 75 dB i boliger i boligområder (hele døgnet), børneinstitutioner og lignende, og boliger i blandet bolig / erhvervsområde i aften- og natperioden (kl. 18 - 07)
- 80 dB i boliger i blandet bolig / erhvervsområde i dagperioden (kl. 07 - 18) og kontorer, undervisningslokaler m.v.
- 85 dB i erhvervsbebyggelse.

Grænseværdierne for vibrationer gælder for det KB-vægtede accelerationsniveau, målt på den måde som er beskrevet i (Miljøstyrelsen, 1997).

Ovenstående grænseværdier er angivet i forhold til gener for mennesker. Ved f.eks. anlægsarbejder, der foregår meget tæt på bygninger, skal der ligeledes tages hensyn til, at vibrationerne ikke giver anledning til skader på bygningerne. Dette er dog oftest kun et problem når der foregår f.eks. nedramning af spuns eller pæle meget tæt på nabobygninger (typisk inden for 20-30 m).

6.1.5 Støj fra vejtrafik

Støj fra trafik på offentlige veje beregnes, og reguleres i henhold til Vejledning fra Miljøstyrelsen nr. 4/2007 "Støj fra veje" (Miljøstyrelsen, 2007).

Trafikstøj omfatter alt kørsel på offentlig vej. Beregningerne bygger hovedsagelig på 3 parametre:

- Årsdøgntrafik[1] – delt op på dag-, aften- og natperioden.
- Andel af tunge køretøjer - delt op på personbiler, toakslede og flerakslede lastbiler.
- Hastigheden – opgjort for de enkelte kategorier af køretøjer.

I modsætning til virksomhedsstøjen giver beregningerne af vejtrafikstøjen kun ét resultat L_{den}, der svarer til den vægtede gennemsnitlige støjbelastning over et døgn, med et 10 dB tillæg til støjen i natperioden (22-7) og et 5 dB tillæg til støjen i aftenperioden (19-22).

[1] Ved årsdøgntrafikken (ÅDT) forstås trafikken pr. døgn opgjort som gennemsnit over hele året. Denne opgørelsesmåde anvendes som et sammenfattende udtryk for færdselsmængden på et givet sted (eller strækning)

Miljøstyrelsen anbefaler, at vejtrafikstøj i boligområder ligger under L_{den} 58 dB(A) (Miljøstyrelsen, 2007). Grænseværdien anvendes ved anlæg af nye veje, men kan også anvendes ved vurdering af behov for og ved projektering af f.eks. støjafskærmning.

6.1.6 Støj fra jernbaner og vindmøller

Støj fra jernbaner er ikke omtalt yderligere i denne rapport, idet der ikke indgår støj fra disse aktiviteter i projektet og der ikke er jernbaner i drift i området.

Der er ved vurdering af den eksisterende støjbelastning i Esbjerg by foretaget vurderinger/beregninger af støjen fra vindmøllerne ved Måde.

Støjgrænserne for vindmøller er fastlagt i vindmøllebekendtgørelsen (BEK nr. 135 af 07/02/2019).

Der er fastlagt støjgrænser for såvel ekstern støj som for lavfrekvent støj.

Der gælder følgende støjgrænser.

§ 4. Den samlede støjbelastning fra vindmøller må ikke overstige følgende grænseværdier:
1) I det mest støjbelastede punkt ved udendørs opholdsarealer højst 15 meter fra beboelse i det åbne land:
   a) 44 dB(A) ved en vindhastighed på 8 m/s.
   b) 42 dB(A) ved en vindhastighed på 6 m/s.
2) I det mest støjbelastede punkt i områder til støjfølsom arealanvendelse:
   a) 39 dB(A) ved en vindhastighed på 8 m/s.
   b) 37 dB(A) ved en vindhastighed på 6 m/s.

Stk. 2. Den samlede lavfrekvente støj fra vindmøller må indendørs i beboelse i det åbne land eller indendørs i områder til støjfølsom arealanvendelse ikke overstige 20 dB ved en vindhastighed på 8 m/s og 6 m/s.

Støjgrænserne gælder for alle møller i et område, og altså ikke for enkelt møller eller vindmølleparker.

7 Eksisterende forhold

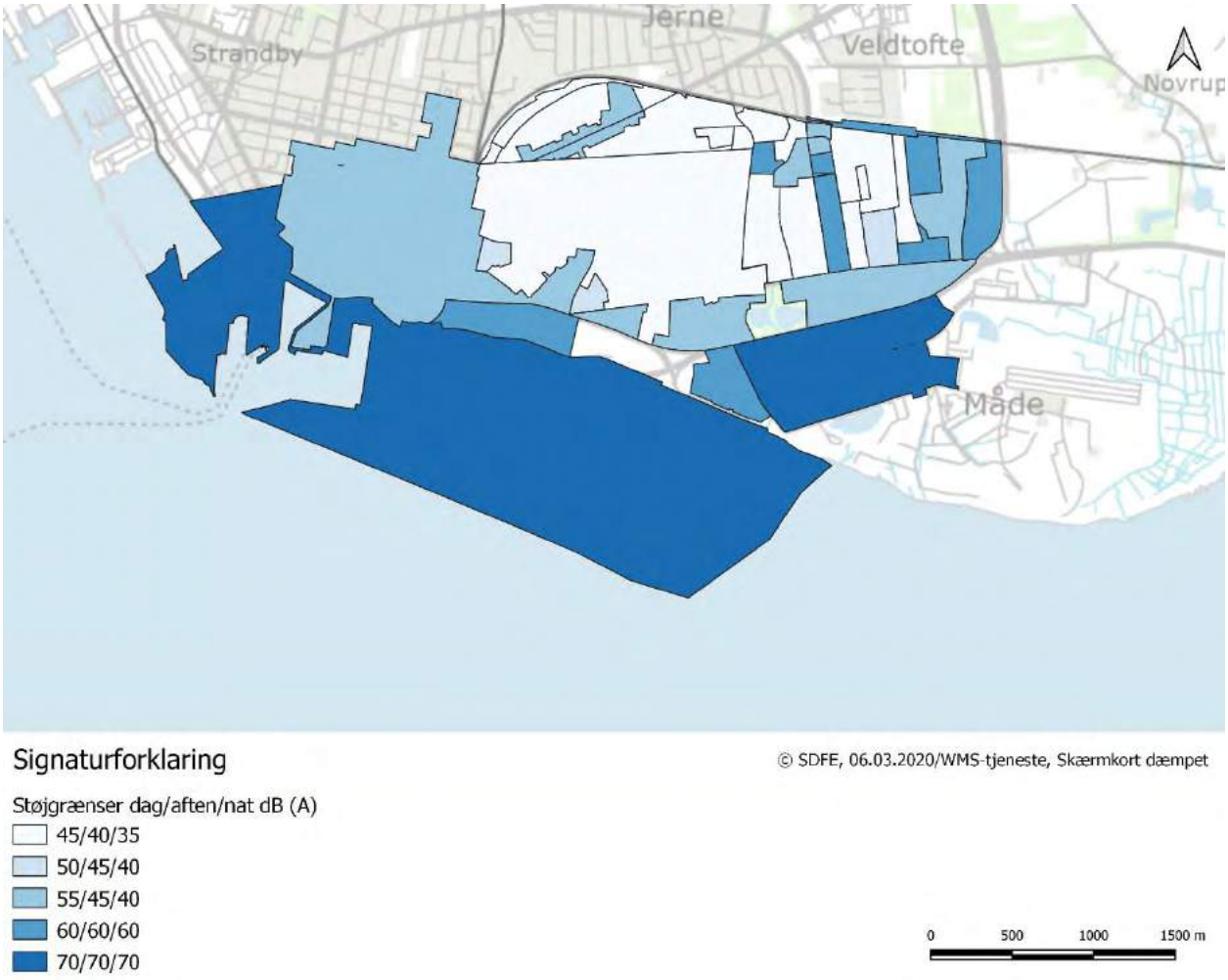
I afsnit 4 er der foretaget en beskrivelse af de nuværende planlægningsmæssige rammer. Der er med afsæt i disse foretaget en vurdering af de eksisterende havnevirksomheders støjpåvirkning af boliger, rekreative områder m.v. i Esbjerg og på Fanø.

7.1 Støjgrænser

Med afsæt i den eksisterende planlægning (kommuneplanrammer og lokalplaner) er der på Figur 7.1 angivet hvilke støjgrænser, der vil være gældende på havneområdet og de nærliggende områder (kommuneplanrammer/lokalplaner) af Esbjerg by. Kortet er vejledende og viser de overordnede støjgrænser, der gælder i områderne.

Der er i de følgende vurderinger taget afsæt i natstøjgrænserne. Natstøjgrænserne er ved boliger 10-15 dB(A) lavere end støjgrænserne i dagperioden. Ved erhvervsområder er støjgrænserne konstante døgnet rundt. Da hovedparten af virksomhederne kan være i drift døgnet rundt vil det typisk være i natperioden, at støjbidraget ligger tættest på støjgrænsen. Selv om aktiviteterne i nogle tilfælde er større i dagperioden, giver dette typisk ikke anledning til at støjbidraget ligger så meget højere, at der er knyttet specielle udfordringer i forhold til overholdelse af støjgrænserne i dagperioden. Der er derfor i det videre arbejde udelukkende fokuseret på støjpåvirkningen i natperioden, og alle støjkort viser det beregnede støjbidrag om natten med mindre andet er nævnt.

Figur 7.1: Støjgrænser i dag-/aften- og natperioden



7.2 Esbjerg Havn

På Esbjerg Havn er der en række virksomheder, som i dag påvirker byen med ekstern støj. En del af disse har en miljøgodkendelse med fastlagte støjvilkår.

De eksisterende støjmæssige forhold på Esbjerg Havn er ikke kortlagt i forhold til det aktuelle projekt (målt), men beskrevet på baggrund af en kortlægning af de virksomheder der har aktiviteter, arealanvendelsen og erfaringstal for støjudsendelse. For enkelte virksomheder har NIRAS foretaget beregninger af det aktuelle støjbidrag. Her er disse beregninger anvendt i denne rapport.

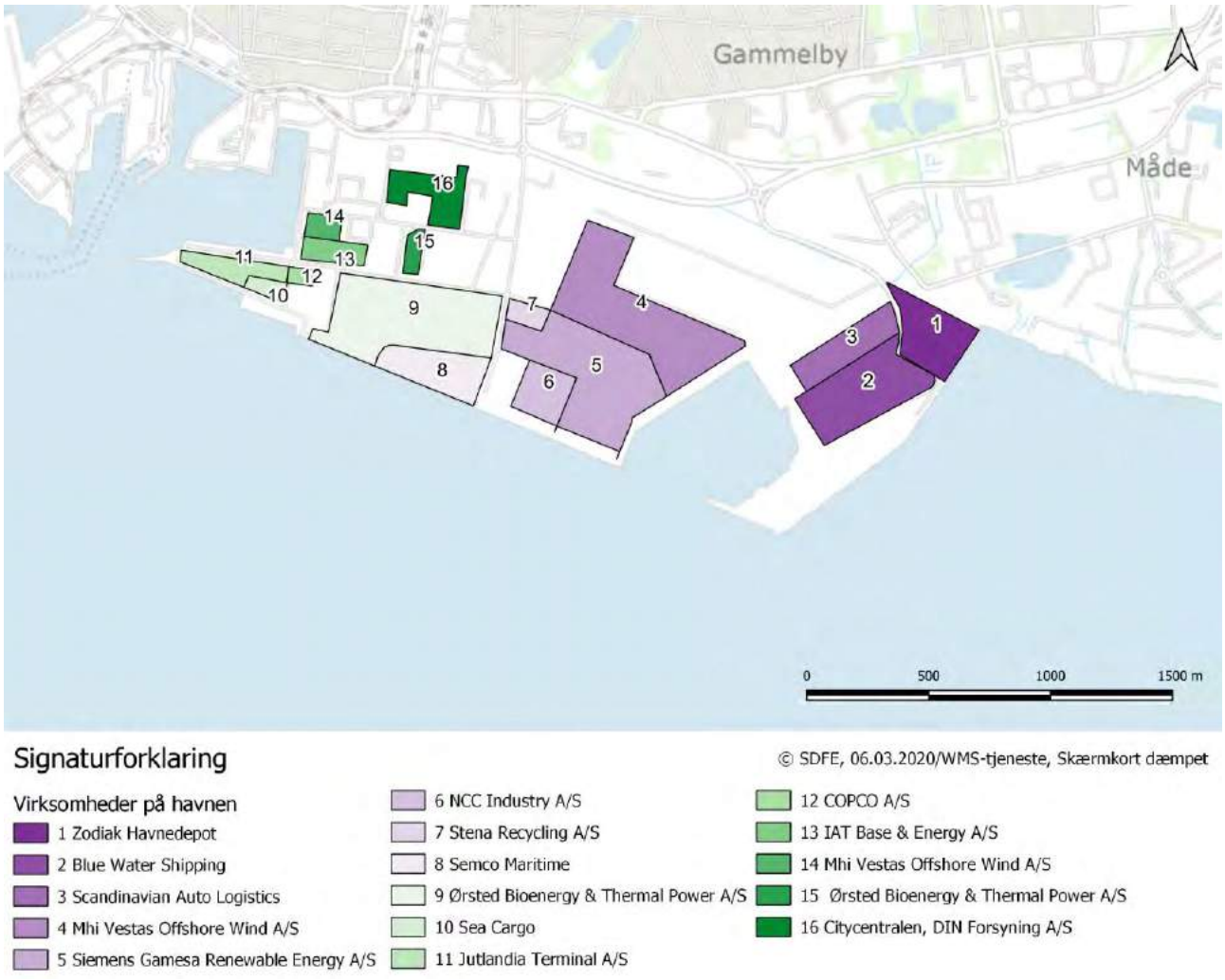
Nogle af de virksomheder, der ligger på Esbjerg Havn har ikke støjende aktiviteter og er typisk kun i drift i dagperioden, eller med det højeste aktivitetsniveau i dagperioden.

Losning og lastning af skibe kan foregå hele døgnet.

Figur 7.2 viser en række af eksisterende virksomheder på Esbjerg Havn, der vurderes at have betydning for det eksterne støjbidrag set i relation til projektet. Virksomheden som ligger længere mod vest på den ældre del af Esbjerg Havn indgår ikke i undersøgelsen, idet støjen herfra ikke vil kunne påvirke de samme områder som

støjen fra den nye havn. Ligeledes anvendes en stor del af etape 4 til oplag af vindmøllekomponenter, og der er heller ikke her tilknyttet specielt støjende aktiviteter. Enkelte områder af etape 4 er fortsat ikke taget i brug.

Figur 7.2: Virksomheder med betydende støjende aktiviteter på Esbjerg Havn.



For de eksisterende virksomheder gælder, at de enten er reguleret via miljøgodkendelse jf. miljøbeskyttelseslovens kap. 5 eller reguleres via påbud jf. miljøbeskyttelseslovens § 42.

I det følgende er en række af virksomhederne på Esbjerg Havn gennemgået, og det er beskrevet hvilke støjende aktiviteter de har. Disse virksomheder indgår i beregning af det eksisterende støjbidrag, som er afrapporteret i afsnit 7.2.16. Fælles for alle virksomhederne er, at der er stillet vilkår om overholdelse af støjvilkår, der svarer til grænseværdierne i Tabel 6.1 med ganske få undtagelser.

7.2.1 Blue Water Shipping

Beliggende Zodiakvej 5, 7 og 9.

Miljøgodkendt den 18. december 2017.

Aktiviteter: RO-RO-terminal til henstilling af trailere, containere og varevogne, der anvendes til forskelligt gods, herunder kemiske stoffer og produkter.

Virksomhedens støjkilder består af til- og frakørsel til terminalens område samt kørsel på terminalens område og til og fra skibe. I forbindelse med miljøgodkendelsen er det dokumenteret, at de vejledende støjgrænser kan overholdes.

På virksomhedens område opererer virksomheden Geminor ligeledes med tilsvarende aktiviteter. Virksomheden er miljøgodkendt den 21. marts 2019.

I forbindelse med virksomhedernes miljøgodkendelser har NIRAS udført støjberegninger af aktiviteterne. Støjmodellen og resultaterne indgår i vurderingerne af det samlede støjbidrag fra de eksisterende virksomheder.

7.2.2 COPCO A/S

Beliggenhed: Amerikavej 3.

Miljøgodkendt den 12. juni 2002.

Aktiviteter: Oplag af saltsyre. Støj fra transport og pumpning. I forbindelse med miljøgodkendelsen er det vurderet, at de vejledende støjgrænser kan overholdes.

Virksomheden vurderes ikke at give et betydende bidrag i de områder, hvor den nye havneudvidelse vil give en påvirkning og indgår derfor ikke i støjberegningerne af det eksisterende støjbidrag.

7.2.3 Jutlandia Terminal A/S

Beliggenhed: Europakaj 1.

Miljøgodkendt den 21. juli 2017 (seneste godkendelse).

Aktiviteter: Jutlandia Terminal A/S er en servicevirksomhed, der primært leverer varer og ydelser til offshore industrien ifm. gas- og olieproduktionen i Nordsøen. Den væsentligste støjkilde på virksomheden er transport til/fra virksomheden samt intern transport.

Virksomheden vurderes ikke at give et betydende bidrag i de områder, hvor den nye havneudvidelse vil give en påvirkning og indgår derfor ikke i støjberegningerne af det eksisterende støjbidrag.

7.2.4 Semco Maritime

Beliggenhed: Grusvej 6.

Miljøgodkendt den oktober 2017.

Aktiviteter: Modtageanlæg for neddeling af off-shore produktionsanlæg, vindmølletårn mm. Der er primært tale om støj fra dekommissionering af anlæggene. Der er vilkår om at virksomheden skal køre med nedsat drift i aftenperioden og natperioden for at sikre, at virksomheden kan overholde støjgrænserne ved boliger.

Der er med afsæt i miljøgodkendelsen estimeret en kildestyrke på 115 dB(A) for virksomhedens aktiviteter i natperioden.

7.2.5 Stena Recycling A/S

Beliggenhed: Amerikavej 21-23.

Miljøgodkendt den 24. maj 2012.

Aktiviteter: Skrotvirksomhed. Støj fra aflæsning og håndtering af affald samt kørsel med lastbiler, truck og læssemaskiner.

Der er med afsæt i miljøgodkendelsen estimeret en kildestyrke på 110 dB(A) for virksomhedens aktiviteter i natperioden.

7.2.6 Zodiak Havnedepot

Beliggenhed: Matr. nr. 1438.

Miljøgodkendt den 10. oktober 2018.

Aktiviteter: Depot for forurenet havnesediment.

Der vil være støj i forbindelse med tilførsel af havneslam (ikke kontinuerlig drift). Da virksomheden kun vil være i drift i korte perioder ad gangen og ikke hvert år indgår den ikke i beregning af støjbidraget fra den samlede havnedrift.

7.2.7 Ørsted Bioenergy & Thermal Power A/S, Esbjergværket

Beliggenhed: Amerikavej 7.

Miljøgodkendt: Flere miljøgodkendelser. Støj reguleret af påbud af den 13. marts 2018.

Aktiviteter: Kraftværk. De væsentligste eksterne støjkilder er skorstensafkast, facaderiste for indtag af luft til forbrændingen, vinduer/døre i facader m.v. samt modtagelse af kul (kajkraner) samt transportsystemer, herunder anvendelse af dozer på kulpladsen.

Da Esbjergværket er i drift hele døgnet, er der taget udgangspunkt i, at værket overholder natvilkårene. Omregnet til, hvor meget værket må støje for at overholde de angivne vilkår, giver dette overslagsmæssigt en samlet kildestyrke på 110 dB(A) for Esbjergværket.

7.2.8 NCC Industry A/S Vesterhavsral

Beliggenhed: Orionvej 7.

Ikke godkendelsespligtig.

Aktiviteter: Modtagelse og distribution af sømaterialer (sten og grus).

Kildestyrke 113 dB(A). Kildestyrken er skønnet på baggrund af målinger, tidligere beregninger og vurdering og som også overslagsmæssigt svarer til, at de med det nuværende areal skal overholde 70 dB(A) i skel.

7.2.9 Siemens Gamesa Renewable Energy A/S

Beliggenhed: Sahara 13.

Ikke godkendelsespligtig.

Aktiviteter: Modtagelse, oplag og udskibning af vindmøller.

Der er estimeret en kildestyrke på 110 dB(A) for virksomhedens aktiviteter i natperioden.

7.2.10 Mhi Vestas Offshore Wind A/S

Beliggenhed: Siriusvej.

Ikke godkendelsespligtig.

Aktiviteter: Modtagelse, oplag og udskibning af vindmøller.

Der er estimeret en kildestyrke på 110 dB(A) for virksomhedens aktiviteter i natperioden.

7.2.11 Scandinavian Auto Logistics

Beliggenhed: Zodiakvej 3.

Ikke godkendelsespligtig.

Aktiviteter: Modtagelse, oplag og distribution af biler.

NIRAS har for virksomheden foretaget beregninger af det eksterne støjbidrag. Støjmodellen og beregningerne er indarbejdet i beregningerne af det samlede støjbidrag.

7.2.12 Sea Cargo

Beliggenhed: Canadavej 3.

Ikke godkendelsespligtig.

Aktiviteter: Spedition.

Virksomheden vurderes ikke at give et betydende bidrag i de områder, hvor den nye havneudvidelse vil give en påvirkning og indgår derfor ikke i støjberegningerne af det eksisterende støjbidrag.

7.2.13 IAT Base & Energy A/S

Beliggenhed: Vestkraftvej 4A

Ikke godkendelsespligtig.

Aktiviteter:

Virksomheden vurderes ikke at give et betydende bidrag i de områder, hvor den nye havneudvidelse vil give en påvirkning og indgår derfor ikke i støjberegningerne af det eksisterende støjbidrag.

7.2.14 Øvrige virksomheder

Udover ovennævnte virksomheder findes en lang række mindre virksomheder, som ikke vurderes at give anledning til nogen væsentlig støjpåvirkning i området. Det drejer sig om virksomheder inden for shipping, kontor og administration, lager m.m.

Støj fra disse virksomheder er ikke behandlet yderligere i denne rapport.

7.2.15 Esbjerg Havn

Esbjerg Havn yder service til skibe og virksomheder i forbindelse med losning og lastning af skibe.

Med udgangspunkt i tilgængelige data, herunder Data fra Esbjerg Kommune og NIRAS egne målinger er kildestyrken vurderet til 103-113 dB(A) for hvert skib der ligger til kaj i havnen. Støjen fra skibene kommer primært fra skibets motor og ventilation, der leverer strøm til skibet. Kildestyrken af skibene er afhængige af skibets størrelse, og dermed størrelsen af hjælpemotor, hvilke aktiviteter der foregår: Støj fra kraner, losseudstyr m.v.

