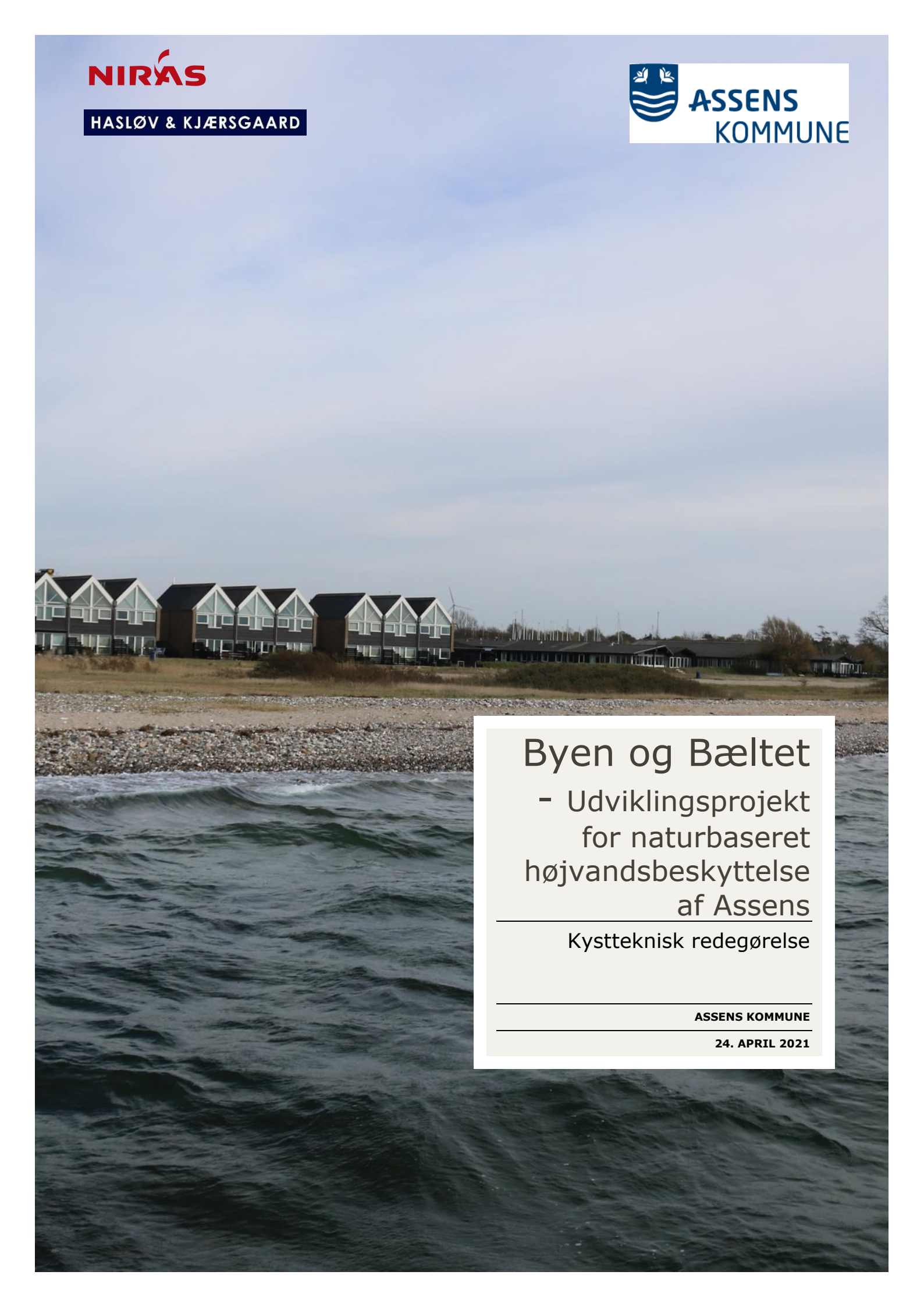


The background of the entire page is a photograph of a coastal scene. In the foreground, there is dark, choppy water with small waves. A rocky beach with grey and white stones runs horizontally across the middle ground. Behind the beach, there is a row of modern, two-story houses with dark roofs and white-trimmed gables. Further back, a long, low building with a dark roof is visible, and in the distance, a wind turbine can be seen against a pale, overcast sky.