I 2017 var der 5.867 skibsanløb til Esbjerg Havn. 1.157 af disse var fiskefartøjer, der ligger til i fiskerihavnen. De resterende 4.710 skibsanløb ligger til i øst og sydhavnen. Under forudsætning af at et skib ligger ved kaj i ca. 12 timer i snit giver dette et gennemsnit på 6-7 skibe, der ligger ved kaj i øst og sydhavnen ad gangen.

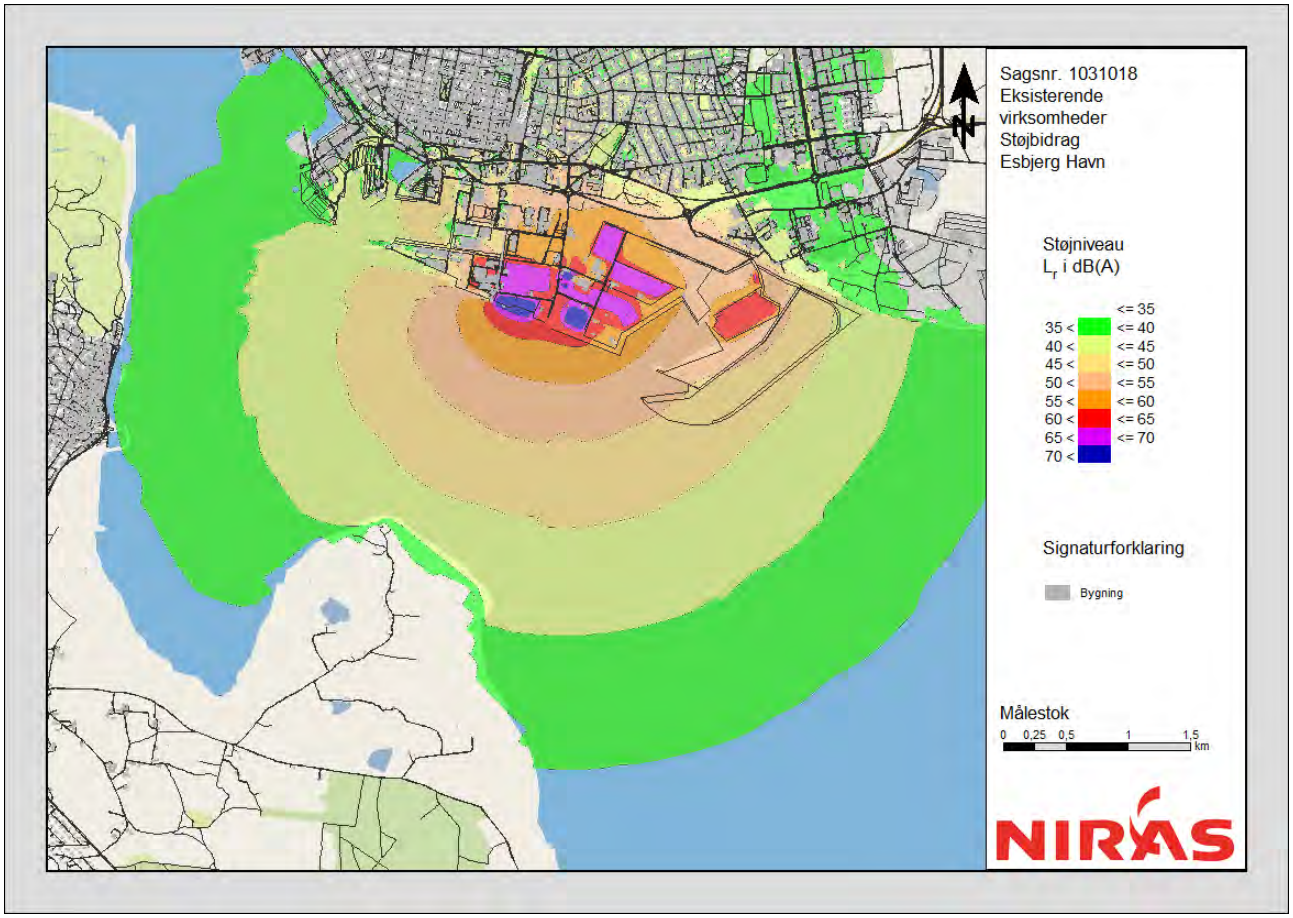
Der er foretaget beregninger støj fra skibe med i alt 7 skibe liggende ved kaj i havnen med hjælpemotorer i drift.

7.2.16 Støjberegninger

Der er foretaget støjberegninger for aktiviteterne i natperioden. I natperioden er støjgrænserne lavest og aktivitetsniveauet på virksomhederne er næsten det samme som i dagperioden.

Nedenstående Figur 7.3 viser støjbidraget fra de mest betydende støjende virksomheder på Esbjerg Havn. Figuren viser støjbidraget i natperioden ved fuld drift af alle virksomheder. Støjkortet viser det akkumulerede støjbidrag fra følgende virksomheder: Blue Water Shipping/Geminor, Semco Maritime, Stena Recycling, Esbjergværket, NCC Industry, Siemens, Vestas og SAL.

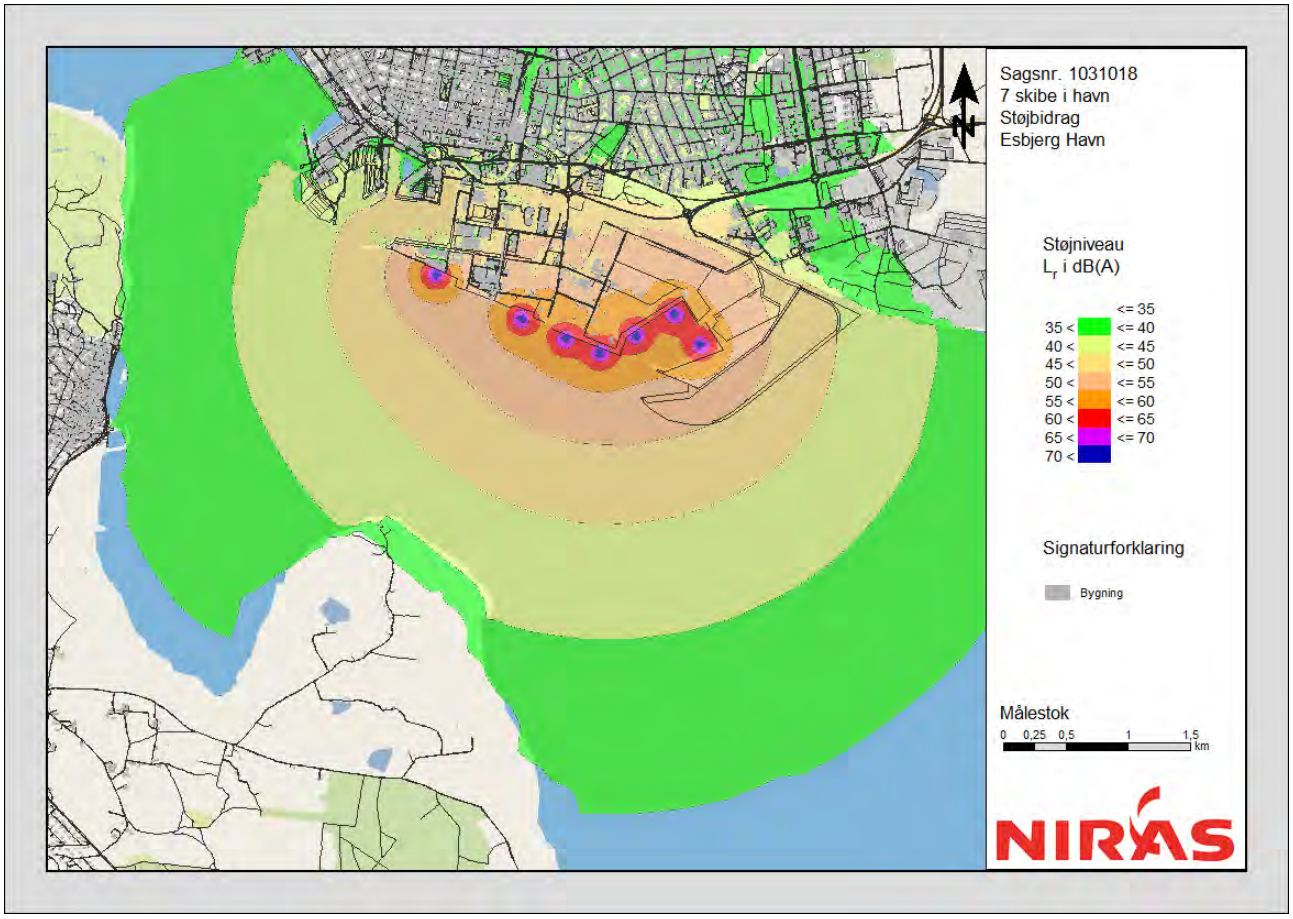
Figur 7.3: Beregnet støjbidrag fra eksisterende virksomheder på Esbjerg Havn (natperioden)



Det skal understreges, at der er tale om det samlede akkumulerede støjbidrag fra alle aktiviteter. Dette støjbidrag kan ikke sammenholdes med støjgrænserne, da de gælder for enkeltvirksomheder. Beregningerne er herudover forudsat med max. drift af alle virksomheder. Ofte vil der være en vis form for variation i driftsforholdene, der vil betyde at det samlede støjbidrag vil være mindre end det beregnede.

Figur 7.4 viser støjbidraget med i alt 7 skibe/installationsfartøjer ved kaj med hjælpemotorerne/losseudstyr i gang på samme tid. Der er regnet med 7 stk. skibe/installationsfartøjer med kildestyrke på hver 110 dB(A). Beregningerne viser et støjbidrag på ca. 40-45 dB(A) ved de boliger, der ligger tættest på havnen.

Figur 7.4: Beregnet støjbidrag fra 7 skibe/installationsfartøjer i havn (natperioden)

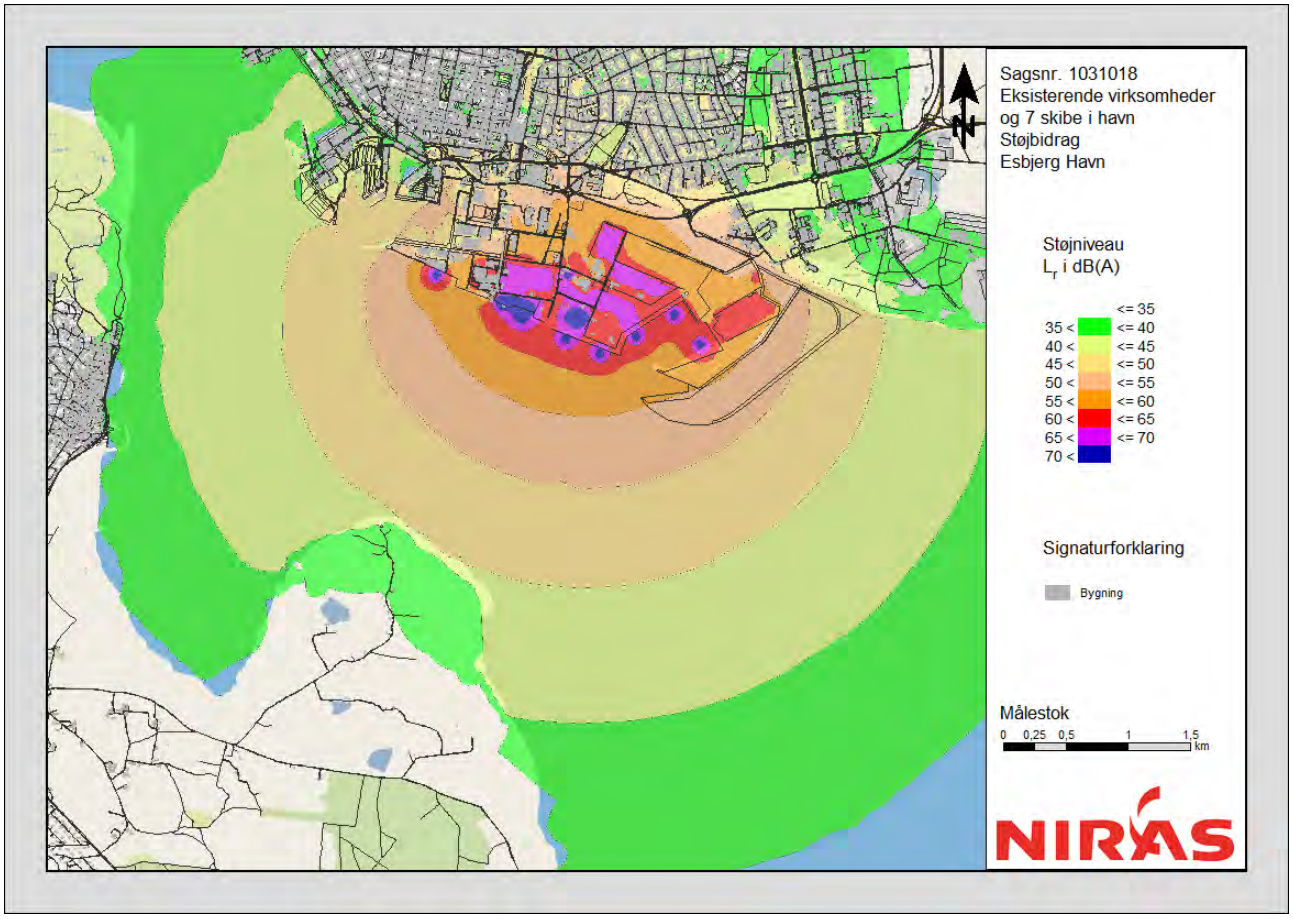


Figur 7.5 viser det akkumulerede støjbidrag fra såvel virksomheder på Esbjerg som for 7 skibe/installationsfartøjer der ligger ved kaj. Dette kort viser således det samlede akkumulerede støjbidrag. Der er ikke taget højde for at alle virksomheder og aktiviteter nødvendigvis ikke er i drift samtidig. Støjkortet viser således det samlede akkumulerede støjbidrag og er et udtryk for den støjpåvirkning, som boligerne i Esbjerg er udsat for fra havnedrift og havnevirksomheder.

Det skal understreges, at der er tale om det samlede akkumulerede støjbidrag fra alle aktiviteter. Dette støjbidrag kan ikke sammenholdes med støjgrænserne, da de gælder for enkeltvirksomheder. Beregningerne er herudover forudsat med max. drift af alle virksomheder. Ofte vil der være en vis form for variation i driftsforholdene, der vil betyde at det samlede støjbidrag vil være mindre end det beregnede.

Ved boliger i Esbjerg er der beregnet et samlet støjbidrag på mellem 40 og ca. 50 dB(A). På Fanø er det akkumulerede støjbidrag på ca. 35 dB(A) eller mindre.

Figur 7.5: Beregnet støjbidrag fra 7 skibe/installationsfartøjer i havn samt eksisterende virksomheder på Esbjerg Havn (natperioden)



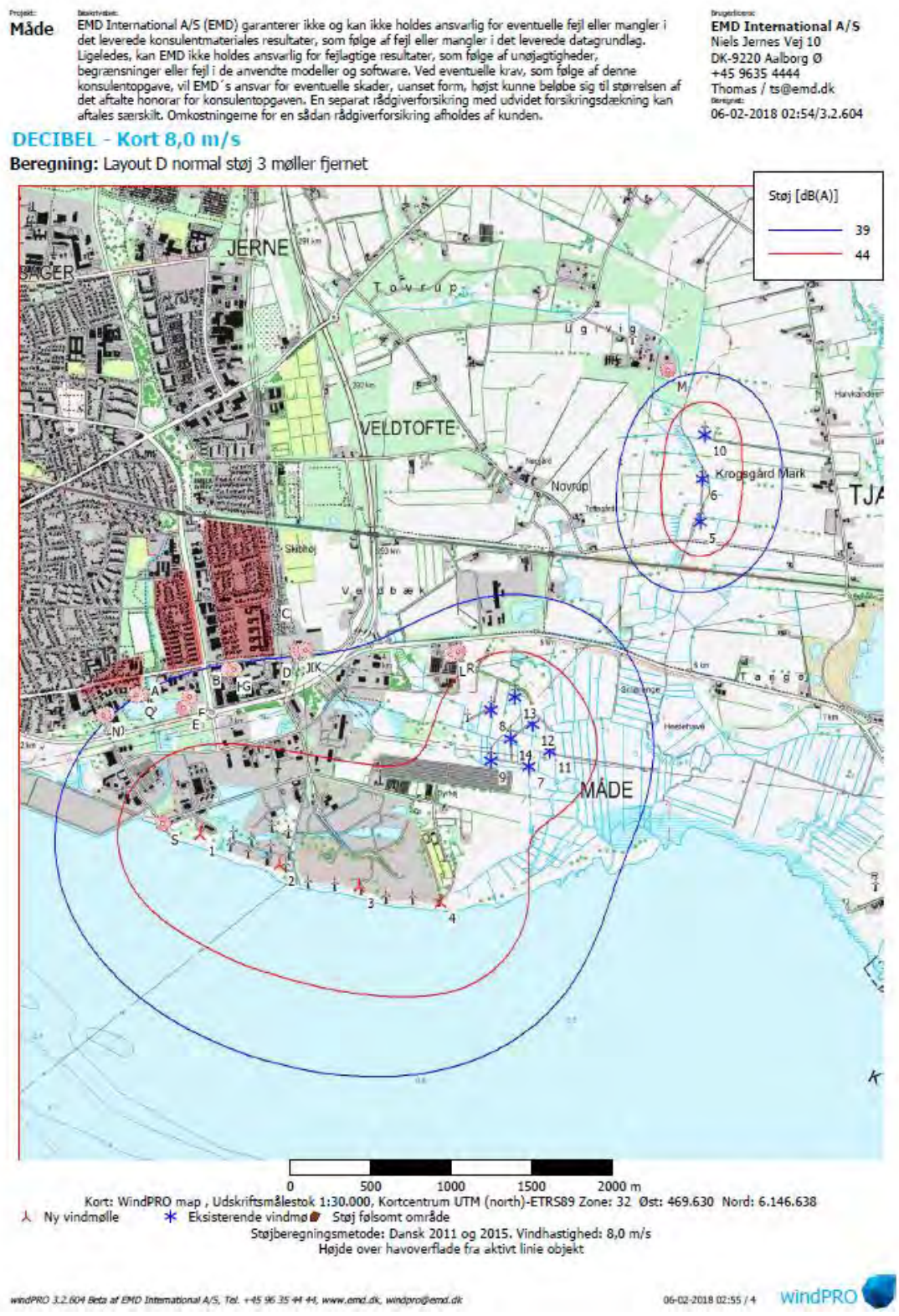
7.3 Støj fra vindmøller

Nordøst for projektområdet er der placeret en række vindmøller. I forbindelse med planerne for opstilling af 4 nye vindmøller er der foretaget beregninger af støjbidraget fra disse møller samt andre eksisterende møller i området (Sweco, 2016).

Beregningsresultaterne er vist på Figur 7.6, hvor resultatet for vindhastighed for 8 m/s er vist. Støjkortet for 6 m/s ligner til forveksling dette, blot med et lavere støjbidrag.

Støjkortet viser et støjbidrag ved de nærmeste boliger i Esbjerg på lige under 39 dB(A). Dvs. at støjgrænserne for boliger (støjfølsom anvendelse) lige præcis er overholdt.

Figur 7.6: Støjkort der viser støjudbredelsen for vindmøllestøj v 8 m/s (Sweco, 2016)



Der er på dele af den eksisterende havn mulighed for opsætning af vindmøller (jf. kommuneplanens rammer). Såfremt der etableres vindmøller på havnen vil støjen herfra sammen med støjen fra de eksisterende vindmøller skulle overholde støjgrænserne ved de nærmeste boliger i Esbjerg (37 og 39 dB(A) ved hhv. 6 og 8 m/s).

7.4 Trafikstøj

Den eksisterende trafik til og fra havnen kommer primært fra E20 (Esbjergmotorvejen) via Tjæreborgvej og Gammelby Ringvej. I rundkørslen ved Estrupvej/Zodiakvej deler trafikken til havnen sig, således at trafikken til den "gamle havn" kører via Estrupvej og trafikken til etape 4 (ny Østhavn) kører via Zodiakvej. Zodiakvej bliver også den vej, der skal betjene den fremtidige udbygning af havnen.

Vejdirektoratet har kortlagt støjudbredelsen for de større veje i 2017. Kortlægningen er lavet efter retningslinjerne i støjbekendtgørelsen, der implementerer EU støjdirektivet.

Figur 7.7 viser støjudbredelsen langs det overordnede vejnet, der har forbindelse til Esbjerg Havn. Støjbidraget ved boliger i Esbjerg fra vejen ligger under 55 dB(A) som vægtet døgnmiddelværdi L_{DEN}. Den vejledende støjgrænse for trafikstøj ved anlæggelse af nye veje er 58 dB(A). Bemærk, at der på figuren ikke er vist støjbidrag fra det øvrige vejnet i Esbjerg.

Årsdøgntrafikken på Gammelby Ringvej er på ca. 12.000 og på Estrupvej ca. 6.500. (Trafiktællinger fremskrevet til 2019 tal).

Figur 7.7: Støjkort, der viser støj fra vejtrafik på det overordnede vejnet http://miljoegis.mim.dk/spatialmap?&profile=noise.

7.5 Samlet støjpåvirkning

Boliger i Esbjerg er påvirket af støj dels fra havnen og dens virksomheder, fra trafik på vejnettet og i den østlige del af byen også af støj fra vindmøller. Støj fra disse aktiviteter og anlæg er kumulativ. Den kan dog ikke

omregnes til en kumulativ støjpåvirkning på grund af forskellige beregningsmetoder, der gør at støjbidragene ikke umiddelbart kan adderes.

8 Støj i anlægsfasen

Etape 5 vil omfatte følgende anlægsaktiviteter, der kan give anledning til ekstern støj:

- Etablering af skråningsindfatning, forlængelse af stenskråning.
- Etablering af molehoved, kaj og ramper (spuns).
- Opfyldning af arealer, etablering af kajgader.
- Uddybning foran kaj.
- Forøgelse af bredden af sejlrende.

Anlægsarbejdet forventes gennemført i perioden 2021-2025.

8.1 Ekstern støj - anlægsfasen

I anlægsfasen vil det hovedsageligt være nedramning af spuns, evt. pilotering, kørsel med entreprenørmaskiner og uddybning, der bidrager til det eksterne støjniveau. De øvrige aktiviteter i forbindelse med anlægsarbejdet vurderes som ubetydelige for det samlede støjniveau, fordi kildestyrkerne er betragteligt mindre og kun forekommer i begrænsede tidsrum.

Uddybningsaktiviteterne vil som det eneste kunne foregå hele døgnet. De øvrige støjkilder vil alene kunne forekomme i dagperioden. Nedbringelse af spuns og evt. pilotering vil ikke kunne forekomme samtidig, og derfor repræsenteres de to støjkilder ved én kildestyrke i beregningerne.

Der vil ved nedbringelse af spuns og pæle typisk være generende impulser i støjen, dog afhængig af nedbringelsesmetoden, baggrundsstøjen i området og afstanden til de nærmeste støjfølsomme områder.

Støjbelastningen udregnes på baggrund af den udsendte lydeffekt. Lydeffekten, L_{WA}, er et tal for en støjkildes samlede støjemission og angives i dB re. 1 pW. For de støjmæssigt væsentligste maskiner, der benyttes ved anlægsarbejderne, tages udgangspunkt i følgende lydeffektniveauer:

- Nedramning af spuns eller pilotering: 125 dB(A)
- Uddybning med spandkædemaskine/gravemaskine: 117 dB(A)
- Dozere, kraner, betonkanoner, gravemaskiner/gummihjulslæssere asfaltudlægger og tromler (blandet drift): 103 dB(A)

Kildestyrkerne stammer fra egne målinger og fra andre VVM-undersøgelser m.m.

De øvrige aktiviteter i forbindelse med anlægsarbejdet vurderes som ubetydelige for det samlede støjniveau (kildestyrkerne er betragteligt mindre). Det drejer sig f.eks. om kørsel med person- og varebiler, etablering af bygninger, brug af håndværktøj m.v.

Støjbelastningen er beregnet for 4 situationer for etape 5 (der er optegnet støj-kurver i de nedenstående figurer):

1. Nedramning af spuns.
2. Uddybning med spandkædemaskine/gravemaskine.
3. Anlægsarbejder på ny havn. Samlet kildestyrke 109 dB(A), svarende til 4 entreprenørmaskiner i blandet drift (100 %). Dette svarer til 8 stk. i 50 % drift.
4. Alle ovennævnte aktiviteter i drift på samme tid.

Beregningerne er eksempler på typiske driftssituationer og giver et billede af variationerne i støjen i forbindelse med anlægsarbejderne. Afhængig af hvor anlægsarbejderne foregår i området vil støjbilledet ændre sig.

Beregningerne er foretaget på de steder og i de områder, hvor støjpåvirkningen vil være størst i støjfølsomme områder.

Anlægsarbejderne vil som tidligere nævnt primært foregå i dagtimerne, dog vil uddybning kunne ske hele døgnet.

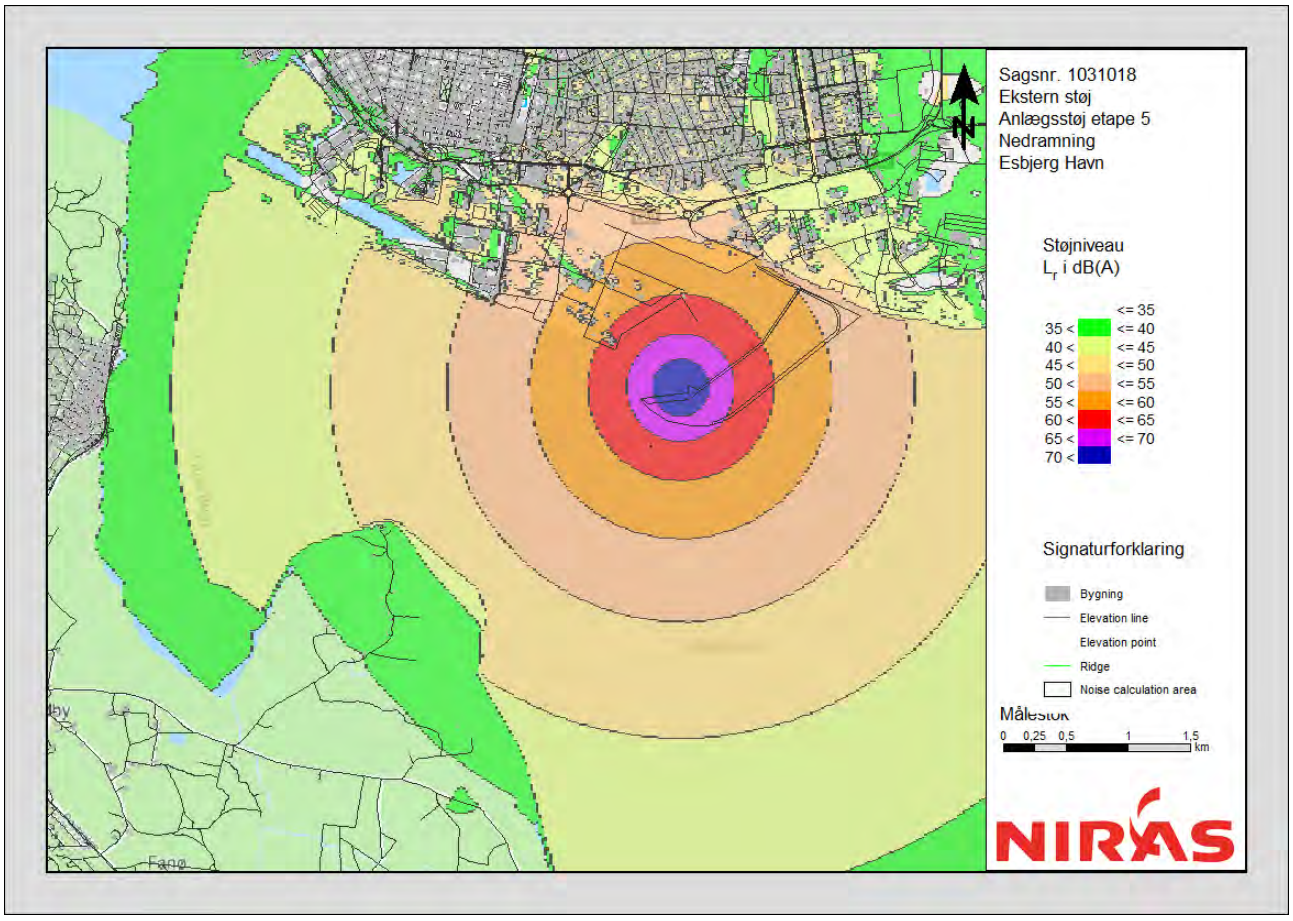
Støjkortet er uden evt. genetillæg på 5 dB for impulser. Det kan ikke på forhånd afgøres om der skal gives impulstillæg. Der vil ved nedramning af spuns være generende impulser i støjen, men på grund af de store afstande til de nærmeste boliger (min. 1.500 meter) forventes det ikke at udløse gene tillæg, idet støjbidraget ligger på ca. 40-50 dB(A) svarende til baggrundsstøjen i området.

Dette kan dog først afgøres ved konkrete vurderinger på stedet under anlægsarbejdernes gennemførelse.

De øvrige aktiviteter i forbindelse med anlægsarbejdet vurderes som ubetydelige for det samlede støjniveau (Kildestyrkerne er betragteligt mindre).

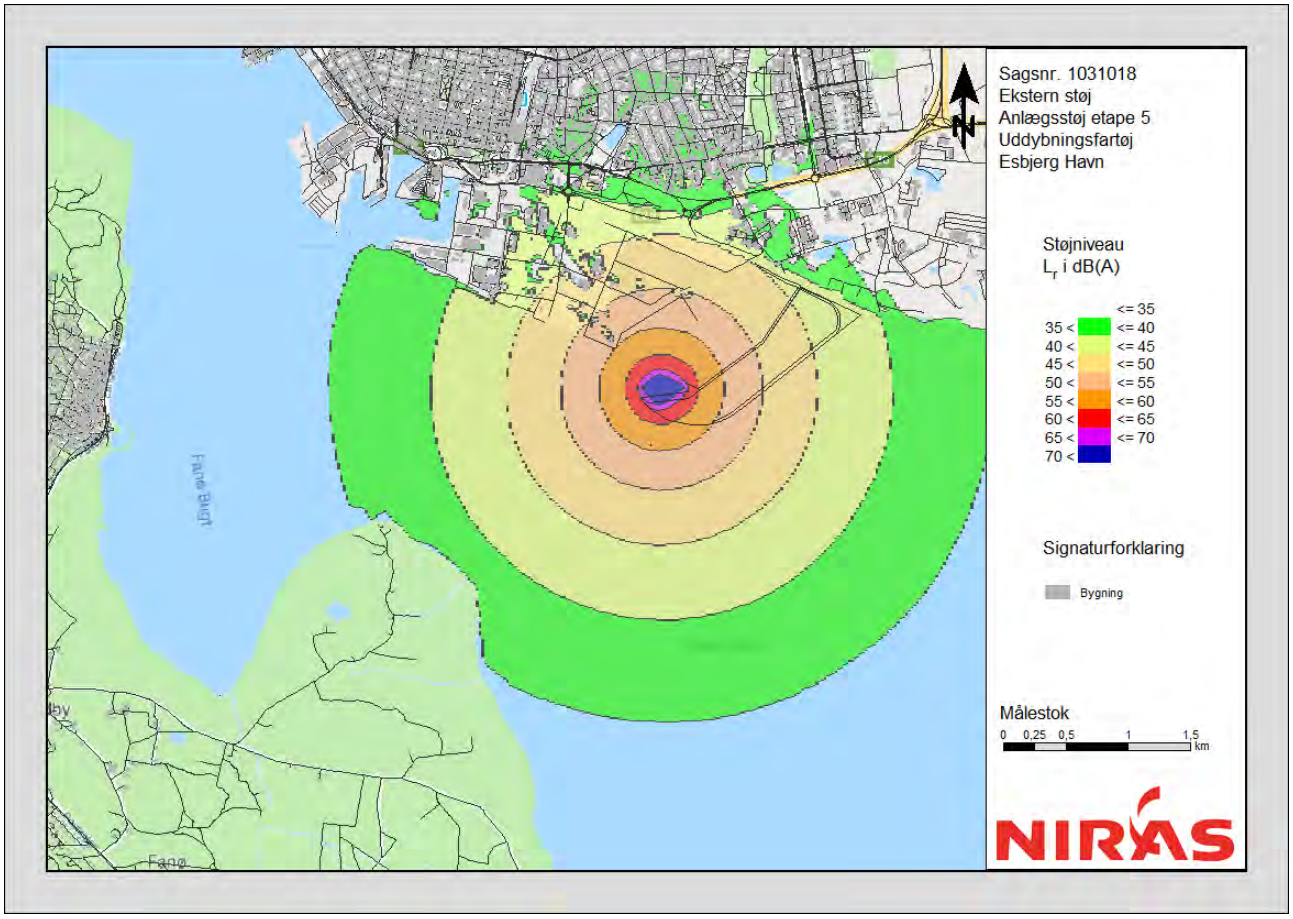
Figur 8.1 viser støjudbredelsen ved nedramning af spuns alene. Der er beregnet et støjbidrag på op til ca. 50 dB(A) ved boliger i Esbjerg. På Fanø vil støjbidraget være på ca. 35 dB(A) eller mindre. Figuren viser støjudbredelsen fra et enkelt punkt. Støjudbredelsen vil flytte sig afhængig af hvor der præcist spunses. Det er dog primært omkring det viste område, at der skal nedrammes spuns i etape 5.

Figur 8.1: Støjkort, der viser støj fra nedramning



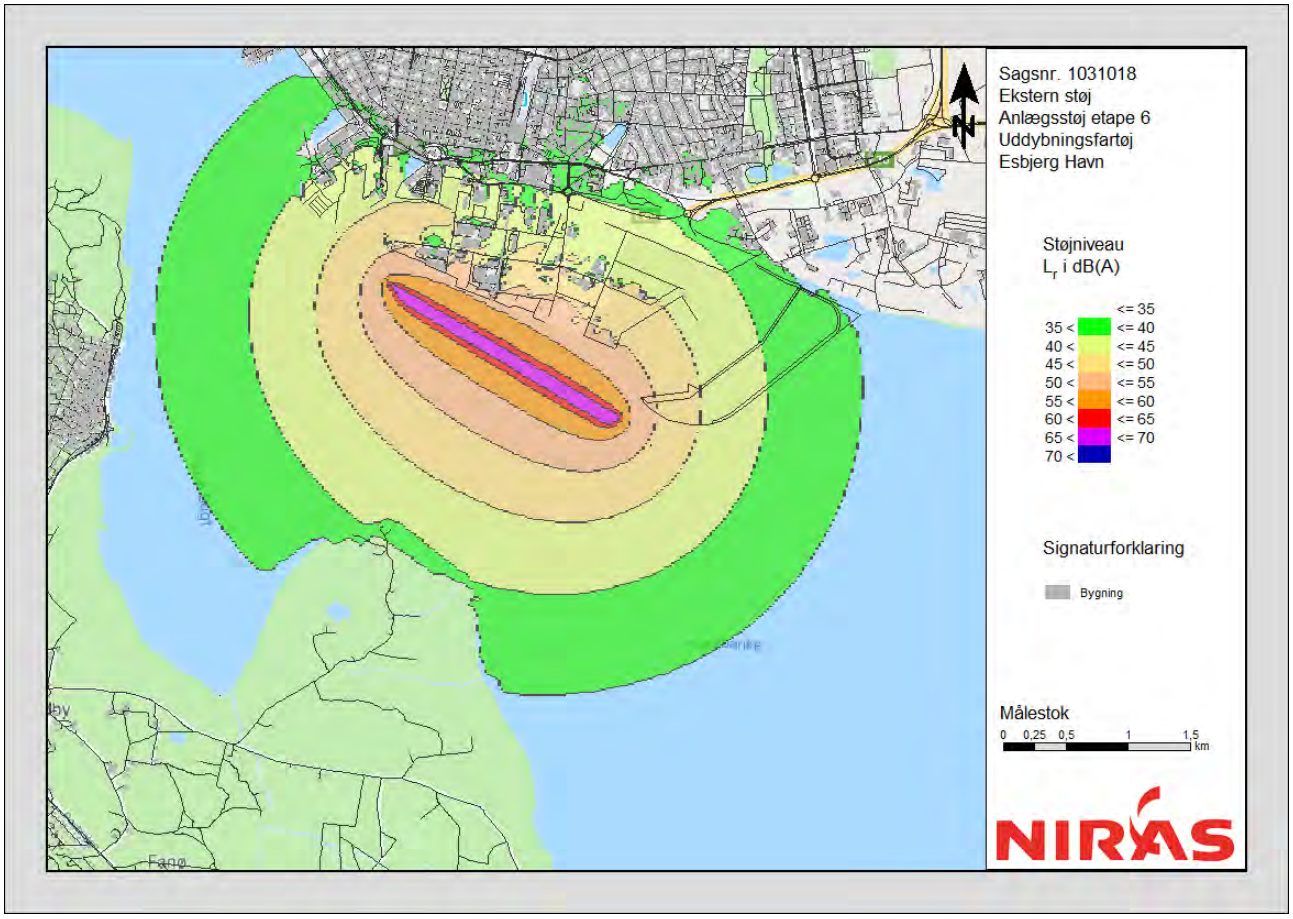
Figur 8.2 viser støjbidraget fra uddybningsfartøj, der uddyber omkring kajanlægget.

Figur 8.2: Støjkort, der viser støj fra uddybningsfartøj ved etape 5



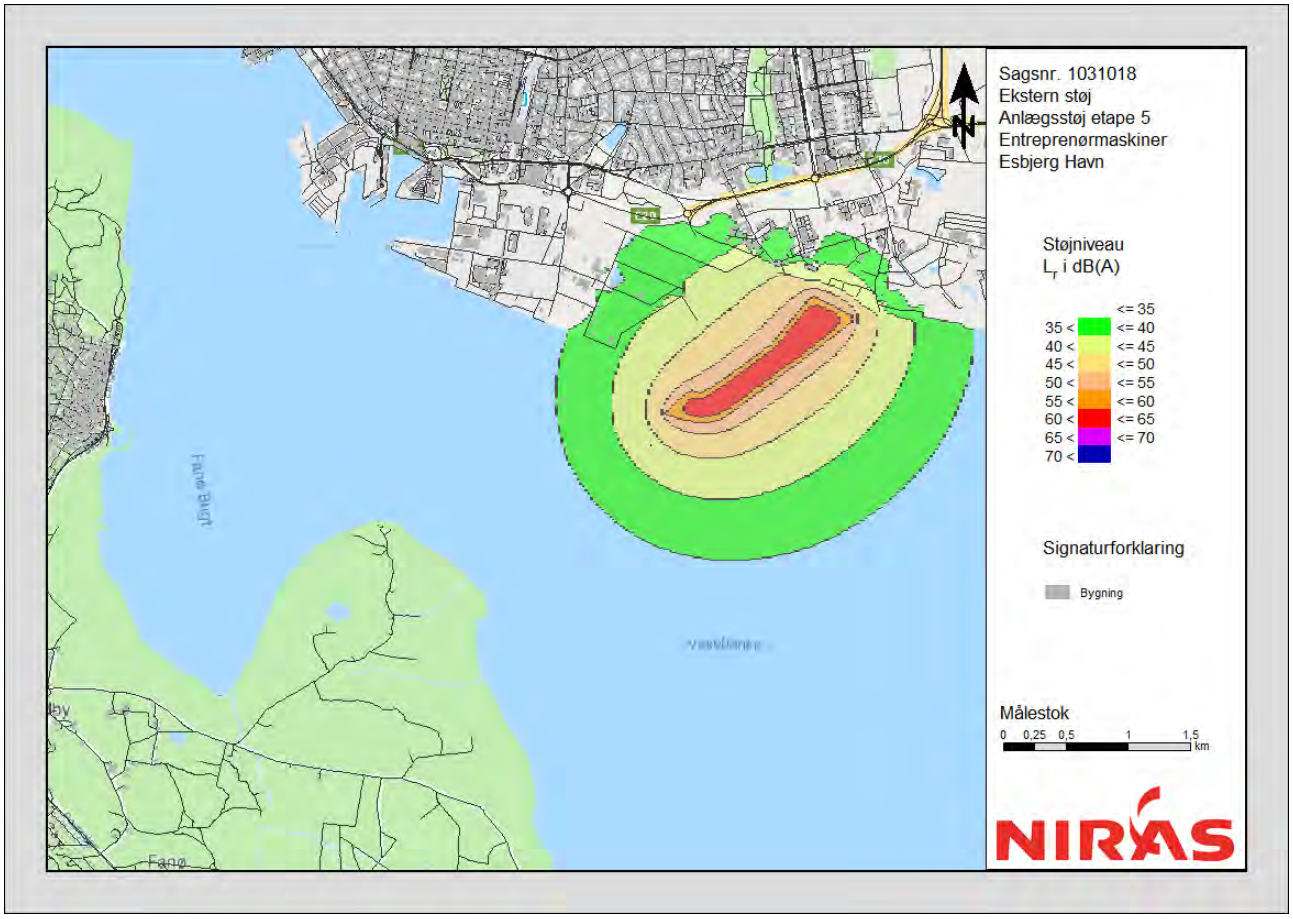
Figur 8.3 viser støjudbredelsen fra et uddybningsfartøj, der uddyber sejlrenden. Støjbidraget fra uddybningsaktiviteterne vil være mindre end 40 dB(A) ved alle boliger. Afhængig af hvor præcist fartøjer befinder sig vil støjudbredelsen variere. Uddybning kan – modsat øvrige anlægsaktiviteter – forekomme hele døgnet.

Figur 8.3: Støjkort, der viser støj fra uddybningsfartøj i sejlrenden



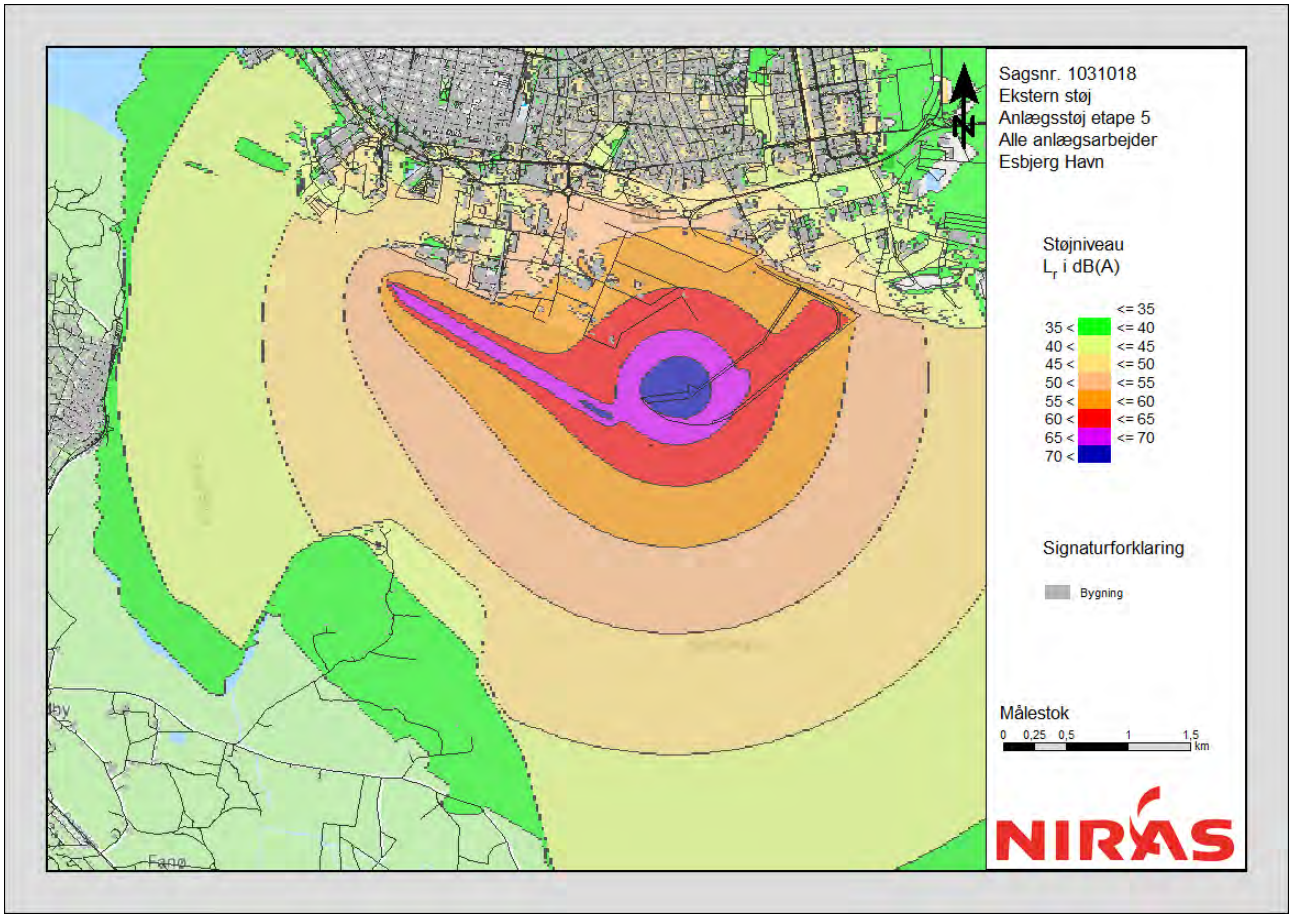
Figur 8.4 viser støjbidraget fra entreprenørmaskiner (4 entreprenørmaskiner i blandet drift. Dette svarer til 8 stk. i 50 % drift). Støjbidraget vil være mindre end 35 dB(A) ved alle boliger. Det er disse aktiviteter, som vil vare længst i forhold til den samlede anlægsperiode for etape 5.