Byen og Bæltet

- Udviklingsprojekt
for naturbaseret
højvandsbeskyttelse
af Assens

Kystteknisk redegørelse

ASSENS KOMMUNE

24. APRIL 2021

Indhold

0	Introduktion	4
1	Kystteknisk udgangspunkt for udviklingsprojektet	6
2	Beskrivelse af kysten	11
3	Delanalyse 1: Regional analyse af sedimenttransport og kystmorfologi	16
3.1	Historik kystudvikling	16
3.1.1	Delstrækning Sønderby Klint-Torø Huse	17
3.1.2	Delstrækning Torø Huse-Assens Næs	21
3.1.3	Delstrækning Assens Nord-Gammelhøj	24
3.2	Kystteknisk redegørelse	28
4	Design basis	29
4.1	Introduktion	29
4.2	Data	29
4.3	Havspejlsstigning	31
4.4	Isostatiske havspejlsstigning	32
4.5	Ekstrem vandstand	33
4.6	Bølgemodellering	35
4.7	Joint probability analyse	40
4.8	Anbefalet sikringskote	41
5	Delanalyse 2: Lokal analyse af sedimenttransporten og kystmorfologiske processer	45
5.1	Strandprofil	45
5.2	Kystparallel sedimenttransport	47
5.3	Ligevægtsorientering	50
5.3.1	Sedimenttransport ved ligevægtsorientering	53
5.4	Form og variabilitet af strandlinjen	54
5.5	Nordvendt strand	60
6	Delanalyse 3: Dimensionsanalyse af kunstig klitstruktur	62
6.1	Akut erosion af strand og klitdige	62
6.2	Geotekniske beregninger for klitdiget	70

7	Udviklingsprojekt for Assens Næs	73
7.1	Principsnit	73
7.2	Sydlig strand	74
7.3	Nordlig strand	75
7.4	Forlande	76
7.5	Nordlige Næshuse	79
7.6	Marinaen	80
8	Vedligeholdelse af højvandsbeskyttelse	83
9	Referencer	84

Projekt ID: MGTB.ACQ
Ændret: 24-04-2021 15:34
Revision 3.0
Udarbejdet af CHLD, ANSL,
KLBU, MML
Kontrolleret af KMR
Godkendt af CHLD

0 Introduktion

Assens Kommune har bedt NIRAS udarbejde et udviklingsprojekt for naturbaseret højvandsbeskyttelse af Assens.

Højvandsbeskyttelsen udformes primært som en naturligt udseende klit, som kombineres med sandstrande foran.

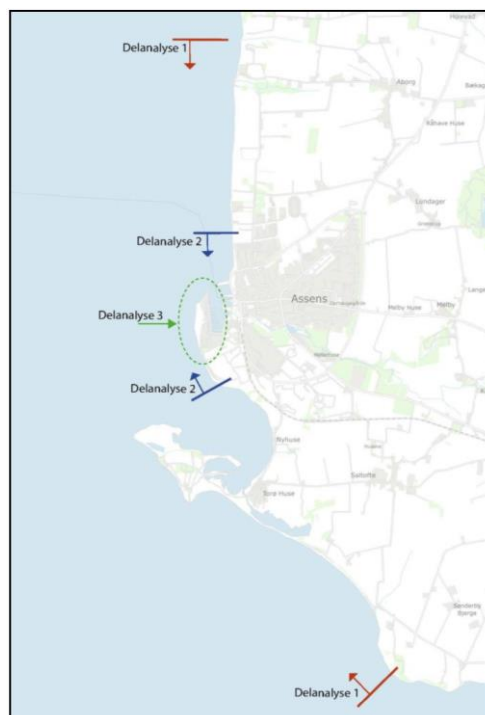
NIRAS har udarbejdet udviklingsprojektet sammen med landskabsarkitektfirmaet Hasløv & Kjærsgaard som underrådgiver.

Projektet omfatter kysttekniske analyser af sedimenttransport og geomorfologiske processer langs kysten ved Assens.

Opgaven omfatter desuden en nærmere beskrivelse af baggrunden for udviklingsprojektet og hvordan det er integreret i omgivelserne ved Assens Næs, se også (NIRAS-H&K, 2021).

Resultaterne af de kysttekniske analyser danner grundlag for det videre arbejde med dimensionering af strande og klitlandskab på Assens Næs, hvis primære funktion er oversvømmelsesbeskyttelse under hensyntagen til akut erosion og kronisk erosion.

De kysttekniske analyser af sedimenttransport og geomorfologiske processer omfatter kysten ved Assens fra Sønderby Klint til cirka 3 km nord for Assens Havn som vist på Figur 0.1.



Figur 0.1 Kortudsnit med geografisk udstrækning af Delanalyse 1, 2 og 3

Assens Kommune har udpeget havneområdet i Assens som indsatsområde som følge af risiko for oversvømmelse fra havet.

Politisk er det prioriteret på sigt at fremme en ydre oversvømmelsesbeskyttelse langs kysten ved Assens, som skal beskytte byen mod højvandshændelser. Den ydre sikringslinje er beskrevet som en digeløsning med en stormflodsport ved indsejlingen til havnen.