Figur 8.4: Støjkort der viser støjudbredelsen fra entreprenørmaskiner i etape 5



Figur 8.5 viser støjbidraget, hvor alle anlægsaktiviteter i etape 5 foregår på samme tid. Det er først og fremmest nedramning, der giver det højeste støjbidrag. Der er beregnet et støjbidrag på op til ca. 50 dB(A) ved boliger i Esbjerg. På Fanø vil støjbidraget være på ca. 40 dB(A) eller mindre. Det skal dog bemærkes, at der næppe vil være samtidighed af alle anlægsaktiviteter.

Figur 8.5: Støjkort der viser støjudbredelsen for alle anlægsarbejder på samme tid i etape 5



Samlet set vil anlægsarbejderne give anledning til et støjbidrag på op til ca. 50 dB(A) ved boliger i Esbjerg og ca. 40 dB(A) ved boliger på Fanø ved fuld drift af anlægsaktiviteterne. Dette støjbidrag vil kun forekomme i dagperioden, og det vil primært være i den periode, hvor der forekommer nedramning, at anlægsaktiviteterne kan høres. I natperioden, hvor der kan være aktiviteter i form af uddybning vil støjbidraget ved boliger være på under 40 dB(A). Dette vil være på et niveau, der ligger under den generelle baggrundsstøj i Esbjerg.

8.2 Vibrationer

Anlægsarbejdet må forventes at kunne give anledning til vibrationer i de nærmeste omgivelser. Det drejer sig specielt om nedramning af spuns. Vibrationer dæmpes meget over afstand, og det må forventes, at selv kraftige vibrationer vil være dæmpet så meget, at de ikke kan registres i en afstand af ca. 100 meter.

Der er ikke placeret boliger inden for en afstand af ca. 1.500 meter, hvor der vil foregå nedramning af spuns, og det forventes derfor, at der i forbindelse med anlægsarbejdet ikke vil være vibrationsgener i omgivelserne.

8.3 Lavfrekvent støj og infralyd

Lavfrekvent støj stammer primært fra større maskiner eller større industrianlæg, men kan også stamme fra entreprenørmaskiner og lastbiler. Infralyd stammer primært fra større industrianlæg og opleves sjældent i det eksterne miljø. Fra anlægsarbejder optræder lavfrekvent støj som gene normalt kun meget tæt på støjkilderne, typisk på afstande på mindre end 50 meter fra kilden.

Alle former for lyd reduceres med ca. 6 dB(A) for hver gang afstanden fordobles. På grund af den relativt store afstand til beboelser vurderes der ikke at være anlægsaktiviteter, der kan give væsentlige gener fra lavfrekvent støj eller infralyd.

8.4 Trafikstøj

8.4.1 Tilførsel af materialer

I forbindelse med anlægsarbejderne skal der transporteres materialer til området. Hovedparten af disse sejles til området. Der vi herudover være trafik med last- og varebiler samt personbiler.

Følgende materialer sejles til stedet:

Skærver, sten, spuns, ankre, opfyldningsmateriale

Følgende tilføres fra landsiden:

Beton, asfalt, belægningssten.

Etablering af indfatningerne og uddybningerne vil kunne ske på 1½ til 2 år. Opfyldningstakten og klargøring af arealerne vil vare fra 1 til 6 år afhængigt af de valgte fyldmaterialer.

8.4.2 Trafik

På baggrund af ovenstående er der estimeret følgende trafik i anlægsfasen:

4.356 lastbiler, hvoraf hovedparken er levering af beton. Hovedparten af denne forventes at ske inden for en periode på ca. 1 år omkring 2025.

Dette vil give en forøgelse af trafikken med mindre end 30 lastbiler pr. dag (tur/retur). Trafikmængden fra havnen i anlægsfasen udgør således mellem 0,2 og 0,9 procent af den samlede trafikmængde.

Hertil kommer person- og varebiler for håndværkere. Der vil samlet set være tale om en forøgelse på få % i forhold til den aktuelle trafik på det overordnede vejnet.

Dette giver en forøgelse af støjbidraget på væsentligt under 0,5 dB(A) i anlægsperioden [2].

[2] En forøgelse af trafikken med 10 % giver 1 dB. 1 % forøgelse giver 0,1 dB.

9 Driftsfasen

Støjbelastningen fra de nye virksomheder på havnen kendes ikke, men der er taget udgangspunkt i, at hver enkelt virksomhed skal overholde de vejledende støjgrænser.

Udover de nuværende og planlagte virksomheder og aktiviteter er det vurderet at der kommer nye støjkilder på Etape 5, som beskrevet i de følgende afsnit.

9.1 Skibe/installationsfartøjer ved kaj

Kildestyrken vurderet til 110 dB(A) for hvert skib. Skibene vil kunne ligge ved kaj hele døgnet.

Støj fra skibe under sejlads er ikke reguleret af dansk miljølovgivning. Støjen herfra vil dog under alle omstændigheder være yderst begrænset på grund af dels stor afstand til nabobeboelser og dels af relativ lille driftstid bl.a. i forhold til den tid skibene ligger ved kaj.

9.2 Ekstern støj fra virksomheder

De virksomheder, der etablerer sig vil typisk være samme type virksomheder, som findes på den eksisterende havn. Dvs. virksomheder, der håndterer gods ind og ud over kaj. Herudover forventes der etableret produktionsvirksomheder til produktion af vindmølleelementer (tårne, vinger, naceller m.v.).

Der er ved alle støjberegningerne anvendt en kildestyrke på LW = 110 dB(A) for nye aktiviteter/virksomheder, svarende til den kildestyrke, der er anvendt for de eksisterende havnevirksomheder. Kildestyrken vil selvfølgelig være afhængig af aktivitetsniveau, antal støjkilder, eventuel afskærmning osv., men repræsenterer en typisk virksomhed med en del støjende aktiviteter.

Støjkilderne vil typisk være kørende materiel, kraner, kompressorer, ventilationsafkast m.m.

Der er regnet med følgende ekstra støjkilder:

2 skibe ligger ved kaj. Kildestyrke 110 dB(A).

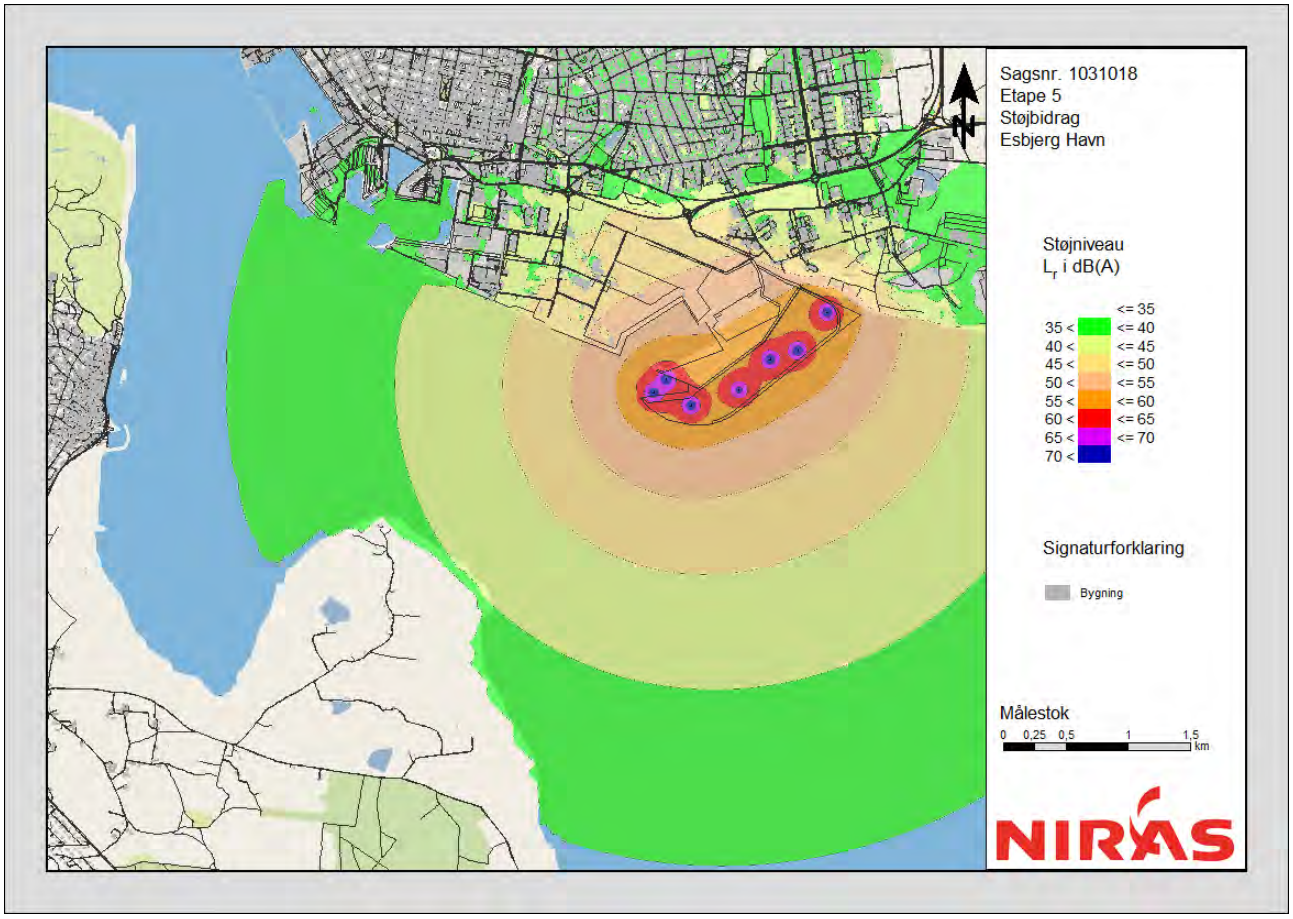
5 virksomheder der hver især i gennemsnit udsender støj med en kildestyrke på 110 dB(A). Dette er anvendt som et gennemsnit for de aktiviteter, der forventeligt vil forekomme på havnearealet.

Generelt vil virksomhederne forventeligt have forskelligt aktivitetsmønster, størrelse osv. Der vil også ofte være tale om at de ikke er i samtidig drift og at en del virksomheder kun vil være i begrænset drift i aften- og natperioden.

Det samlede støjbidrag fra alle aktiviteter i etape 5 ligger på eller mindre end 40 dB(A) ved boliger i Esbjerg og mindre end 35 dB(A) på Fanø.

Det skal understreges, at der er tale om det samlede akkumulerede støjbidrag fra alle aktiviteter. Dette støjbidrag kan ikke sammenholdes med støjgrænserne, da de gælder for enkeltvirksomheder. Beregningerne er herudover forudsat med max. drift af alle virksomheder. Ofte vil der være en vis form for variation i driftsforholdene, der vil betyde at det samlede støjbidrag vil være mindre end det beregnede.

Figur 9.1: Beregnet støjbidrag fra 2 skibe samt 5 virksomheder på etape 5.



9.3 Lavfrekvent støj, infralyd og vibrationer

Støj fra skibe og trafik kan indeholde lavfrekvent støj, infralyd eller vibrationer af betydning for det eksterne miljø. Miljøstyrelsen har fastlagt støjgrænser for lavfrekvent støj og infralyd indendørs i boliger (Miljøstyrelsen, 1997).

På grund af afstanden til beboelser forventes ikke, at der opstår gener med lavfrekvent støj, infralyd eller vibrationer.

Kommunen kan som tilsynsmyndighed meddele virksomheder påbud om at foretage målinger af lavfrekvent støj, infralyd eller vibrationer, såfremt der er begrundet mistanke om, at de vejledende støj- eller vibrationsgrænser ikke overholdes. Virksomhederne kan endvidere påbydes at nedbringe støjen eller vibrationen, hvis målingerne dokumenterer, at grænserne ikke er overholdt.

9.4 Trafikstøj

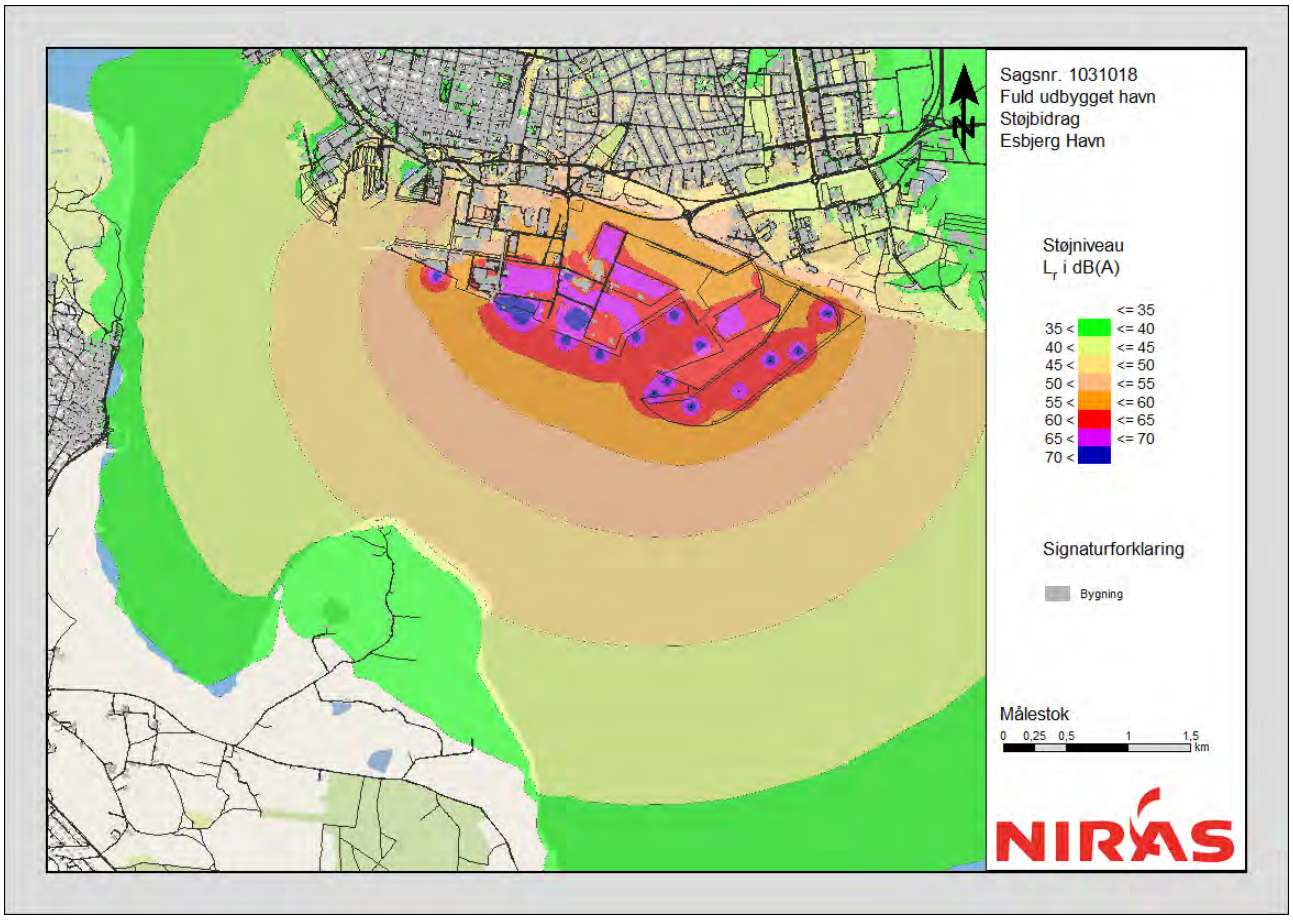
Som følge af den forøgede aktivitet på havnen vil trafikken øges, og det samme vil støjbidraget fra trafikken. Størstedelen af de specialleverancer som forventes til havnen, som følge af etableringen af etape 5, forventes leveret via vandvejen. Herudover vil der være en generel stigning i trafikken på vejnettet. Der er vurderingerne brugt en fremskrivningsprocent for trafikudvikling på 1,8% pr år. Trafikken til havnen som følge af udvidelsen forventes i 2026 at udgøre mindre end 2 % af den samlede trafik på vejnettet. Der vil som for anlægsfasen være tale om en beskeden forøgelse af støjbidraget i størrelsesordenen 0,5 dB. Der vil således ikke kunne

forventes en stigning i trafikken som følge af projektet, der vil kunne registreres og som vil adskille sig fra den generelle trafikforøgelse i øvrigt.

10 Kumulative effekter

Der er foretaget en beregning af det samlede støjbidrag fra alle eksisterende virksomheder, nye virksomheder samt skibe der ligger til kaj ved en fuld udbygning af etape 5, se Figur 10.1.

Figur 10.1: Samlet støjbidrag fra den eksisterende havn samt fuldt udbygget havn

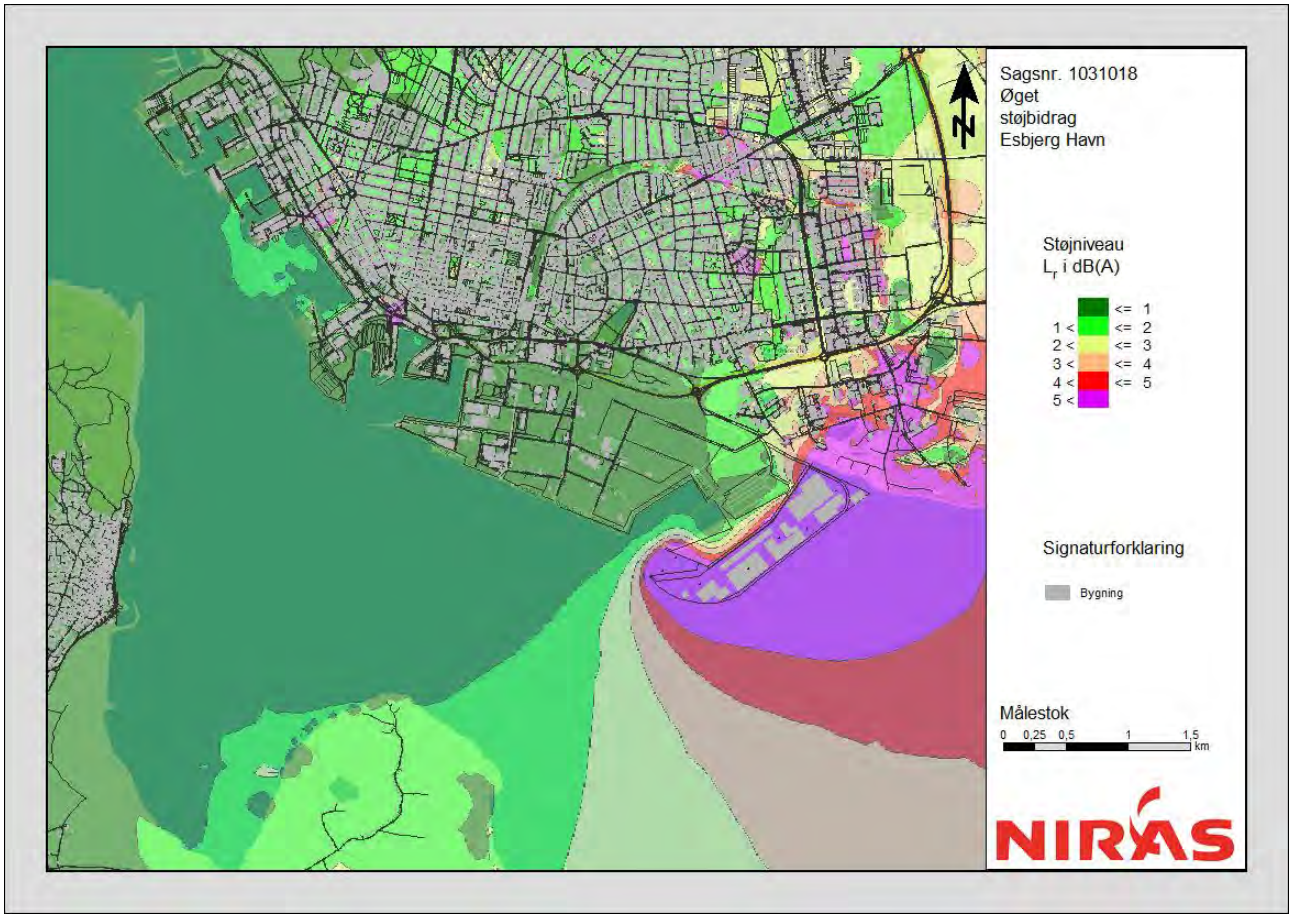


Det samlede støjbidrag ved boliger i Esbjerg ligger på op til 50 dB(A), mens det ved boliger på Fanø ligger på ca. 35-40 dB(A). Da de fleste virksomheder vil kunne være i drift døgnet rundt vil der ikke være væsentlige forskelle i støjbidraget dag, aften og nat.

Figur 10.2 viser den ændring i støjbidraget, der kan forventes ved udbygning af Esbjerg Havn. Figuren er fremkommet ved at sammenholde Figur 10.1 og Figur 7.5.

Figuren kan først om fremmest anvendes til at vurdere effekten ved boliger på Fanø og i Esbjerg. Som det fremgår øges støjbidraget i Nordby på Fanø med ca. 1 dB og ved boliger i Esbjerg med ca. 1-3 dB de fleste steder, enkelte steder dog op til 5 dB. Det skal understreges, at såvel Figur 10.1 som Figur 10.2 er baseret på at alle virksomheder/aktiviteter er i drift samtidig, hvilket næppe eller kun meget sjældent vil forekomme.

Figur 10.2: Ændret støjbidrag ved udbygning af Esbjerg Havn

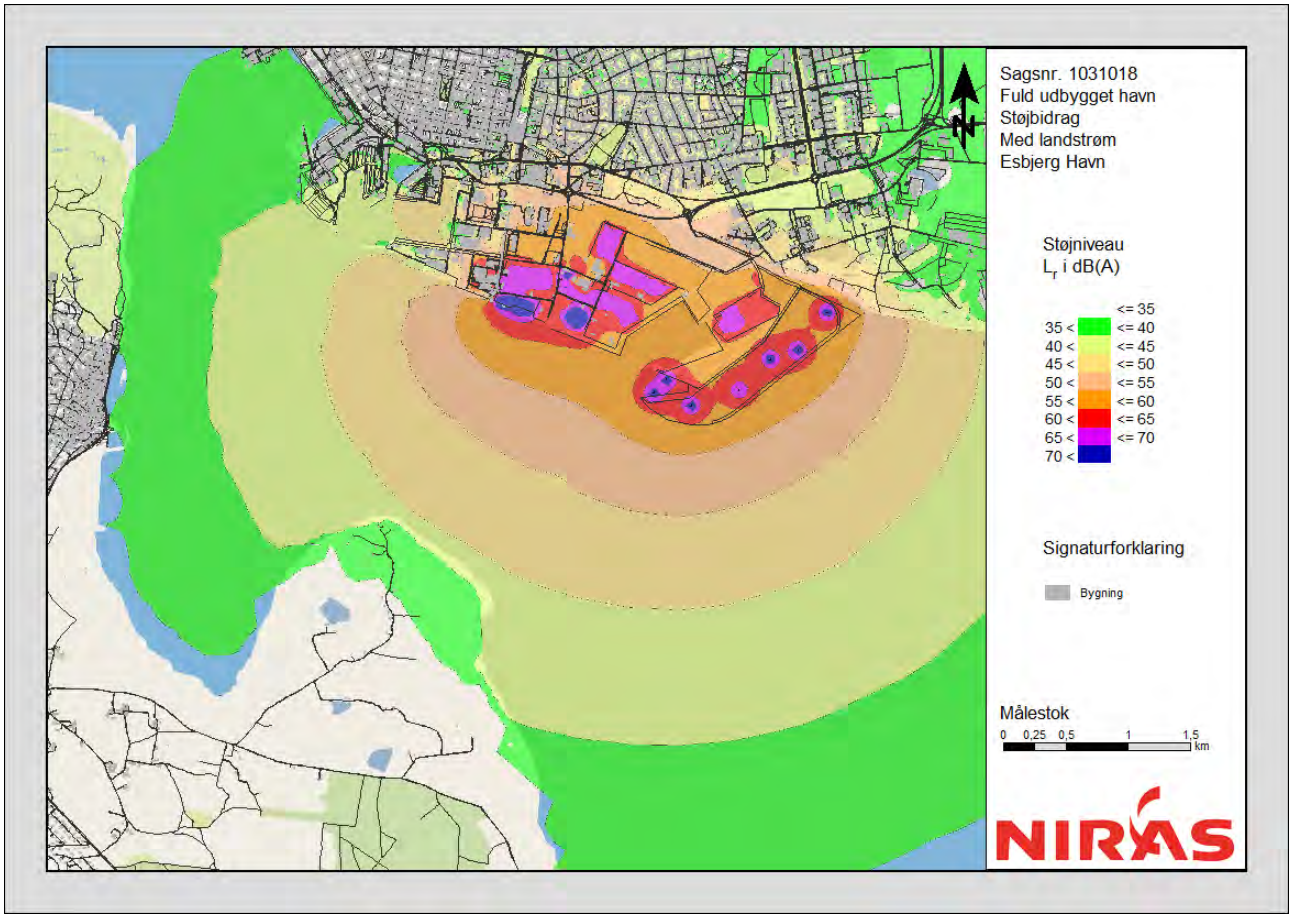


11 Landstrøm

Esbjerg Havn overvejer at installere landstrøm på den eksisterende havn. Det vil ske etapevis og bl.a. være afhængig af efterspørgsmål, teknologi mv.

Der er foretaget en beregning af den støjmæssige betydning af dette. Nedenstående Figur 11.1 viser effekten af at de 7 skibe/installationsfartøjer, der er regnet med på den eksisterende havn alle er forsynet med landstrøm. Det er samtidig forudsat, at ventilation på skibene ikke giver anledning til et betydende støjbidrag.

Figur 11.1: Samlet støjbidrag fra den eksisterende havn (med landstrøm) samt fuldt udbygget havn

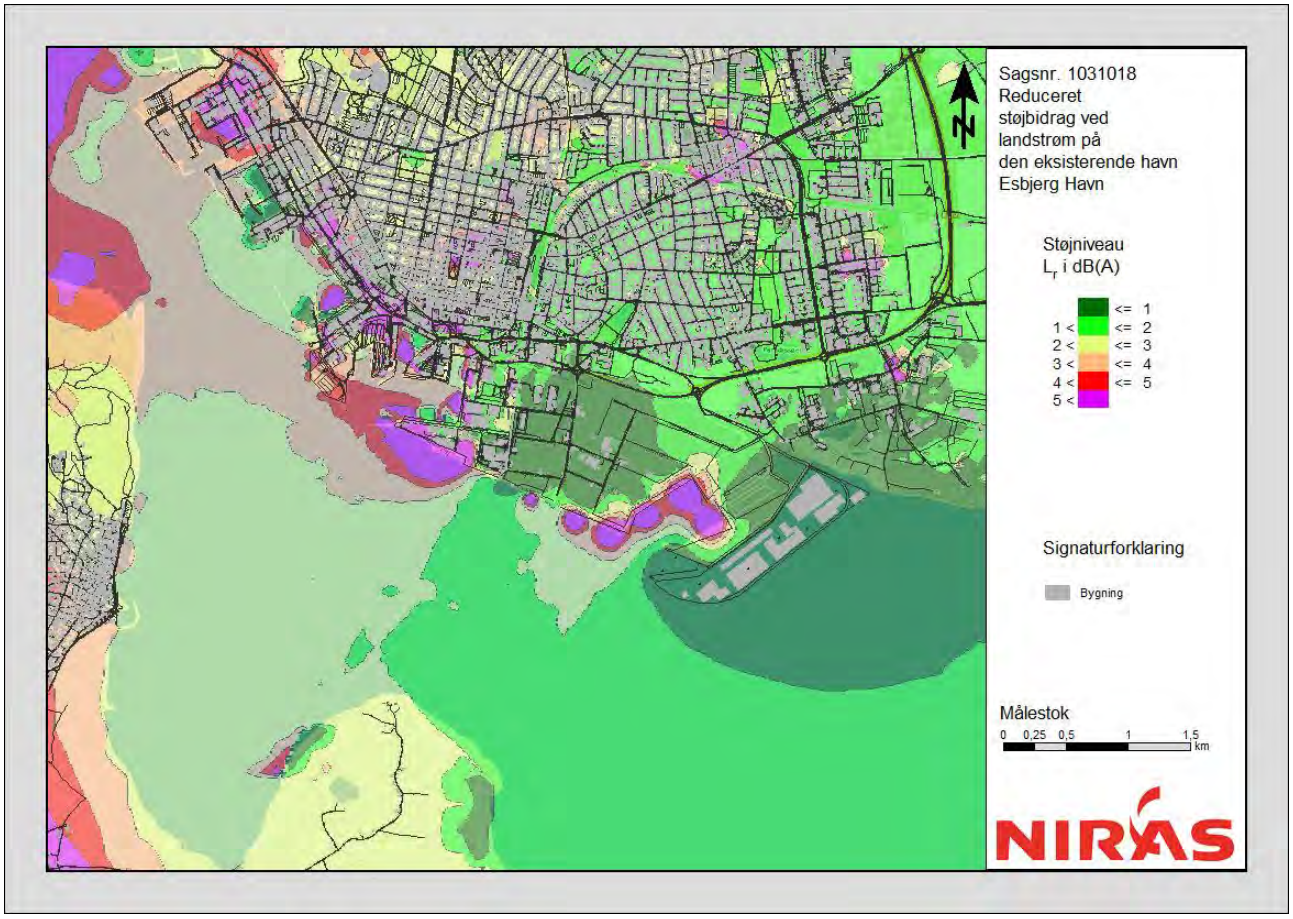


Ovenstående kort skal sammenlignes med Figur 10.1, hvor støjudbredelsen er vist uden landstrøm.

Figur 11.2 viser forskellen ved at indføre fuld landstrøm på den eksisterende havn. Som det fremgår så reduceres støjbidrag ved boliger i Esbjerg typisk med 1-2 dB. På Fanø er effekten større, nemlig 2-3 dB. Det skal dog understreges at støjbidraget på Fanø ligger på ca. 35-40 dB(A). En reduktion på 2-3 dB vil således næppe kunne registreres på grund af baggrundsstøjen, der ofte vil være større.

Det kan således konkluderes, at landstrøm vil have en positiv effekt på det samlede støjbillede, men kun i begrænset omfang vil kunne registreres på grund af den forholdsvis lille ændring.

Figur 11.2: Ændret støjbidrag ved etablering af landstrøm på fuldt udbygget Esbjerg Havn



12 Referencer

BEK nr 188 af 26/02/2016. (u.d.). Bekendtgørelse om udpegning og administration af internationale naturbeskyttelsesområder samt beskyttelse af visse arter. Miljø- og Fødevareministeriet.

BEK nr. 135 af 07/02/2019. (2019). *Bekendtgørelse om støj fra vindmøller.*

Danmarks Miljøportal. (2020). http://arealinformation.miljoeportal.dk/distribution/.

Esbjerg Kommune. (2016). *Forskrift for visse miljøforhold ved midlertidige bygge- og anlægsarbejder og overfladebehandling af fritstående stålkonstruktioner eller andre større fritstående konstruktioner i Esbjerg og Fanø Kommune. 6. udgave.*

Esbjerg Kommune. (2018). Kommuneplan 2018-2030.

Fanø Kommune. (2017). Kommuneplan 2017. Fanø Kommune.

Miljøstyrelsen. (1984). Vejledning nr. 5/1984 ekstern støj fra virksomheder. Miljøstyrelsen.

Miljøstyrelsen. (1993). *Vejledning nr 5/1993. Beregning af ekstern støj fra virksomheder.* Miljøstyrelsen.

Miljøstyrelsen. (1997). Orientering nr. 9/1997 "Lavfrekvent støj, infralyd og vibrationer i eksternt miljø". Miljøstyrelsen.

Niras A/S. (2020). Miljøkonsekvensrapport Esbjerg Havn Etape 5.

Plandata. (2018). Erhvervsstyrelsen.

Sweco. (2016). *Miljømåling ekstern støj. Måling af støj fra V164 testmølle ved Måde, Esbjerg.*

1. december 2020

Bilag 8

Zodiak Havnedepot

Udsivning til brakvandsområde fra Zodiak Havnedepot efter etablering af Etape 5, Esbjerg Havn.

Projekt ID:
Dokument ID:
XTAXEUDDNY4W-75177900-752
Ændret: 01-12-2020 09:43
Revision:

Udarbejdet af: JOHA, DGP
Kontrolleret af: RHO
Godkendt af: RHO

1 Baggrund

Dette notat er lavet på baggrund af materiale fra VVM for Zodiak Havnedepot, som i det nedenstående kaldes 'spulefeltet'. I forbindelse med VVM'en for spulefeltet blev der lavet en miljøkonsekvensvurdering, hvori der blev redegjort i detaljer for udsivning af vand indeholdende miljøfarlige stoffer fra spulefeltet til de omkringliggende vandområder (Kystdirektoratet, 2018). Sedimentet i spulefeltet er afgrænset af en mindst 30 meter bred sanddæmning mod vandområderne. I sanddæmningen vil det partikulære materiale tilbageholdes og dermed også en meget stor del af de miljøfarlige stoffer, idet de vil være bundet til partiklerne. Fra spulefeltet vil der kun udledes stof, som er opløst i vandfraktionen.

2 Kort projektbeskrivelse

Spulefeltet er, inden etablering af Etape 5, afgrænset mod Vadehavet mod sydøst og mod et brakvandsområde mod nordøst, hvortil Præstegårdsbækken løber ud (Figur 2.1). I miljøkonsekvensvurderingen antages det, at udsivningen af vand fra spulefeltet vil ske ligeligt fordelt til begge vandområder (50 % vand til hver), da afstanden fra det deponerede sediment til vandområderne er cirka den samme. Det er i miljøkonsekvensvurderingen beregnet, at vandet siver ud med en hastighed på 0,25 l/s til hver recipient.

Der er givet tilladelse til at deponere havnesediment i Zodiak Havnedepot indtil udgangen af år 2025. For at sikre funktionen af spulefeltet, hvor overskudsvand udsiver gennem dæmningerne, bevares den østlige dæmning på spulefeltet og en grøft mellem dæmningen og Etape 5. Grøften bevares indtil der ikke er brug for at aflede overskudsvand fra spulefeltet.

På et tidspunkt efter 2025 vil spulefeltet blive taget i brug som havneareal, og der vil herefter kun ske udsivning af vand gennem dæmningerne, der stammer fra nedbør, der falder på arealerne. I den anledning vil grøften mellem den østlige dæmning på spulefeltet og Etape 5 blive fyldt op, og derefter vil udsivningen gennem den østlige dæmning til Vadehavet næsten ophøre totalt, idet afstanden fra sedimentet i spulefeltet til Vadehavet bliver forøget med cirka 450-500 meter, og vandet, som siver ud fra spulefeltet, vil hovedsageligt sive mod brakvandsområdet, idet det drivende vandtryk vil være størst i den retning. I det nedenstående er det antaget, at hele vandmængden, som siver fra spulefeltet, vil sive mod

NIRAS A/S
Ceres Allé 3
8000 Aarhus C

T: +45 8732 3232
D: +45 6034 0946
E: JOHA@NIRAS.DK

www.niras.dk
CVR-nr. 37295728
FRI, FIDIC

brakvandsområdet. Det udsivende vand vil udelukkende stamme fra regn, der falder på området og siver ned og ud gennem dæmningen til brakvandsområdet.

Figur 2.1. Oversigt over Præstegårdsbækkens løb fra Paradissøerne til Vadehavet. Den blå linje illustrerer Miljøportalens §3-beskyttede vandløb, mens den røde linje viser vandløbets reelle forløb. Den grønne skravering illustrerer udbredelsen af det eksisterende brakvandsområde (NIRAS, 2017).

3 Fortynding og udlægning af blandingszoner

I det følgende beregnes den krævede fortynding ved udsivning af vand fra spulefeltet. Der er i fortyndingsberegningerne fokus på arsen og barium, idet de stedspecifikke generelle kvalitetskrav for begge metaller overskrides i det udsivende vand samt den stedspecifikke maksimumkoncentrationen for arsen (Kystdirektoratet, 2018; BEK nr 1625 af 19/12/2017). Fortyndingsberegningerne er baseret på vandtransporten fra spulefeltet til brakvandsområdet efter endt aktiv drift af spulefeltet, fordi de ovennævnte overskridelser for arsen og barium først vil optræde efter at den aktive drift af spulefeltet er afsluttet. Det skyldes at opløst arsen og barium afsættes i jordstrukturen i dæmningen og derfor går der mange år før jordstrukturen har opbrugt kapaciteten for at tilbageholde stofferne. Derfor vil stofferne først findes i udsivende vand i koncentrationer som overskrider kvalitetskriterier mange år efter at den aktive drift er afsluttet.

Efter endt aktiv drift er det kun nettonedbøren, som falder på spulefeltet, der vil sive gennem dæmningerne.

En nettonedbør på 400 mm/år, der falder på 40.900 m^2 spulefelt, giver en udsivning på 0,4 m * 40.900 m^2 = 16.360 m^3/år. Dette svarer til en udsivning på 0,5 l/sekund, og at der på 12 timer udsiver i alt 22 m^3 til brakvandsområdet fra spulefeltet. Der regnes på udsivningen indenfor en 12 timers periode svarende til en gennemsnitlig tidevandsperiode. Det antages, som i miljøkonsekvensvurderingen for spulefeltet, at koncentrationerne i det udsivende vand er 15,6 µg arsen/l og 119 µg barium/l (for nærmere information om koncentrationer og beregninger se (Kystdirektoratet, 2018)).

Den krævede fortynding for overholdelse af de stedspecifikke generelle kvalitetskrav beregnes ud fra nedenstående massebalance:

$$Cspildevand \times Fspildevand + Cvand \times Fvand = Generelt\ stedspecifikt\ VKK(Fvand + Fspildevand)$$

Hvor:

- *Fvand: mængde vand (flow) krævet til fortynding til vandkvalitetskrav (VKK)*
- *Fspildevand: mængde udledt spildevand (perkolat), 22 m³*
- *Cspildevand: koncentration af det specifikke stof i spildevandet*
- *Cvand: den i forvejen forekommende koncentration af stoffet i vandområdet*

Når Fvand isoleres i ligningen fås følgende udtryk:

$$Fvand = Fspildevand \times \frac{Cspildevand - Generelt\ stedspecifikt\ VKK}{Generelt\ stedspecifikt\ VKK - Cvand}$$

De nødvendige vandmængder til fortynding (Fvand) er listet i nedenstående

Tabel 3.1 for overholdelse af de stedspecifikke generelle kvalitetskrav i brak-

	Fvand (m3)	Cspildevand (µg/l)	Cvand (µg/l)	Stedspecifikt generelt kvalitetskriterie (µg/l)
Arsen	**998**	15,6	1,7	2,0
Barium	**728**	119	20,2	23,1

vandsområdet.

Tabel 3.1. Fortynding for at overholde de stedspecifikke generelle kvalitetskrav.

	Fvand (m^3)	Cspildevand (µg/l)	Cvand (µg/l)	Stedspecifikt generelt kvalitetskriterie (µg/l)
Arsen	**998**	15,6	1,7	2,0
Barium	**728**	119	20,2	23,1

Beregningerne viser, at der skal være 998 m^3 og 728 m^3 vand tilgængeligt i brakvandsområdet til opblanding af det udsivende vand fra spulefeltet, for at de stedspecifikke generelle miljøkvalitetskrav kan overholdes for henholdsvis arsen og barium i brakvandsområdet.

En lignende beregning kan laves for overholdelse af den stedspecifikke maksimumkoncentration for arsen i brakvandsområdet. Den krævede fortynding for overholdelsen af den stedspecifikke maksimumkoncentration for arsen kan beregnes ud fra nedenstående massebalance:

$$Cspildevand \times Fspildevand + Cvand \times Fvand = Stedspecifik\ maksimumskoncentration(Fvand + Fspildevand)$$

Hvor:

- *Fvand: mængde vand (flow) krævet til fortynding til vandkvalitetskrav (VKK)*
- *Fspildevand: mængde udledt spildevand (perkolat), 22 m³*
- *Cspildevand: koncentration af det specifikke stof i spildevandet*
- *Cvand: den i forvejen forekommende koncentration af stoffet i vandområdet*

Når Fvand isoleres i ligningen fås følgende udtryk:

$$Fvand = Fspildevand \times \frac{Cspildevand - Stedspecifik\ maksimumkoncentration}{Stedspecifik\ maksimumskoncentration - Cvand}$$

Tabel 3.2. Fortynding for at overholde den stedspecifikke maksimumkoncentrationen.

	Fvand (m^3)	Cspildevand (µg/l)	Cvand (µg/l)	Stedspecifikt generelt kvalitetskriterie (µg/l)
Arsen	**360**	15,6	1,7	2,5

Beregningen viser, at der skal være 360 m^3 vand tilgængeligt i brakvandsområdet til opblanding af det udsivende vand fra spulefeltet for at overholde den stedspecifikke maksimumkoncentration for arsen i brakvandsområdet (

Tabel 3.2). Dette gælder dog ikke når der er overløb fra renseanlægget til Præstegårdsbækken, idet råderummet for udledning af arsen forventes at være opbrugt, når der er overløb.

I brakvandsområdet vil vandmængden variere indenfor en tidevandsperiode. Ved ebbe er bunden blotlagt på nær det vand, som stammer fra Præstegårdsbækken, og ved flod er der et vandspejl i kote ca. +0,9 m DVR90. Vandet udgøres under flod hovedsagelig af indstrømmende vand fra Vadehavet.

Brakvandsområdet kan forenklet betragtes som et "badekar", der fyldes af vand, når tidevandet går mod flod, og som tømmes igen, når tidevandet går mod ebbe. Den vandmængde, der er til rådighed i brakvandsområdet til fortynding indenfor en tidevandsperiode på 12 timer, svarer til det vandvolumen, der er tilstede, når der er flod. Som flodvandspejlet er benyttet den gennemsnitlige flodvandstand på 1,6 MLWS, svarende til +0,9 m DVR90. Beregningen af volumen i brakvandsområdet viser, at det totale vandvolumen i det forlængede brakvandsområde er på ca. 30.000 m^3. Det reviderede brakvandsområde efter etablering af Etape 5 er vist i Figur 3.1, hvor det blå og røde areal er det vandfyldte område i brakvandsområdet ved flodvandstand på +0,9 m DVR90. Udover denne vandmængde vil der være

vandløbsvand i brakvandsområdet mod vest, men denne vandmængde vurderes af begrænset størrelse og er ikke medregnet.

På baggrund af ovenstående kan det konkluderes, at vandmængden i det reviderede brakvandsområde er mange gange større end den største vandmængde (998 m^3), der kræves til fortynding af arsen og barium i det udsivende vand fra spulefeltet. Derfor vil blandingszonerne for arsen og barium ikke udfylde hele brakvandsområdet. Dog skal det bemærkes, at den tilladte maksimumkoncentration for arsen forventes at være opbrugt når der er overløb til Præstegårdsbækken.

Figur 3.1. Forlængelse af brakvandsområdet. Den blå markering viser det eksisterende vandfyldte område ved middel højvande på 1000 m3. Den røde markering viser det vandfyldte område i forlængelsen af brakvandsområde ved etablering af Etape 5 ved middel højvande på 30.000 m3. Zodiak Havnedepot ses i venstre side af luftfotoet.

4 Konklusion

De gennemførte beregninger viser, at de krævede blandingszoner for arsen og barium ikke vil udfylde hele brakvandsområdet efter etablering af Etape 5, idet de krævede vandmængder til fortynding varierer fra 360 til 998 m^3, og der er 30.000 m^3 tilstede i brakvandsområdet til fortynding. Dog skal det bemærkes, at den tilladte maksimumkoncentration for arsen forventes at være opbrugt når der er overløb til Præstegårdsbækken.

Det kan konkluderes, at det er muligt at udlægge blandingszoner for udsivning af arsen og barium, som kun vil have en begrænset udbredelse i brakvandsområdet. Blandingszonerne er af meget begrænset udstrækning og vurderes at være acceptable. Blandingszonerne når ikke ind i Natura 2000-område nr. 89: Vadehavet.

5 Referencer

BEK nr 1625 af 19/12/2017. (u.d.). *Bekendtgørelse om fastlæggelse af miljømål for vandløb, søer, overgangsvande, kystvande og grundvand. Miljø- og Fødevareministeriet.*

Kystdirektoratet. (2018). Miljøkonsekvensvurdering af nyt spulefelt på esbjerg østhavn efter regler i deponeringsbekendgørelsen, NIRAS .