Udviklingsprojektet for højvandsbeskyttelsen af Assens Næs er udarbejdet som en del af den overordnede beskyttelsesplan og beskriver mulighederne for at etablere et klitlandskab med rekreative funktioner på Assens Næs.

Projektet ved Assens Næs er et ud af i alt otte pilotprojekter i Danmark, som modtager støtte fra kampagnen "Byerne og det stigende havvand", der er et partnerskabsprojekt mellem Realdania og Miljø- og Fødevareministeriet.

Partnerskabet har til formål at samle faglig viden til udvikling af nytænkende og helhedsorienterede løsninger, som kan bidrage til byernes beskyttelse og bæredygtighed.

Formålet med udviklingsprojektet for Assens Næs er at beskrive mulighederne for etablering af et klitlandskab på Assens Næs, der beskytter området mod fremtidige oversvømmelse og erosion samtidig med, at det skaber sammenhænge og kvaliteter til eksisterende omgivelser og giver området et landskabeligt og alligevel urbant løft, der udvikler kanten mellem by og kyst. Der kan skabes værdier, som kan understøtte, at området får et liv, der både favner sommerens intensitet og varme, vinterens kulde og klarhed og stormenes drama.

Klitlandskabet designes, så ny natur får mulighed for at udvikle sig i kombination med fastholdelse og opbygning af klitten. Derudover tænkes området sammen med rekreative funktioner.

Udviklingsprojektets forslag til højvandsbeskyttelse og landskabelige bearbejdning bygger på kysttekniske analyser af kystmorfologi og dynamik. Det vil sikre en robust beskyttelse både i forhold til sikkerhed og drift, men også at klitterne ikke kommer til at fremstå som et teknisk anlæg, men som en integreret del af naturen ved Assens, hvor byliv, nærhed til natur og mange rekreative aktiviteter kan udfoldes.

1 Kystteknisk udgangspunkt for udviklingsprojektet

Udviklingsprojektet for højvandsbeskyttelsen af Assens Næs tager udgangspunkt i naturbaserede løsninger med et minimum af hård beskyttelse og som samtidig kan forstærkes løbende i fremtiden uden at skulle bygges om, og samtidig har fokus på at reducere vedligeholdelsesomkostningerne. Derudover er det centralt, at løsningsforslagene kan give rekreativ værdi og funktionelle forbedringer, for eksempel reducere tilsandingen i indsejlingen til havnen.



Figur 1.1 Amager strandpark



Figur 1.2 Eksempel på vision for fremtidig stormflodsbeskyttelse af kystnære byer med sand og jord, hvoraf dele benyttes ved Assens Næs, NIRAS

Den eksisterende strand på ydersiden af Assens Næs er domineret af ral på forstranden og en bred flad sandet bagstrand. Disse forhold fremstår som en kyst med moderat rekreativ værdi, som ikke står mål med kommunens ønsker om at gøre Assens Næs til en dynamo for friluftsliv og turisme i området.

Rådgiverne foreslår derfor, at der etableres en ny sandstrand i forbindelse med anlæggelsen af det nyt klitlandskab.

Stranden kan blive et stort aktiv for hele byen. For at kunne skabe en stabil sandstrand vurderes det, at det er nødvendigt at ændre orientering af strandlinjen langs forsiden af næsset, således at strandens orientering drejes imod uret.

Det er vigtigt, at der skabes en stabil strand af hensyn til at forebygge tilsanding i havnens indsejling og sandgennemtrængning af den eksisterende mole.



Figur 1.3 Nuværende ralstrand og sandet bred bagstrand ud for feriehusene på Assens Næs

Det er vigtigt, at klitterne ikke bliver for høje og at der tages højde for udsigten fra eksisterende ferieboliger.

Sandet til indbygning i klitterne skal være middeldkornet til groft sand og opbygningen skal fremme, at den klittypiske vegetation understøttes. Klitterne kan med fordel tilsås med strandhjelme for at reducere sandfygning, som dog også reduceres ved anvendelse af forholdsvis groft sand til opbygningen, men det forventes dog, at sandfygning ikke helt kan undgås.

Der inkluderes en mindre lavning på bagsiden af klitterne, som varierer mellem en grøft på de strækninger, hvor der kun er lidt plads mellem klitterne og ejendommene i baglandet til bredere vådområder de steder, hvor der er mere plads. Som en del af dette afvandingssystem af sammenhængende lavninger foreslås det at etablere en mindre sø, der kan benyttes som pumpeump til håndtering af regnvand, overskyl og vandgennemstrømning ved behov. Lavningen vil desuden reducere eventuelle gener bagved som følge af sandflugt.