Baggrundsnotat

Esbjerg havn

Etape 5 Esbjerg Havn

Landstrøm til skibe

Projekt ID:
Dokument ID:
XTAXEUDDNY4W-75177900-752
Ændret: 31-03-2020 19:22
Revision:

Udarbejdet af: ANSJ
Kontrolleret af: HKD
Godkendt af: RHO

1 Baggrund

Danske industrihavne huser og servicerer en stor del af den danske tunge industri. Industrihavnene er industriknudepunkter, hvor en stor del af Danmarks gods til import- og eksport håndteres. Dette gælder også Esbjerg Havn, som bl.a. varetager en væsentlig del af bilimporten til Danmark, ligesom der her foregår en stor del godstransport via RO/RO-trafik. Esbjerg havn er hertil et helt centralt knudepunkt for offshore industrien. Havnen har således igennem tiden bidraget til udviklingen af den danske kulbrinte udvinding i Nordsøen, og er i dag en af Europas førende havne indenfor håndtering, udskibning og servicering af havvindmøller.

Der har i mange år været fokus på at gøre skibstrafikken mere miljøvenlig. IMO[1] har siden 1960'erne arbejdet for at mindske miljøbelastningen fra skibstrafikken, hvilket bl.a. har resulteret i vedtagelsen af MARPOL 73/78 med tilføjelser[2]. Fra rederierne er der også i tidens løb investeret stort i udviklingen af energibesparende skibstyper, hvor et godt eksempel er Mærsks Triple E-klasse containerskibe. De tre E'er står således for "Economy of scale, Energy efficient and Environmentally improved". Dette er direkte knyttet til et øget fokus på at mindske udledningen af bl.a. SO_2, CO_2 og NO_x fra skibstrafikken.

En stor del af den internationale skibstrafik er i dag reguleret via 6 MARPOL annex'er, som hver omfatter særlige forureningsindsatsområder. MARPOL annex 6 omhandler således luftforurening fra skibe, og der implementeres aktuelt en regulering med ikrafttrædelse i januar 2020 for indholdet af svovl i tung bunkerolie for skibe i transit. Her vil det lovlige indhold af svovl i bunkerolie for skibe i ikke-udledningsregulerede områder gå fra nuværende 3,5 % til 0,5 %. Dette følger en bestemmelse fra 2015, hvor man i forsøget på at mindske forurening og gener fra skibe i havn indførte, at svovlindholdet i anvendt bunkerolie ved kaj og i havnenære områder maksimalt må være på 0,1 %.

Erhvervshavnene er naturlige trafikknudepunkter med en stor følgeindustri og aktivitet, og disse vil derfor genere støj og påvirke luftkvaliteten i nærområderne i større eller mindre grad. Historisk set er havne placeret ud for byer og det kan give gener hvis der er nærliggende boligområder til store erhvervshavne med udviklingsbehov.

[1] International Maritime Organization
[2] International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL) 1973, with adoption of annex I-VI (1983-2005)

NIRAS A/S
Ceres Allé 3
8000 Aarhus C

T: +45 8732 3232
D: +45 6034 0921
E: ANSJ@NIRAS.DK

www.niras.dk
CVR-nr. 37295728
FRI, FIDIC

Erhvervshavnene arbejder løbende på at mindske påvirkninger som følger af havnerelateret aktivitet. En væsentlig kilde til gener forekommer, når et skib manøvrerer i havnen og lægger til kaj. Ved kaj vil skibet typisk overgå fra brug af hovedmotoren til skibets hjælpemotorer, som genererer strøm til fortsat drift af skibets elektriske anlæg, såsom kraner, pumper, ventilation m.v. Udover udledning af partikler og CO_2, så tilføjer den konstante brug af skibenes hjælpemotorer en støjkilde til nærområdet. Støjen fra større skibes hjælpemotorer og brugen af pumper, ventilation m.v. kan være lavfrekvent og derfor have et særligt udbredelsesmønster –lavfrekvent støj, infrastøj m.v. behandles i kapitel 17 - *Støj og vibrationer* i nærværende VVM.

Etablering af landstrømsanlæg kan eliminere udledning af udstødningsgasser og støj fra hjælpemotor og udstødning, men etableringsomkostningerne er høje og der er fortsat forskellige tekniske udfordringer.

2 Landstrøm

For at fjerne partikeludledningen og mindske støjen under kajoperation, kan skibe kobles på en strømforsyning fra land. Dette betyder i populære termer, at man "flytter" den støjende og emitterende kilde (skibets hjælpemotorer) fra skibet til land, hvor et kraftværk eller optimalt set en vindmøllepark producerer den nødvendige strøm til kajoperationer. Herved kan skibes varmeanlæg, ventilationsanlæg, krandrift m.v. drives uden brug af skibets egne hjælpemotorer.

Løsningen lyder oplagt, men der foreligger flere udfordringer ved indførsel af landstrøm til skibe ved kaj. Anlægsteknisk er det vigtigt at finde den rigtige løsning, da der i dag er mange forskellige standarder i brug. Det betyder, at det på nuværende tidspunkt ikke er en mulighed, at alle skibe som anløber f.eks. Esbjerg havn vil kunne gå på landstrøm, idet fleksibiliteten i anvendelsen af havnens bassiner vil forsvinde. Derfor fokuseres der i de danske havne typisk på anlæg til forskellige egnede skibstyper – f.eks. krydstogtsskibe, færger og andre skibe i rutefart og med faste havneanløb, samt for specialiserede arbejdsskibe, som arbejder fra en fast havneplads.

Esbjerg havn arbejder fremadrettet mod implementering af landstrøm til alle typer skibe som efterspørger denne mulighed. Det er i første omgang særligt skibe med faste anløb til havnen, såsom:

- Eksisterende færgeruter
- Skibe som tilgår RO/RO-rampeanlæggene
- Mølleserviceringsfartøjerne med fast base i Esbjerg havn (Jack-up vessels).

3 Etablering af landstrøm

Danske havne[3] arbejder for at sikre, at de grundlæggende rammer er til stede til at kunne drifte og udvikle effektive danske erhvervshavne. I brancheorganisationen arbejder man aktivt med at hjælpe udviklingen af fremtidens miljø-optimerede havne på vej. Klimapolitik er på dagsordenen i det meste af verden, og i Danmark er erhvervshavnene også deres ansvar bevidst. Klimaudvikling- og omlægning af en erhvervshavn tager dog tid, da der er tale om investering af store summer. I skrivende stund koster etableringen af et landstrømstik i omegnen af 2 mio. kr. pr. stk. og systemet er dertil ikke ret fleksibelt. Esbjerg Havn prioriterer derfor

[3] Brancheorganisation for Danmarks erhvervshavne - https://www.danskehavne.dk/

anlægning af konverteringsanlæg til landstrøm ved kajer med faste RO/RO forbindelser, eller kajanlæg som kan modtage krydstogtskibe, hvilket pt. ikke omfatter den kommende Etape 5.

Udvidelsen af Esbjerg havn vil forløbe over en årrække, og den tekniske udvikling vil betyde, at der ved ibrugtagning sandsynligvis findes endnu mere effektive løsninger til landstrømsanlæg. Projekteringen af Etape 5 udvidelsen dimensioneres derfor efter, at der i fremtiden skal være mulighed for implementering af landstrøm. Dette omfatter den nødvendige dimensionering af kabelrør, plads til kabelkraner og landstrømskonverteringsanlæg på kajarealerne m.m.

4 Udledning til luft

Der gøres i disse år meget for at nedbringe forureningen fra større byer overalt i Europa. Der er stort fokus på forureningen fra vejnettet, og i de kystnære byer er der øget fokus på forureningen fra skibstrafikken. Særligt for nogle af verdens mest energitunge fartøjer, krydstogtskibene, indføres der nye regler og krav ved ophold i havne.

Som eksempel på et skib som har fast rutefart og kajaktivitet i Esbjerg havn er DFDS' Ark Germania beskrevet her. Skibet er et fartøj til RO/RO lastbiltransport, som sejler i rute mellem Esbjerg og Immingham, England. Et typisk RO/RO forløb i Esbjerg Havn forløber over 4,5 timer, hvor fartøjet udleder følgende under antagelse af anvendt effekt på hjælpemotoren på 700 kW:

Tabel 4.1 Emissionsdata til Esbjerg Havn for DFDS Ark Germania under en 4,5 timers RO/RO operation – data er leveret af DFDS.

CO_2*	0,50 ton/h	2,25 ton v. 4,5 timers havneoperation
NO_x	0,01 ton/h	0,03 ton v. 4,5 timers havneoperation
SO_2	0,30 kg/h	1,35 kg v. 4,5 timers havneoperation

* CO2 anslås at veje 1,86 kg/m^3 ved 15 °C

Ovenstående udledninger ville i princippet kunne modregnes i Esbjerg Havns samlede klimaregnskab, såfremt Ark Germania overgik til landstrømsforsyning. Beslutningen om en eventuel investering i et landstrømsanlæg ved f.eks. Ark Germania's RO/RO rampe bliver løbende vurderet i forhold til den samlede påvirkning i- og omkring havnen.

Luft og emissioner er behandlet i kapitel 22 i denne miljøkonsekvensvurdering. Her vurderes det, at udledningen fra havnen i dag sammenholdt med kumulative effekter fra landbaserede aktiviteter ikke bevirker overskridelse af de fastsatte grænseværdier for NO_x, SO_2 og partikler. Desuden vurderes det, at emissionerne fra det øgede antal skibsanløb relateret til Etape 5 udvidelsen, vil være ubetydelige i forhold til luftkvaliteten i området (afsnit 22.5.2).

Eventuel etableringen af landstrøm behandles derfor som et muligt tilvalg i bestræbelserne på at drive en klimabevidst havn, og ikke som et nødvendigt og akut afværgende tiltag.

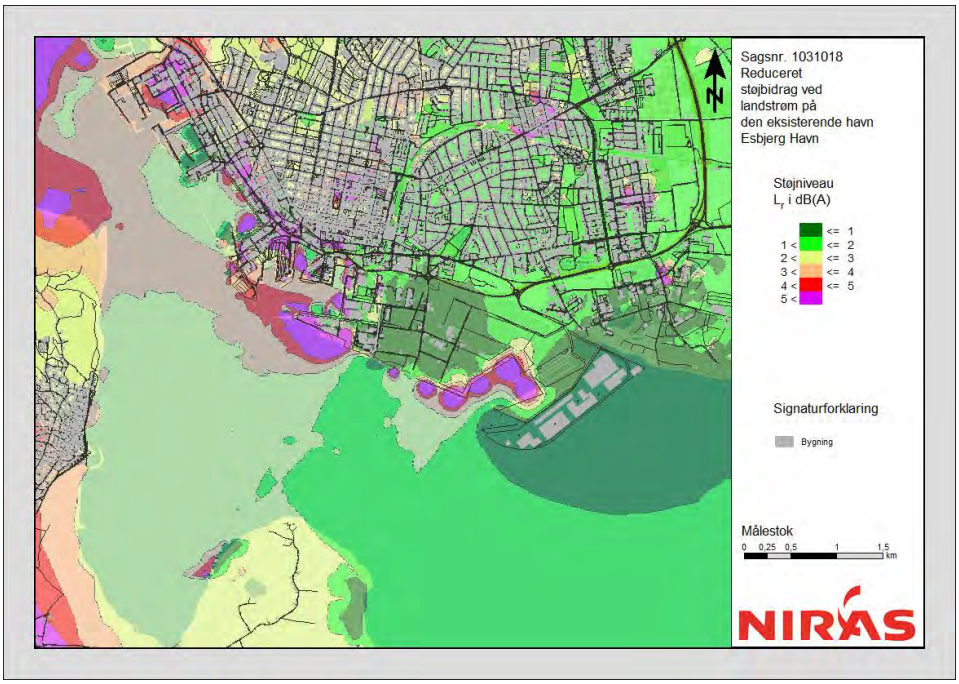
5 Støj

Alle større skibe anvender i dag hjælpemotorer til opretholdelse af nødvendige driftsaktiviteter under ophold ved kaj. Skibes hjælpemotorer er en betydelig kilde til støj under lasteoperationer. En rapport udarbejdet for Miljøstyrelsen angiver et beregningseksempel, hvor et skib der overholder IMO's støjkrav eksempelvis fortsat kan have et lydeffektniveau (kildestyrke) fra en dieselgeneratorudstødning på 107 dB(A) ved kaj (Miljøstyrelsen, 2010). Hertil kommer øvrige sekundære kumulative støjkilder fra f.eks. ventilationsanlæg, hydrauliske pumper, spil, kølecontainere og lasteoperationer. Rapporten oplister forskellige tiltag som kan mindske støjniveauet fra dieselhjælpemotorer, såsom motorlyddæmpning, støjisolering af maskinrum samt flere andre, og også etablering af landstrømsforsyning. Her er det dog væsentligt at indskyde, at tilkobling til landstrøm ikke fjerner den støj, som stammer fra de sekundære kumulative støjkilder. Kajoperationer foretaget under tilkobling til landstrøm er derfor ikke at betragte som støjneutrale, da dette kun eliminerer en støjkilde af flere, men typisk den væsentligste.

Det anvendte eksempel fra Esbjerg Havn, DFDS' Ark Germania, benytter under RO/RO operation ved kaj skibets hjælpemotor med en effekt på 700 kW, for at opretholde nødvendig drift. I det anvendte eksempel tog RO/RO operationen 4,5 timer med ankomst til Esbjerg kl. 15.20 og afgang kl. 19.50. Der foreligger ikke konkrete målinger af kildestyrken fra Ark Germania, men støjberegninger i kapitel 17 er gjort med udgangspunkt i tilgængelige data, herunder Data fra Esbjerg Kommune fra måling af kildestyrke på skibe i havnen og NIRAS egne målinger, og kildestyrken er herudfra vurderet til 103-113 dB(A) for hvert skib der ligger til kaj i havnen.

Der er lavet en støjberegning, hvor en del af de skibe som i dag arbejder fast i Esbjerg Havn, er simuleret som værende tilkoblet landstrøm. Scenariet er, at 7 transport og installationsfartøjer er koblet til landstrøm.

Denne støjsimulering viser, at elimineringen af brugen af disse skibes hjælpemotorer har en effekt. Støjbidraget ved boliger i Esbjerg reduceres ved disse tiltag typisk med 1-2 dB. På Fanø er effekten større, nemlig 2-3 dB. Det skal dog understreges at støjbidraget på Fanø fra havnedriften i øvrigt ligger på ca. 35-40 dB(A). En reduktion på 2-3 dB vil således næppe kunne registreres på grund af baggrundsstøjen, der ofte vil være større.



Figur 5.1 Ændret støjbidrag ved etablering af landstrøm på fuldt udbygget Esbjerg Havn. Bemærk, at skalen er forventet ændring i forhold til en fuldt udbygget Esbjerg Havn uden landstrøm.

6 Konklusioner

Tilkobling af skibe til landstrømsforsyning kan anvendes som et virkemiddel til nedbringelse af emission af skadelige udstødningsgasser til nærområdet og mindske støjudbredelsen fra kajoperationer. Som beskrevet i dette notat foretages der løbende tiltag for at nedbringe særligt klimapåvirkningen fra den marine transportsektor. Disse tiltag er senest rykket mod land, med fokus på nedbringelse af påvirkningen af havnenære områder.

I forhold til emission af skadelige stoffer fra havnerelaterede aktiviteter vurderes det i kapitel 22 (Luft og emissioner) i denne VVM, at emissionerne fra det øgede antal skibsanløb relateret til Etape 5 udvidelsen, vil være ubetydelige i forhold til luftkvaliteten i området, da havnen og etablerede virksomheder i dag arbejder med god margin til gældende grænseværdier (afsnit 22.2).

Implementeringen af landstrøm, og den medfølgende eliminering af støjbidraget fra de tilkoblede skibes hjælpemotorer, har som forventet en effekt. Effekten er størst i områderne i umiddelbar nærhed af de tilkoblede skibe, og effekten aftager ved større afstand pga. støjbidraget fra andre kilder. Effekten i boligområder i Esbjerg by og på Fanø er derfor begrænset, men implementeringen af landstrøm vil dog bevirke en reduktion af det samlede støjbidrag i størrelsesordenen 1-2 dB ved boliger i Esbjerg og 2-3 dB på Fanø. For yderligere information henvises til rapporten - Ekstern støj – baggrundsrapport (NIRAS A/S, 2020), hørende til denne VVM.

Esbjerg havn oplyser i forhold til landstrøm, at de løbende arbejder med klimatilpasning og effektiv havnedrift, og følger nationale retningslinjer og handleplaner udstukket af brancheorganisationen, men at landstrøm ikke er et virkemiddel som kan stå alene. De udførte støjsimuleringer understøtter dette, da der ses en

positiv, men dog begrænset reduktion af støjbidraget i de nærmeste støjpåvirkede boligområder.

Implementeringen af landstrøm i Esbjerg Havn behandles som ét aspekt i en lang række af forhold, som havnen løbende reviderer, i bestræbelserne på at drifte en så effektiv og klimabevidst havn som muligt. Esbjerg Havn har ikke planlagt at havneudvidelsen med Etape 5 skal omfatte en særskilt fremskyndelse af etableringen af landstrømsanlæg. Etableringen af landstrømsanlæg følger således Esbjerg havns hidtidige investeringsplan, som tilrettes i takt med at landstrøm efterspørges og at teknologien tilpasses havnens behov. Der findes pt. et aktivt landstrømsstik på havnen, og der projekteres med etablering af yderligere 5-10 landsstrømstik frem mod 2025.

Notat

Esbjerg Havn

Esbjerg Østhavn, Etape 5 og 6

Rastefugletællinger på vaderne ved Måde og Halen

Projekt ID:
Ændret: 18-11-2020 15:51
Revision:

Udarbejdet af RBL
Kontrolleret af WIHO
Godkendt af RHO

1 Metode

I februar, marts og april 2019 optalte Ornitolog Kim Fischer, Fanø rastende fugle på vaderne ud for Halen og Måde. Optællingerne blev foretaget som totaltællinger af alle fugle på vadefladerne og vandet. Optællingerne blev foretaget både ved højvande og lavvande for at kortlægge variationen i den døgnmæssige fordeling af fuglene. Der optaltes i alt fugle på 22 dage i perioden. For de enkelte optællingsdage henvises til Appendix 1:. Der optaltes fugle indenfor 8 foruddefinerede områder oppe fra 6 fordelagtige oversigtspunkter (se Figur 1.1).

Figur 1.1 Områder og optællingspunkter (stjerner) benyttet under optællingen af rastende fugle ved Halen, Fanø og Måde, Esbjerg foretaget i februar, marts og april 2018.

2 Resultater

Resultaterne af optællingerne er sammenstillet i Tabel 2.1. For resultaterne af de enkelte optællinger henvises til Appendiks 1.

NIRAS A/S
Ceres Allé 3
8000 Aarhus C

T: +45 8732 3232
D: +45 2469 0644
E: RBL@NIRAS.DK

www.niras.dk
CVR-nr. 37295728
FRI, FIDIC

Tabel 2.1 Sammenstilling af optællingerne af rastefugle foretaget i februar, marts og april 2018.

Delområde	A		B		C		D		E		F		G		H	
	snit	max	snit	max	Snit	max	snit	max	snit	max	snit	max	snit	max	snit	max
Rødstrubet Lom									7	9	9	17			4	4
Skarv			2	6					5	5	10	10	14	29	5	5
Toppet Lappedykker						6	6	6	4	5	2	2				
Gråstrubet Lappedykker									2	2	1	1				
Fiskehejre	3	4														
Skestork	7	9	2	2												
Grågås	46	82	22	42							22	22			6	8
Bramgås	2	2														
M. Knortegås	330	610	385	420											40	76
L. Knortegås	1	1														
Gravand	106	245	17	22									7	7	51	220
Gråand	51	110													7	8
Knarand	2	2														
Krikand	25	35	8	8											13	13
Spidsand	71	115													84	311
Pibeand	169	287	24	24											62	110
Skeand															2	2
Ederfugl	23	38	4	4	26	61	19	61	8	10			3	3	6	6
Hvinand	11	31			12	28	9	28	2	2	30	32	6	6	8	12
Toppet Skallesluger	6	6	9	9	10	17	9	17	8	20	18	31	5	9	4	6
Vandrefalk	1	1														
Strandskade	233	720	121	322							14	33	8	16	61	215
Klyde	2	2											4	4		
Vibe	54	155	22	35												
Hjejle	757	1450	541	2500												
Stor Præstekrave			5	7							1	1			11	11
Alm. Ryle	488	2200	90	450											35	35
Rødben											1	1			5	12
Isl. Rødben	140	180	12	17							46	46				
Hvidklire	3	3	3	3							7	15			131	131
Storspove	283	520	223	520									27	65	186	810
Småspove	6	10	5	8												
Lille Kobbersneppe			5	9											169	335
Svartbag	1	1	2	5							1	1	2	2	2	2
Sølvmåge	86	480	28	75			6	6			5	6	8	16	15	15
Sildemåge	8	8														
Stormmåge	176	410	74	445							55	55	16	25	17	43
Hættemåge	137	220	75	235							27	68	35	102	103	355
Sorthovedet Måge			1	1												
Havterne							4	4								
Bjergirisk	20	20														
Lapværling			1	1												

Appendix 1:

Tællinger Niras Esbjerg Havn 2019 Kim Fischer A Næs Søjord																
	2502 2019	2602 2019	0103 2019	0703 2019	1003 2019	1303 2019	1403 2019	1603 2019	1903 2019	2203 2019	2603 2019	0104 2019	0904 2019	1504 2019	1704 2019	1904 2019
	HV	LV	LV	HV	LV	HV	LV	HV	LV	LV	HV	LV	LV	HV	HV	LV
Fiskehejre				4								1				
Skestork									4							9
Grågås	82			50		50		60				48		25	25	27
Bramgås				2												
M. Knortegås	90		110	489	450	610	320	405		55	220	435		390		380
L. Knortegås				1												
Gravand		195	245	120	155	75	190		110	90	65	60	54	50	40	30
Gråand	8	110	110	40	80	50	75		70	40		19	8		5	
Knarand																2
Krikand				35											15	25
Spidsand		115	95	55	73	60	89		38	102		74	45		62	49
Pibeand		280	260	155	228	150	287		240	140		80			25	10
Ederfugl			10		38		38		24	28	25	11	11			
Hvinand		11	4		8		15		31	11	10	2	3			
Toppet Skallesluger									6							
Vandrefalk				1												1
Strandskade		450	720		270		345		270	190	4	140	110		45	20
Klyde																2

NIRAS A/S
Ceres Allé 3
8000 Aarhus C
T: +45 8732 3232
D: +45 2469 0644
E: RBL@NIRAS.DK
www.niras.dk
CVR-nr. 37295728
FRI, FIDIC

Vibe	155			110		60		45			20	20		15		10
Hjejle	620	600	420				670	22		250	1450	1400	800	1200	1200	450
Alm. Ryle	40		270		50		400	60	300	520	2200	800	650	150	300	600
Isl. Rødben			160	180	170	120	123		116	170		160	120		110	110
Hvidklire															3	
Storspove	3	400	375		230	40	470		520	280		386	75	345	280	280
Småspove													1		6	10
Svartbag												1				
Sølvmåge		15	480		20	25	120		45	30		9	80		40	
Sildemåge						8										
Stormmåge			410	400	350	90	290		120	100		70	30		55	20
Hættemåge			170	60	190	50	205		215	125		220	160		70	40
Bjergirisk														20		

Tællinger Niras Esbjerg Havn B Halen Vade 2019 Kim Fischer															
	2602 2019	0103 2019	0703 2019	1003 2019	1403 2019	1603 2019	1903 2019	2203 2019	2703 2019	2703 2019	0104 2019	0304 2019	0804 2019	1204 2019	1604 2019
	LV	HV	HV	LV	LV	HV	HV	LV	LV	HV	LV	LV	HV	LV	HV
Skarv	1	1			1				6	1					
Skestork								2							
Grågås		22	42			15				10					
Mørkbuget Knortegås													420		350
Gravand			20			9			22				15		
Pibeand		24													
Krikand															8
Toppet Skalle-sluger															9
Ederfugl															4

Strandskade		225	322	290	110	66	20	20	110	178	230	45	50	90	56	8
Vibe			20	35			28									4
Hjejle			40	80			2500				70		6			550
Stor Præste-krave		1	6	7	4											
Alm. Ryle				70		8	450			80	20	45	5			40
Isl. Rødben						11				7		17	11			
Hvidklire																3
Storspove		30	370	390	180	143	520		280	125	35	68	50	370	245	320
Småspove														1	5	8
Lille Kobber-sneppe			4		4							9			1	
Stormmåge		55	42	75	445	120	45	80	20	120	6	15	5	30	25	20
Hættemåge		35	90	160	150	70	40	52	70	235	10	24	30	50	30	
Sorthovedet Måge					1											
Sølvmåge		75	8	25	15	55	5	42	6	60		12	22		40	5
Svartbag		1			2	1				5			1	1		
Lapværling														1		

Tællinger Niras Esbjerg Havn C Grådyb 2019 Kim Fischer												
			2602 2019	0103 2019	0703 2019	1003 2019	1403 2019	1603 2019	1903 2019	2203 2019	2703 2019	2703 2019
			LV	HV	HV	LV	LV	HV	HV	LV	LV	HV
Toppet Lappedykker								6				
Ederfugl			61	61		15		25		4	8	11
Hvinand			5					28				2
Toppet Skallesluger								17		3		

Tællinger Niras Esbjerg Havn D Grådyb 2019 Kim Fischer																	
			2602 2019	0103 2019	0703 2019	1003 2019	1403 2019	1603 2019	1903 2019	2203 2019	2703 2019	2703 2019	0104 2019	0304 2019	0804 2019	1204 2019	1604 2019	1904 2019
			LV	HV	HV	LV	LV	HV	HV	LV	LV	HV						
Toppet Lappedykker								6										
Ederfugl			61	61		15		25		4	8	11	6	4	3			10
Hvinand			5					28				2		15		4	2	
Toppet Skalleslu-ger								17		3					5		12	6
Sølvmåge																	6	
Havterne																		4

Tællinger Niras Esbjerg Havn E Grådyb 2019 Kim Fischer																		
			2602 2019	0103 2019	0703 2019	1003 2019	1403 2019	1603 2019	1903 2019	2203 2019	2703 2019	2703 2019	0104 2019	0304 2019	0804 2019	1204 2019	1604 2019	1904 2019
			LV	HV	HV	LV	LV	HV	HV	LV	LV	HV						
Rødstrubet Lom													9	9	5			4
Skarv												5						
Toppet Lappedykker								2					5					
Gråstrubet Lappedykker													2					
Ederfugl						8					6				10			
Hvinand																2		
Toppet Skallesluger								10			2		20			4	6	

Tællinger Niras Esbjerg Havn F Måde 2019 Kim Fischer									
		1603 2019	2203 2019	2703 2019	0104 2019	0704 2018	0704 2019	1404 2019	2004 2019
		LV	LV	LV	LV	LV	HV	LV	LV
Rødstrubet Lom					17		5	4	
Skarv				10					
Toppet Lappedykker					2				
Gråstrubet Lappedykker					1				
Grågås							22		
Hvinand					27		32		
Toppet Skallesluger					16		31	6	
Strandskade	33	18	10	6	4			11	
Stor Præstekrave								1	
Storspove	6	15	2	6	6		1	15	
Rødben							1		
Hvidklire								46	
Svartbag			1						
Sølvmåge		6						4	
Stormmåge		55							
Hættemåge	15	68	13	25	23	45	20	7	

Tællinger Niras Esbjerg Havn G Måde 2019 Kim Fischer									
		1603 2019	2203 2019	2703 2019	0104 2019	0704 2019	0704 2019	1404 2019	2004 2019
		LV	LV	LV	LV	LV	HV	LV	LV
Skarv		8		11	6	11	29		17
Gravand				7					
Hvinand					6				
Ederfugl								3	
Toppet Skallesluger				1	9				
Strandskade		8		16	4			5	8
Klyde				4					
Storspove		65	49	33	8			3	5
Svartbag				2					
Sølvmåge			2	16					5
Stormmåge			25	6					
Hættemåge		22	102	40	20	17	12	35	

Tællinger Niras Esbjerg Havn H Måde 2019 Kim Fischer								
	1603 2019	2203 2019	2703 2019	0104 2019	0704 2019	0704 2019	1504 2019	2004 2019
	LV	LV	LV	LV	LV	HV	LV	LV
Rødstrubet Lom				4				
Skarv		5						
Grågås		8	8					2
M. Knortegås	33		16	33				76
Gravand	1		25		20	26	11	220
Gråand		8	6					
Pibeand	106	90	35	110		22		8
Spidsand	19	67	48	42		311	15	
Krikand								13
Skeand								2
Hvinand			2	12		11		
Toppet Skallesluger			6	5				2
Ederfugl								6
Strandskade	3	13	5	115	45		32	215
Stor Præstekrave								11
Rødben			2			2	2	12
Hvidklire								131
Alm. Ryle			35					
Storspove	102	167	88	89	123	40	72	810
Lille Kobbersneppe			2					335
Svartbag		1					2	
Sølvmåge			15					15
Stormmåge			43	17		10	15	2
Hættemåge	32	25	355	70	80	170	70	24

1. oktober 2019

Notat

Esbjerg Havn

Esbjerg Østhavn, Etape 5 og 6

Ynglefugletællinger ved Halen, Fanø

Projekt nr.: 226102
Dokument nr.: 1230637060
Version 2
Revision

Udarbejdet af RBL
Kontrolleret af WIHOGodkendt
af RHO

1 Indledning

I forbindelse med udvidelsen af Esbjerg Østhavn med Etape 5 er der gennemført en fugleundersøgelse af ynglende fugle på Halen, Fanø. Dette er det nærmeste naturområde med potentiale som ynglested for sårbare ynglefugle. En kortlægning af ynglefuglebestanden på Halen blev derfor vurderet nødvendig.

2 Metode

Fugleundersøgelserne blev gennemført indenfor ynglesæsonen for vand- og engfugle i Vadehavet. De angivne metoder og tidspunkter i den tekniske anvisning for ynglefugle blev fulgt. Undersøgelsen blev gennemført som en gennemgang af området, hvor de enkelte fuglearter blev registeret sammen med deres adfærd og antal. Ud fra sangaktivitet, varsling, bortledning, redefund og generel adfærd, blev der vurderet om arterne ynglede eller rastede i området.

Undersøgelser af en dags varighed blev gennemført af fire omgange (to i 2018 og to i 2019), for at dække sæsonerne bedre og give et bedre indtryk af, om de observerede fugle var ynglefugle eller ej.

Første besøg gennemførtes d. 22. maj 2018 i svag til jævn sydøstlig vind, solskin og 15-25 grader C.
Andet besøg gennemførtes d. 11. juni 2018 i jævn til frisk nordvestlig vind, overskyet og 12-17 grader C.
Tredje besøg gennemførtes d. 24. maj 2019 i jævn vind sydvestlig vind, overskyet, let regn og 11-12 grader C.
Fjerde besøg gennemførtes d. 7. juni 2019 i let til svag sydvestlig vind, solskin og 10-20 grader C.

3 Resultater

Ved besøgene på Halen var diversiteten og antallet af fugle som forventet på en god strandeng og kystnær hede i Vadehavet. Af Tabel 3.1 kan det ses, at de dominerende arter i området er sanglærke og engpiber. Disse arter yngler spredt ud over området. Som det ses af Figur 3.5 og Figur 3.10, er sanglærke og engpiber især koncentreret på hede og enge. Herudover er rødben, strandskade og vibe de hyppigste ynglefugle. Alle er almindelige arter på kystnære heder og strandenge. Fordelingen med klart flest rødben, strandskader og viber på den nordøstlige del (Figur 3.1 og Figur 3.6) er anderledes end forventet. Det var forventet ud fra Naturstyrelsens levestedsudpegning, at der var flest vandfugle, rødben, viber og strandskader i den sydvestlige del af Halen.

NIRAS A/S
Ceres Allé 3
8000 Aarhus C

T: +45 8732 3232
D:
E:

www.niras.dk
CVR-nr. 37295728
Tilsluttet FRI

Tabel 3.1 Liste over maksimum fundne ynglepar og antal rastende fugle på Halen, Fanø på to besøg i 2018 (22/5 og 11/6) og to besøg i 2019 (26/5 og 7/6).

	2018		2019	
Art	**Ynglepar**	**Rastende**	**Ynglepar**	**Rastende**
Alm. Ryle	0	2	0	0
Blåmejse	0	0	1	0
Dobbelt bekkasin	1	0	0	0
Engpiber	19-21	0	40-47	0
Gransanger	1	0	0	0
Gravand	1	0	2	0
Gråand	1	0	1	0
Gråkrage	0	0	1	0
Gul vipstjert	1	0	0	0
Hvid vipstjert	0	0	1	0
Gærdesanger	1	0	0	0
Gærdesmutte	1	0	0	0
Gøg	0	0	1	0
Klyde	0-1	2	0	0
Knortegås	0	200	0	0
Landsvale	0	0	4	0
Lille kobber-sneppe	0	100	0	0
Lille regnspove	0	1	0	1
Løvsanger	5	0	2	0
Musvit	0	1	0	0
Rødben	14	0	6	0
Rørhøg	1	0	1	0
Rørspurv	4	0	4	0
Sanglærke	28-32	0	55-60	0
Skestork	0	1	0	0
Stenpikker	2	0	0	0
Stenvender	0	1	0	0
Stor kobber-sneppe	1	0	0	0
Stor regnspove	0-1	25	0-1	7
Strandhjejle	0	21	0	0
Strandskade	6	34	5	0
Stær	0	80	0	10
Tingsmed	0	1	0	0
Tornirisk	1	4	4	0
Tornsanger	0	0	3	0
Vibe	4-7	0	2	0

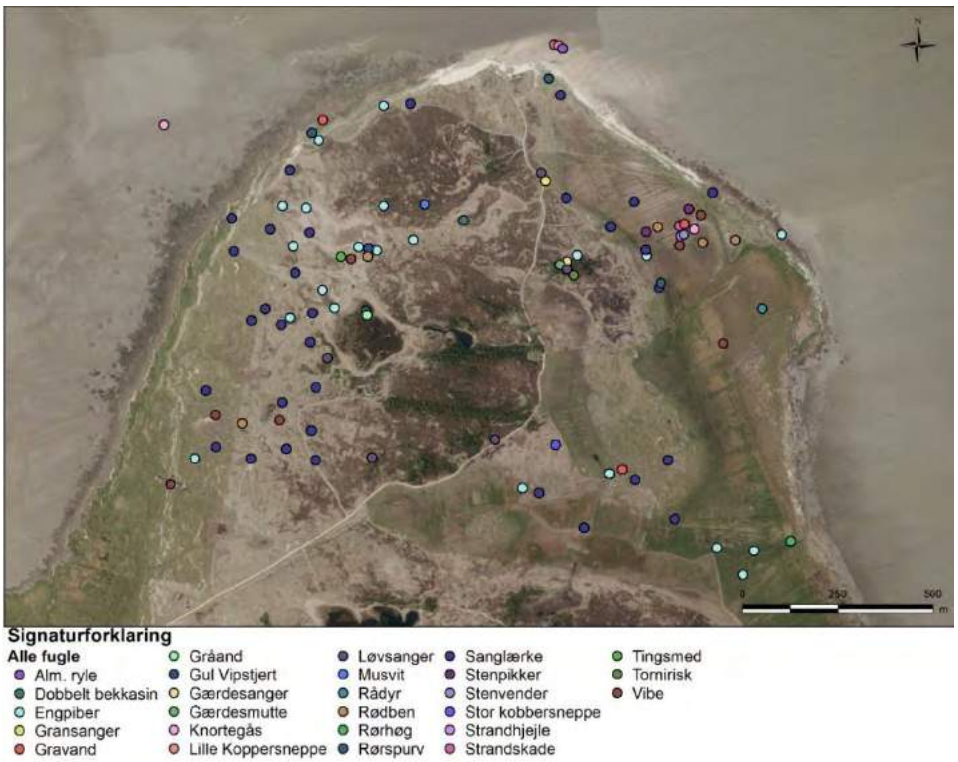
På Halen blev der også fundet enkelte sjældne og ualmindelige ynglefugle. Enkelte af disse kunne ikke med sikkerhed konstateres ynglende. Stor kobbersneppe blev registreret med et varslende/syngende individ i den sydøstlige del af Halen i 2018, som vurderedes at indikere et ynglende par. Derudover blev der under første besøg i 2018 hørt en syngende stor regnspove i den vestlige centrale del, som ikke blev registeret på andet besøg og derfor ikke er et sikkert ynglepar. Også i 2019 var der syngende stor regnspove i den centrale del af Halen, omend denne gang mere østligt. Dette forstærker formodningen om, at arten yngler på Halen. Klyde blev på andet besøg i 2018 observeret i den nordøstlige del med 2 fugle. Det kunne være et par der forsøgte at yngle, men individerne udviste ikke synlig yngleadfærd, og der blev heller ikke registeret klyder i 2019.

På Figur 3.1-Figur 3.5 ses fordelingerne af registrerede fugle og vurderede ynglepar af alle fugle, vandfugle og spurvefugle i 2018. På Figur 3.6-Figur 3.10 ses de tilsvarende fordelinger af registrerede fugle og vurderede ynglepar.

Det kan ses, at der i 2018 var flere vandfugle og i 2019 klart flere spurvefugle. Dette skyldes, at en større del af de våde partier var meget tørre i foråret 2019 end i 2018. Dermed har området været mere egnet i 2019 til arter der godt kan

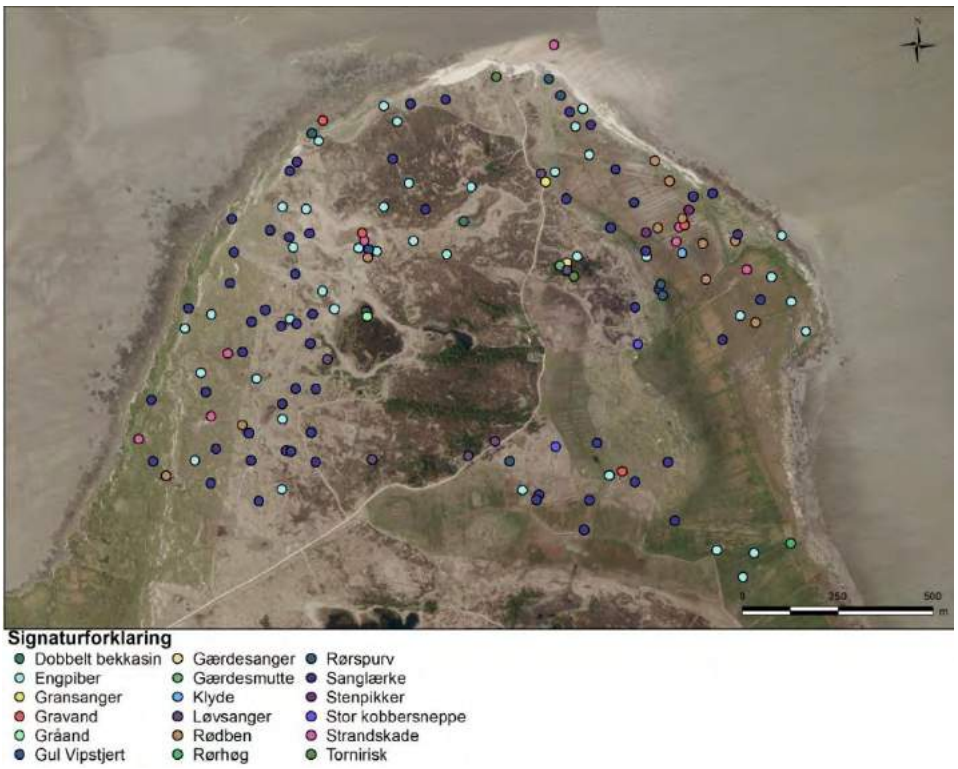
lide tørre arealer, som sanglærke og til dels engpiber. Arter der er mere knyttet til våde partier af heden og strandengene, som vadefugle, har haft det bedre i 2018. Fordelingen af vadefugle, hovedsageligt i den nordøstlige del, er dog udpræget begge år.

Figur 3.1: Alle registrerede fugle på besøg på Halen, Fanø 22/5 2018.



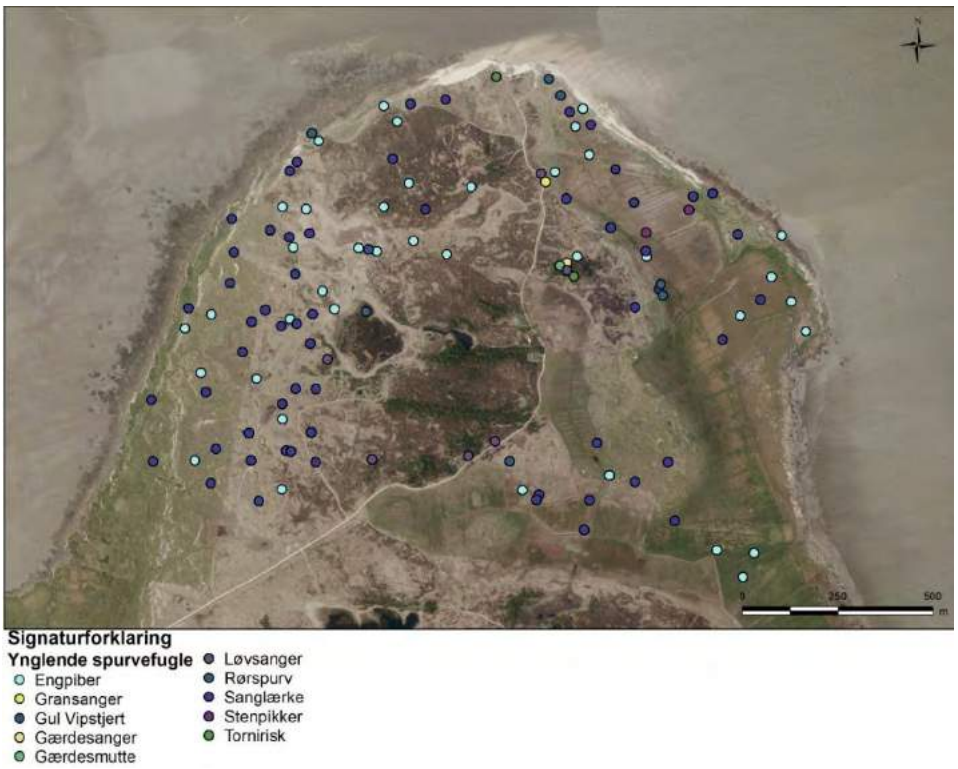
Figur 3.2: Alle registrerede fugle på besøg på Halen, Fanø 11/6 2018.

Figur 3.3: Alle vurderede ynglende fugle på to besøg på Halen, Fanø 22/5 og 11/6 2018.

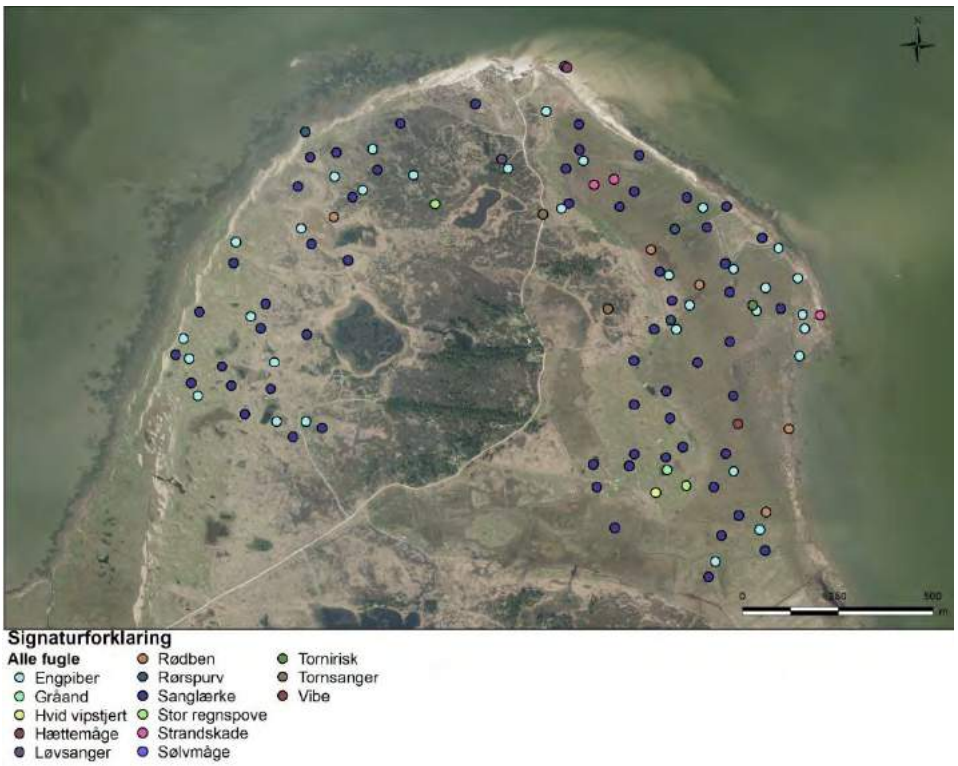


Figur 3.4: Alle vurderede ynglende vandfugle på to besøg på Halen, Fanø 22/5 og 11/6 2018.

Figur 3.5: Alle vurderede ynglende spurvefugle på to besøg på Halen, Fanø 22/5 og 11/6 2018.



Figur 3.6: Alle registrerede fugle på besøg på Halen, Fanø 24/5 2019.