Figur 1.4 Udsigt over Assens Næs fra terrasserne ved ferieboligerne



Figur 1.5 Nuværende flade bagstrand mellem stranden og ferieboligerne og campingpladsen

Det er nødvendigt at anlægge en række nye forlande til at stabilisere de nye sandstrande. Forlandene er bearbejdet, så de i sig selv bliver en oplevelse at besøge. Her er der både oplevelser over og under vand med et stort naturindhold. Forlandene udformes med stenrev foran, hvor muslinger, krabber og tangplanter gøres tilgængelige via lave oplevelsesbroer og udsigtsplatforme. Det rolige vand på bagsiden af forlandene kan benyttes til vandsport som kitesurfing, roning og dykning. Mod syd er forlandene udformet med solnedgangsplads, hvorfra man kan opholde sig, nyde udsigten og solbade i fred med en god bog, se desuden (NIRAS-H&K, 2021).

Da der er rapporteret tangansamlinger på strandene i området vil konstruktioner og strandene blive indrettet således, at tangansamlinger minimeres. Det vurderes dog at være nødvendigt at rense strandene for tang ind imellem for at holde strandene rene.



Figur 1.6 Naturlige og menneskeskabte kystnære stenflak

Det foreslås at grave en del af de eksisterende ralstrande op og indbygge ralen i de nye kystnære stenrev og flak, som anlægges omkring de nye pynter, der skal hjælpe med til at stabilisere sandstrandene. Ral er generelt et dyrt materiale at importere og det forventes således, at der kan opnås en betydelige besparelse på indkøb af ral.

Behovet for etablering af højvandsbeskyttelse på østsiden af Assens Næs afhænger af mulighederne for etablering af en højvandsport i havneindløbet. Der tages stilling til behovet for højvandsbeskyttelse på øst siden af næsset, når der er mere klarhed over økonomien og tidsperspektivet forbundet med anlæg af højvandsporten.

Principielt kan der anlægges jorddige langs hele bagsiden af Assens Næs undtagen de steder, hvor der er lodret kaj og hvor bådene skal kunne komme helt ind til kajen.

Der er dog strækninger, hvor der er begrænset plads og det derfor kan vise sig at være nødvendigt at supplere eksisterende skråningsbeskyttelser med højvandsmure. Andre steder er det muligt at flytte diget eller højvandsmuren tilbage fra havnebassinet for på den måde at optimere, hvorledes området kan benyttes og beskyttes.

Figur 1.7 viser oversigtsplan for udviklingsprojektet for naturbaseret højvandsbeskyttelse ved Assens Næs med klitter, strande, pynter og øvrig kystbeskyttelse, som er integreret i lokalområdet ved Assens Næs.



Figur 1.7 Oversigtsplan for udviklingsprojektet for naturbaseret højvandsbeskyttelse med strande, klitter og øvrig kystbeskyttelse ved Assens Næs

2 Beskrivelse af kysten

Kyststrækningen omkring Assens er karakterfuld og forskelligartet. Nord og syd for Assens dominerer klintkysterne med en let bugtet kystlinje, der tegnes af smalle, overvejende stenede strande. På strækningen nord for havnen er der en del småhøfder til beskyttelse af kysten.

Ved Torø og Torø Huse umiddelbart syd for Assens adskiller kystlandskabet sig væsentligt fra områdets øvrige kyster. Her er kysten en dynamisk fladkyst, der i høj grad præges af sedimenttransport. Flere generationer af strandvoldssyster har med tiden dannet det store marine forland. Særligt markant er tilsandingen af Torø Sund, der har fundet sted i 1980'erne og betyder, at Torø i dag er landfast med Fyn.



Figur 2.1 Flad sandet kyst ved Torø Strand syd for Assens

Kysten omkring Assens er præget af et specielt kulturlandskab, hvor store jordbassiner i den sydlige del af byen rejser sig 10 m over havniveau, mens det tilstødende Næs ligger som en flad delvist kunstigt anlagt halvø foran byen. Formen og området ved jordbassinerne er et historisk og kulturelt bearbejdet landskab, der vidner om sukkerproduktionen i Assens, hvor den afvaskede jord fra sukkerroerne blev placeret nær kysten.



Figur 2.2 Jorddepoter i den sydlige del af Assens Næs rejser sig mere end 10 meter over havet

På den flade halvø Assens Næs opleves i dag udfordringer med oversvømmelser i forbindelse med højvandshændelse. De største udfordringer opleves på den yderste del af Assens Næs, som både påvirkes af oversvømmelser fra havet mod vest og fra havnebassinet mod øst. Der er flere kystkonstruktioner i området bl.a. skråningsbeskyttelse, ydermole, høfder samt bade- og badebroer.



Figur 2.3 Badebro ved stenet strand i den nordlige ende af Assens Næs

I forbindelse med storm opleves der på den sydlige del af Assens Næs udfordringer med akut erosion, mens den kroniske erosion er lille.



Figur 2.4 Stenet strand langs centrale del af Assens Næs med campingpladsen i baggrunden

Ud for Assens Næs foregår nettosedimenttransporten mod nord, og gennem den sidste årrække har det med jævne mellemrum været nødvendigt at oprense sejlrenden til havnen.

Assens Næs er udgangspunkt for en særlig del af byens turisme og friluftsliv med lystbådehavn, søsportscenter med hjemsteder for maritime klubber og deres aktiviteter, et torv, ferieboliger, restaurant, campingplads, butikker, promenademole mm. Mod syd findes et ældre sommerhusområde, som grænser op mod jordbassinerne. I midten findes campingpladsen og Marinatorvet, som tilbyder en række servicefunktioner til områdets brugere og gæster. Yderst på næsset ligger feriehusene og Assens Søsportscenter. På indersiden af næsset, mod havnebassinet, holder marinaen til. Området er opbygget i en stram og åben struktur med lange, rationelle forløb af broer, veje, parkeringsarealer og stier.



Figur 2.5 Assens Søsportscenter



Figur 2.6 Ferieboliger på den nordlige ende af Assens Næs



Figur 2.7 Marina, vinter-oplagspladser og promenade

Assens kommune oplyser, at stranden på Assens Næs kun renses for tang én gang om året – i foråret inden badesæsonen starter.

Kommunens erfaring er, at mængden af tang afhænger meget af vindretningen. Ved vind fra NV kan der aflejres en del tang ind på forstranden, men når vinden vender og går i SØ medfører det typisk højvande, og så forsvinder tangen igen fra stranden af sig selv.

I bunden af Torø Vig ved Torø Huse ligger der en del tang. Det hober sig ofte op på det lave vand og fører til lugtgener.

Ved Mariendalsstrand har der tidligere været problemer med tang, som hobe sig op og kunne lugte i hele byen, hvis det ikke blev fjernet. Problemet forsvandt, da området blev fyldt op og forløbet af kystlinjen blev udjævnet, se Figur 2.8 og Figur 2.9.



Figur 2.8 Sandstrand nord for Assens Havn



Figur 2.9 Opfyldning af området nord for Assens Havn. Opfyldning har reduceret ansamling af tang

Kommunen oplyser, at der er problemer med tang ved Sandager Næs ca. 7,5 km nord for Assens.

3 Delanalyse 1: Regional analyse af sedimenttransport og kystmorfologi

3.1 Historik kystudvikling

Den historiske kystudvikling i området omkring Assens er analyseret og beskrevet. Analysen tager udgangspunkt i digitaliserede historiske strandlinjer, som er fundet på baggrund af ortofoto fra perioden 1954-2019.

Udviklingen af kysten er beskrevet på en ca. 13 km lang strækning i området omkring Assens fra Sønderby Klint i syd til Gammelhøj i nord. En oversigt over interesseområdet er vist på Figur 3.1.



Figur 3.1 Oversigtskort af interesseområdet for analysen.

Alle stationeringer i figurerne er opgivet som afstande langs kysten fra Sønder Klint x 50m.

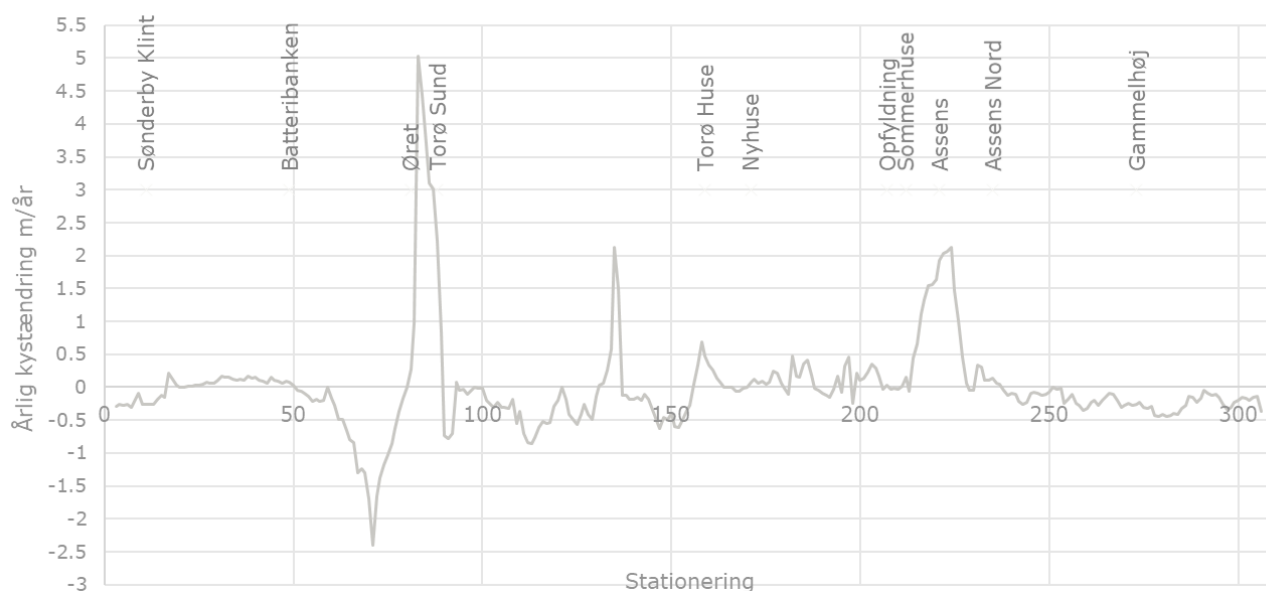
Den gennemsnitlige ændring af strandlinjen i hele periode beskriver den kroniske erosion, hvor den tidlige strandlinjeændring fra år til år giver en indikation af den akutte erosion.