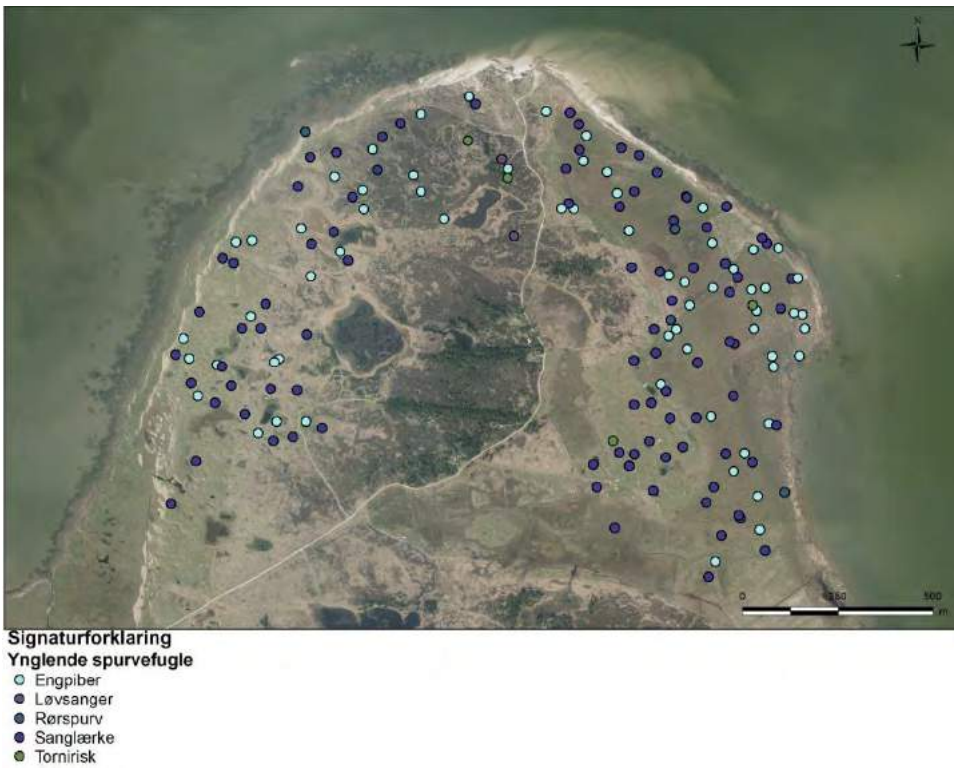


Figur 3.7: Alle registrerede fugle på besøg på Halen, Fanø 7/6 2019.

Figur 3.8: Alle vurderede ynglende fugle på to besøg på Halen, Fanø 2/5 og 7/6 2019.

Figur 3.9: Alle vurderede ynglende vandfugle på to besøg på Halen, Fanø 24/5 og 7/6 2019.

Figur 3.10: Alle vurderede ynglende spurvefugle på to besøg på Halen, Fanø 24/5 og 7/6 2019.



Bilag 12

- Arkivalsk kontrol s. 1
- Rapportering af marinarkøologisk forundersøgelse s. 3
- Frigivelseserklæring s. 14

De Kulturhistoriske Museer
Holstebro Kommune

MAJ 2019-53 Esbjerg havneudvidelse 5 & 6

20. juni 2019

Arkivalsk kontrol i forbindelse med udarbejdelse af miljøkonsekvensrapport for etape 5 & 6 af projekteret havneudvidelse, Esbjerg Havn, Nordsøen.

Niras har som repræsentant for Esbjerg Havn i mail af 2. april 2019 anmodet Marinarkæologi Jylland, herunder De Kulturhistoriske Museer i Holstebro Kommune, Strandingsmuseum St. George (STM) om en arkivalsk kontrol i forbindelse med udarbejdelse af miljøkonsekvensrapport for to områder for projekteret udvidelse af Esbjerg Havn (bilag 1). Etape 5 planlægges som en forlængelse mod øst, og etape 6 planlægges etableret som en ø syd for den eksisterende Østhavn og forbundet med etape 5 via en bro. Arealet, som projektet omfatter, er på cirka 1 mio. m^2.

Den arkivalske kontrol baseres på en arkæologisk gennemgang af registrerede fund i Slots- og Kulturstyrelsens (SLKS') database, Fund og Fortidsminder (FF).

Der er ingen registreringer i FF indenfor projektområdet, som kan være potentielt beskyttede fortidsminder. Det vil sige fortidsminder, som er beskyttede af Museumslovens 100års regel og hvis tilstand derfor ikke må ændres.

Der er imidlertid registreret, hvad der i FF tolkes som en 'Hamme', en sydvestjysk type fiskegård, (401134-1) mindre end 40 meter fra det østligste af de to projekterede anlægsarealer (etape 5). I forbindelse med en udgravning, som Esbjerg Museum foretog i 1999, måles anlæggets længde til 2,3m, og det beskrives som to rækker tætstillede pæle. Imellem pælene ses en risfletning flettet om tynde pinde, der er stukket ned mellem pælerækkerne. Anlægget vurderes i 1999 til potentielt at kunne dateres til at være oldtidigt. Anlægget er ikke C14-dateret.

STM vurderer i samråd med Sydvestjyske Museer v/Leder af (land)Arkæologienheden, Morten Søvsø, at dele af anlægget fortsat kan være bevaret in situ på den registrerede position. Det skyldes, at anlægget i Esbjerg Museums

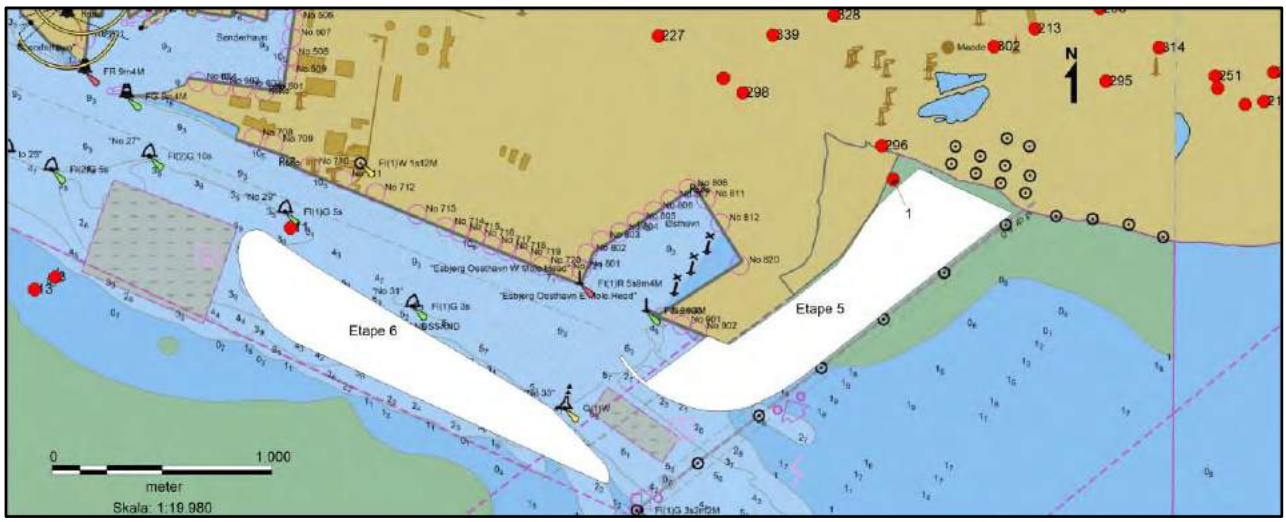
udgravningsrapport (Mejdahl, U. 1999. *Beretning for Esbjerg Museums undersøgelse på Måde Strand.*) ikke angives at være fjernet fra positionen (et foto på sidste side i rapporten viser anlægget in situ).

Ved et fremtidigt, potentielt høringssvar til førsteinstansmyndighed vil STM på den baggrund anmode Moesgaard Museum (MOMU) om at anmode SLKS om at stille vilkår om, at der på baggrund af potentielle fortidsminder i umiddelbar nærhed af det projekterede anlægsområde foretages en marinarkæologisk forundersøgelse.

Typen af forundersøgelsesmetode, som STM i dette tilfælde vil anmode MOMU om at anmode SLKS om, vil være en dykkerbesigtigelse. På baggrund af marinarkæologisk dykkerbesigtigelse af området ved den pågældende lokalitet vil en sikkerhedsstand yderligere kunne ændres eller bortfalde.

Med venlig hilsen,

Tine Verner Karlsen
Museumsinspektør,
Strandingsmuseum St. George



Bilag 1: Oversigt over projekteret anlægsområde for udvidelse af Esbjerg Havn (tabfil med polygon leveret af bygherres repræsentant: Niras). Registrerede lokaliteter fra SLKS' database, FF, er markeret med lokalitetsnummer samt røde prikker.

De Kulturhistoriske Museer
Holstebro Kommune

Fiskegård i Esbjerg havn

DKM 20.979 MAJ 2019-53 SLKS 17/08968

Forundersøgelse af fiskeanlæg

Stednavn: Esbjerg havn Sted- og lokalitetsnummer: 401134-1

Udarbejdet af Marie Jonsson, Strandingsmuseum St. George,

Marinarkæologi Jylland

Fiskegård i Esbjerg havn

Forundersøgelse af fiskeanlæg

DKM nr 20.979

Beretningsansvarlig Marie Jonsson

22 juli 2020

Forside:

Claus Skriver stående på den position hvor fiskegården registreredes i år 1999. I dag er pladsen dækket af en mole. Foto Marie Jonsson, Strandingsmuseum St. George.

Strandingsmuseum St George. Vesterhavsgade 1E, Thorsminde. 6990 Ulfborg, Telefon: 96115020,

e-mail: info@strandingsmuseet.dk, www.strandingsmuseet.dk

Indholdsfortegnelse

Resumé 5
English Summary 5
Undersøgelsens forhistorie 7
Formål med undersøgelsen 7
Topografi og bundforhold 7
Målesystem 7
Metode 7
Resultater 9
Sammenfatning med anbefalinger 10
Administrative og øvrige data 11
Litteraturhenvisninger 11

Resumé

Fund og fortidsminder nr. 401134-1 er et fiskeanlæg, opdaget og dokumenteret i 1999, der ville blive dækket ved en planlagt havneudvidelse i Esbjerg havn. Ved forundersøgelse i april 2020 var positionen for anlægget dækket af en nyetableret mole. En visuel besigtigelse af en mindre del af det område der er påtænkt til havneudvidelse gav ingen andre arkæologiske fund, formentlig er andre eventuelle anlæg dækket af nyere, naturlige, sedimenter.

English Summary

Fund og fortidsminder (Ancient monuments and finds) no. 401134-1 is a fishing trap, discovered and documented in 1999, that would be covered by a planned port expansion in the port of Esbjerg. At a preliminary study in April 2020, a newly established pier covered the position of the fish trap. A visual inspection of a small part of the area intended for port expansion yielded no other archaeological finds; presumably, recent, natural sediments cover other possible structures.

Figur 1. Kort visende den planlagte havneudvidelse og registreringer i Fund og Fortidsminder.

Undersøgelsens forhistorie

Esbjerg Havn ønsker at udvide sit kajanlæg imod sydøst, og i forbindelse med miljøkonsekvensvurderingen fremkom at et fortidsminde registreret i Fund og Fortidsminder ville blive berørt af anlægningsarbejdet. Lokaliteten 401134-1, en fiskegård, vil komme til at blive beliggende under det nye kajanlæg. For at finde ud om fiskegården har en alder der gør at den er beskyttet af museumsloven, besluttedes at lave en forundersøgelse, primært for at datere det men også for at finde ud af, om der er flere fiskeanlæg i området.

Fiskegården blev opdaget 24 marts år 1999 af en stensamler og amatørgeolog, Chris Christiansen, på vandring langs Måde strand. Fundet rapporteredes til Esbjerg museum, som samme dag tog ud og besigtigede anlægget i felten. Da det viste sig at være relativt stabilt, og ikke truet af erosion, blev en opmåling og videre undersøgelser gennemført lidt senere om foråret det samme år.

I luftfotos over området ser det ud som om, at der allerede var en ny mole etableret ovenpå fiskegården, Figur 3, men da positioner i Fund og Fortidsminder er behæftede med en smule usikkerhed, og fiskegården lå tæt på kanten af molen så vurderedes det, at der stadig var mulighed for at genfinde objektet.

Formål med undersøgelsen

Formål med undersøgelsen er at finde ud af om fiskeanlægget er beskyttet af museumsloven.

Topografi og bundforhold

Fiskeanlægget er beliggende på vadefladen lige øst for Esbjerg havn og syd for Måde. Ved undersøgelsen var beliggenheden tørlagt, men er dækket af vand ved højvande. Bundfladen er bestående af et klæglag med enkelte spredte skaller.

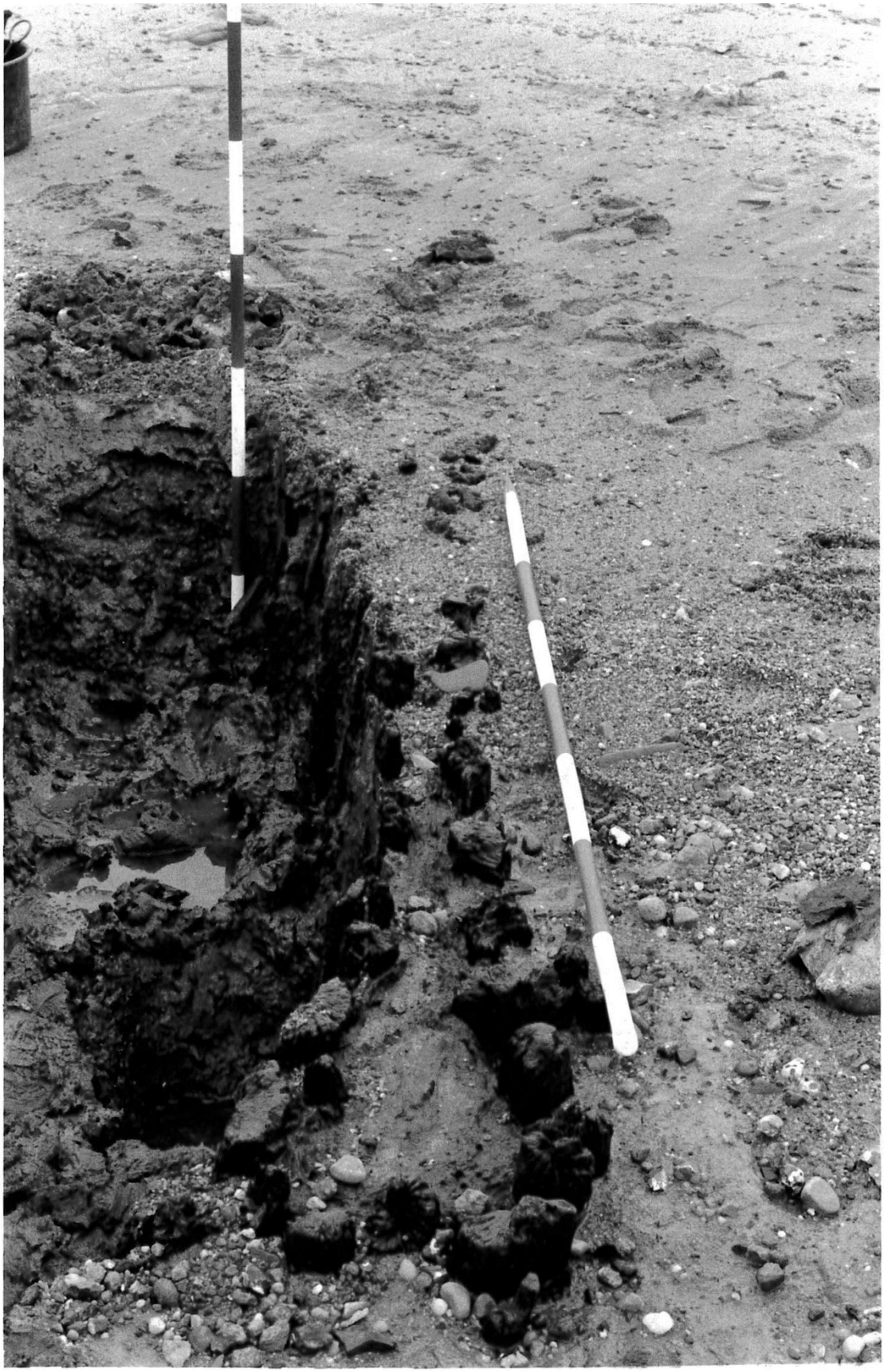
I beretningen fra 1999 skriver (Mejdahl) ”*På den del af havbunden, der tørlægges ved lavvande, ses egestubbe, der formodes at være rester af bevoksningen, som gik til grunde, da havet trængte ind og marskens dannelse begyndte.* ” Ved nuværende undersøgelse kunne dog ikke nogle stubbe ses.

Målesystem

I rapporten bruges Euref89 UTM zone 32N, med mindre andet specificeres.

Metode

Området undersøges ved lavt vand (Figur 4). Der forsøges at genfinde 401134-1 ved hjælp af GPS for at sikre dets position og indsamle træ til c-14 prøver. I øvrigt afsøges området for at sikre, at der ikke er yderligere anlæg fra fortiden der risikerer at blive påvirkede af anlægsarbejde. Hvis ukendte anlæg observeres, måles disse ind med GPS og om muligt tages prøver til datering.



Figur 2. Foto visende fiskegården ved besigtigelsen i 1999. Foto Ulla Mejdahl, Esbjerg museum.

Resultater

På den registrerede position i Fund og Fortidsminder, er en ny mole etableret. På forsidebilledet ses Claus Skriver med GPS stående på det sted, hvor anlægget skal være beliggende.

Figur 3. Kort visende fiskegårdens placering under molen, samt søgelinjer. Skala 1:1000

Området i umiddelbar nærhed til positionen, ved siden af molen, undersøgtes for at se om der var spor efter fiskegården, men intet spor af den kunne ses. En lille del af det store område der skal tages i brug til det nye havneanlæg afsøgtes visuelt, men ingen marinarkæologiske anlæg var at konstatere. Det vurderedes herefter at afslutte den visuelle søgning, da topografien fra den gang fiskegården opdagedes i 1999 virker forandret. I Figur 2 ses at bunden er gruset, hvilket den ikke var i april 2020 (Figur 4), samt at Mejdahl skriver at stubbe kunne ses rage op fra bunden i

området (1999, s. 3), hvilket heller ikke var tilfælde i 2020. Et anlæg der rager op fra vadefladen ville have kunnet ses på et rimeligt afstand på den meget flade bund. Sandsynligvis er stubbe og rester fra eventuelle anlæg dækket af nye sedimentlag, og at begynde at grave uden indikationer på hvor objekter måtte findes, giver desværre ikke mening. Det ville eller have været relevant at se hvor dybt stubbene stikker og om der var anlæg i deres nærhed for at få øget viden om fortidens kulturer i området.

Sammenfatning med anbefalinger

Ved forundersøgelsen kunne det eftersøgte objekt ikke genfindes. Det vurderes at fiskeanlægget 401134-1 er dækket af en nyetableret mole, og andre eventuelle levn fra fortiden er dækket af naturlige nye sedimenter. At søge efter yderligere objekter er desværre ikke relevant.

Strandingsmuseum St. George har derved ingen indsigelser imod det planlagte arbejde.

Figur 4. Udsigt fra den omtrentlige position for fiskeanlægget, ind imod land (mod nord). Foto Marie Jonsson, Strandingsmuseum St. George

Administrative og øvrige data

Ansvarligt museum:	**Strandingsmuseum St. George**
Museets kontaktperson:	Marie Jonsson, Tine Verner Karlsen
Beretningsansvarlig:	Marie Jonsson
Beretning afsluttet, dato:	22 juli 2020
Medvirkende arkæologer:	Marie Jonsson, Claus Skriver
Stednavn:	Esbjerg havn
Sted- og lokalitetsnummer:	401134-1
MAJ nr:	MAJ 2019-53
DKM nr:	DKM 20.979
SLKSs journalnummer:	SLKS 17/08968
For/undersøgelsens budget nr:	1
Godkendt budget i kr. inkl. Moms:	41.502,00
Dato for museets budget:	30 marts 2020
Økonomitype:	Forundersøgelse
Undersøgelsesperiode:	28 april 2020
Dato for museets projektbeskrivelse	28 januar 2020
Dato for SLKS´ godkendelse af budget	2 april 2020
Bygherrens navn	Niras (Esbjerg havn)
Bygherrens adresse	Ceres Allé 3, 8000 Aarhus C
Bygherretype	Privat
Bygherrens CVR nr.	3729 5728
Koordinater:	X467971.7 Y6145441.5
Målesystem:	Euref89 UTM zone 32N
Vanddybde:	0
Visuelt undersøgt areal:	18 000 m^2

Litteraturhenvisninger

Mejdahl, U. (1999). *Måde strand.* Esbjerg: Esbjerg museum.

NIRAS
Ceres Allé 3
8000 Aarhus C
joha@niras.dk

SLOTS- OG KULTURSTY-
RELSEN
FORTIDSMINDEKONTORET

Fejøgade 1, 2. sal
DK-4800 Nykøbing Falster

TELEFON 33 73 33 71

POSTFOR@SLKS.DK

CVR 26489865
EAN DRIFT 5798000792999
EAN TILSKUD 5798000792982

WWW.SLKS.DK

KASPER SPARVATH
KSS@SLKS.DK
+45 33 74 45 02

Dato: 31-08-2020

FRIGIVELSESERKLÆRING FOR UDVIDELSE AF ESBJERG HAVN – ETAPE 5 OG 6.
JOURNALNUMRE:MAJ2019-53, DKM 20.979, SLKS 17/08968

Slots- og Kulturstyrelsen har den 28. august 2020 modtaget henvendelse fra Strandingsmuseum St. George ved Marie Jonsson, med indstilling om frigivelse af arealet.

Marinarkæologi Jylland (MAJ) indstiller til frigivelse med følgende:

Strandingsmuseum St. George og MAJ-samarbejdet har derved ingen indsigelser imod det fortsatte anlægsarbejde og anmoder Slots og Kulturstyrelsen om at frigive området til bygherres planlagte arbejde.

Slots- og Kulturstyrelsen kan på baggrund i ovenstående meddele, at bygherren herefter frit kan disponere over arealet.

Skulle der mod forventning – ved den kommende aktivitet på arealet – dukke kulturhistoriske fund op, skal disse straks anmeldes til Marinarkæologi Jylland ved Moesgård Museum eller Strandingsmuseum St. George.

Når et område efter denne skrivelse frigives, gælder det alene frigivelse i forhold til kulturarv. Skulle der eksistere restriktioner på arealerne, vil disse fortsat være gældende.

Med venlig hilsen

Kasper Skaarup Sparvath
Konsulent, Marinarkæolog

Kopi sendt til: Moesgård Museum cs@moesgaardmuseum.dk og Strandingsmuseum St. George marie.jonsson@strandingsmuseet.dk