Der er dog betydeligt variation i vandstanden på de analyserede billeder, som giver en usikkerhed på bestemmelsen af beliggenheden af strandlinjen på de enkelte billeder. Usikkerheden på bestemmelsen af strandlinjen skønnes at være af samme størrelsesorden som den akutte erosion, som foregår i ryk under enkelte stormhændelser. Det er derfor ud fra fotoene kun muligt at bestemme den kroniske erosion som gennemsnit over en længere periode.

Sedimentbudget for strandene langs kysten er opstillet på baggrund af den danske højdemodel.

Den gennemsnitlige ændring af strandlinjen langs kysten er vist på Figur 3.2 for perioden år 1954-2019. Ændringen varierer langs kysten, hvor der både er strækninger med fremrykning og tilbagerykning af strandlinjen.

Analysen er opdelt i tre delstrækninger: Sønderby Klint-Torø Huse, Torø Huse-Assens Næs og Assens Nord-Gammelhøj.



Figur 3.2 Den gennemsnitlige årlige ændring af strandlinjen fra 1954-2019 langs kysten omkring Assens

3.1.1 Delstrækning Sønderby Klint-Torø Huse

Oversigtskort og lokationer på strækningen fra Sønderby Klint til Torø Huse er vist i Figur 3.3 med angivelse af stationering (x 50m).



Figur 3.3 Oversigtskort over strækningen fra Sønderby Klint til Torø Huse med lokationer og stationeringer.

Den gennemsnitlige årlige ændring af strandlinjen samt det gennemsnitlige årlige sedimentbudget for strækningen er vist i Figur 3.4.

Ændringen af strandlinjen mellem Stationering 0-60 ligger på -0,5 til +0,5 m/år, hvor erosion forekommer ved Sønderby Klint og aflejring forekommer på strækningen op til Batteribanke.

Området syd for Torø Sund har oplevet erosion med en tilbagerykning på ca. 2,5 m/år for den mest udsatte del. Ved Torø Sund er kysten rykket frem ca. 5 m/år, hvor der er forekommet mest aflejring.

Mønsteret indikerer, at sand, der er eroderet syd for Torø Sund, har været medvirkende til tilsandingen af Torø Sund og den efterfølgende fremrykning af kysten.

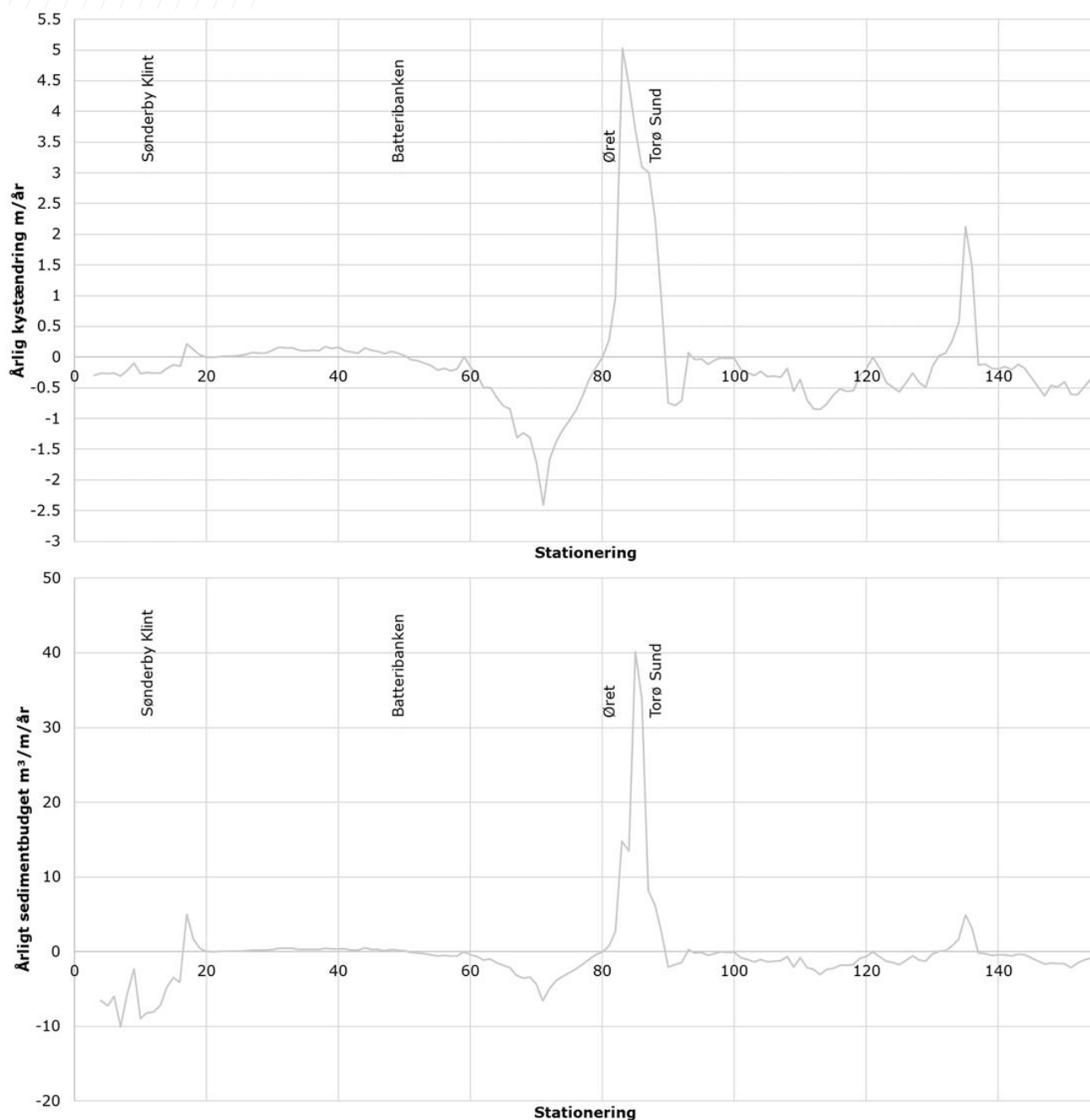
Erosion forekommer ligeledes på det meste af Torø udover den østvendte del af kysten.

Erosionsstrækningerne resulterer i, at der samlet set er et underskud i sedimentbudgettet på 1200 m³/år for hele delstrækningen.

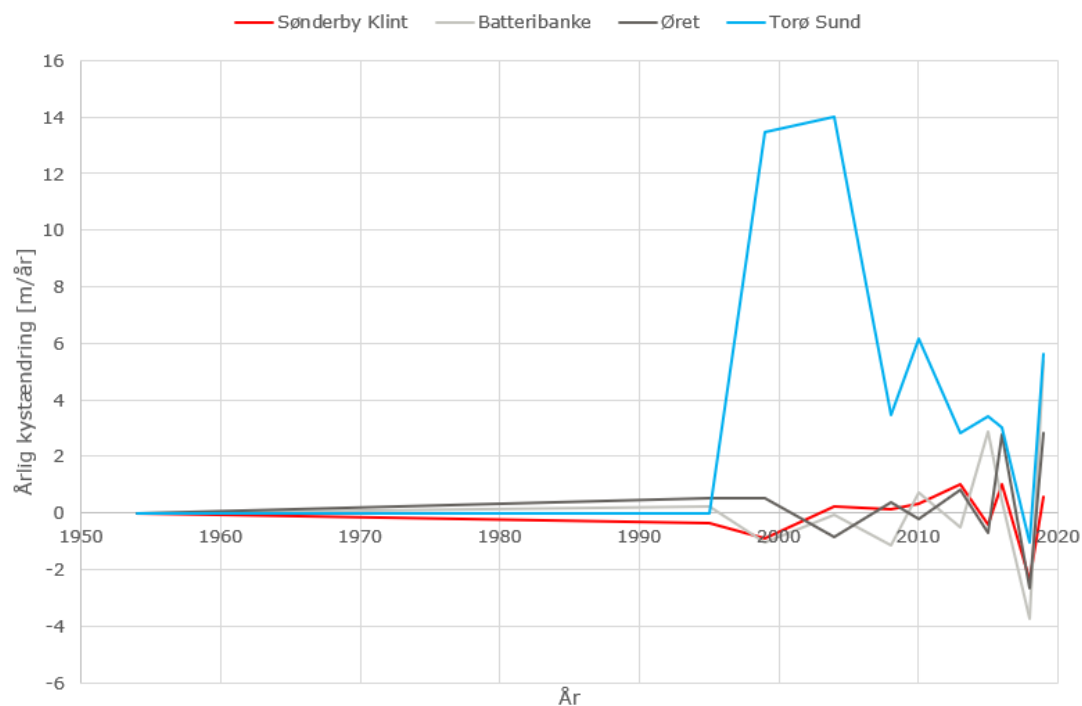
Den tidlige udvikling af den årlige strandlinjeændring for Sønderby Klint, Batteribanke, Øret og Torø Sund er vist på figur herunder. I alle fire områder er der år med erosion og år med aflejring. I Torø Sund er der sket en stor aflejring i årene omkring 1999-2004.

Udviklingen af strandlinjen i Torø Sund er vist på Figur 3.6. Fra 1954 til 1995 er der sket en ændring af strandlinjeforløbet i forbindelse med tilsandingen af

Torø Sund. Fra 1995 til 2004 er det sket en stor aflejring og dermed fremrykning af den sydvendte strandlinje. Fremrykningen har siden været aftagende.



Figur 3.4 Den gennemsnitlige årlig kystændring (øverst) samt årlige sedimentbudget (nederst).



Figur 3.5 Den tidlige udvikling af den årlige strandlinjeændring i Sønderby Klit, Batteribanke, Øret og Torø Sund.

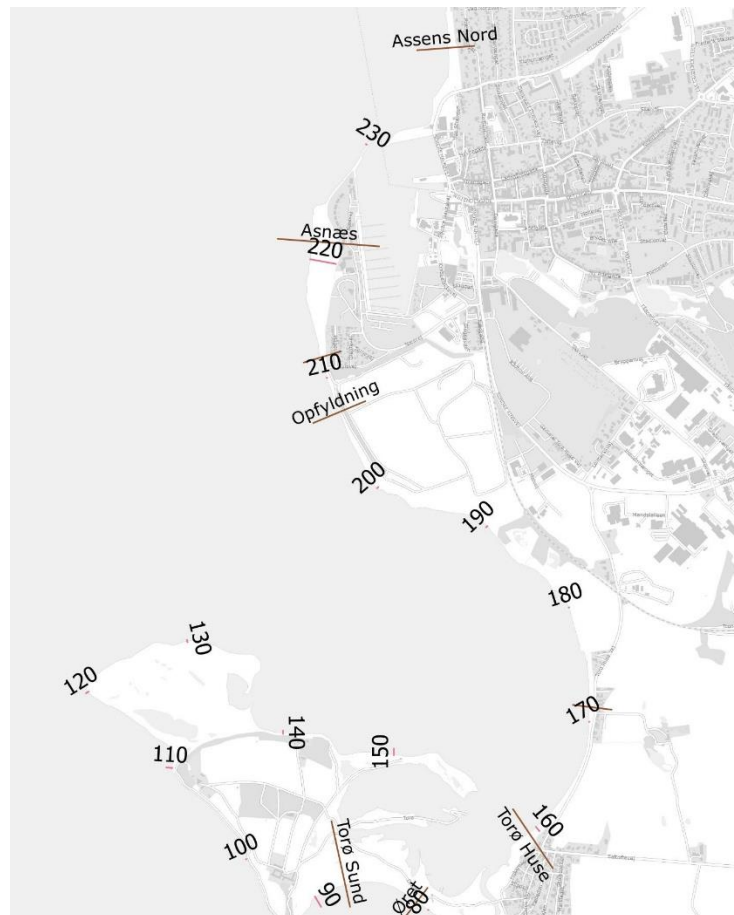


Figur 3.6 Historisk kystudvikling ved Torø Sund 1954-2019. De gule linjer markerer de digitaliserede strandlinjer.

3.1.2 Delstrækning Torø Huse-Assens Næs

Oversigtskort og lokationer på strækningen fra Torø Huse til Assens Næs er vist i Figur 3.7 med stationeringer (x 50m).

Den gennemsnitlige årlige ændring af strandlinjen samt det gennemsnitlige årlige sedimentbudget for strækningen er vist i figur herunder.



Figur 3.7 Oversigtskort over strækningen fra Torø Huse til Assens Næs med lokationer og stationeringer.

Ved Torø Huse er der sket en fremrykning af strandlinjen, hvilket også gør sig gældende for det meste af strækningen.

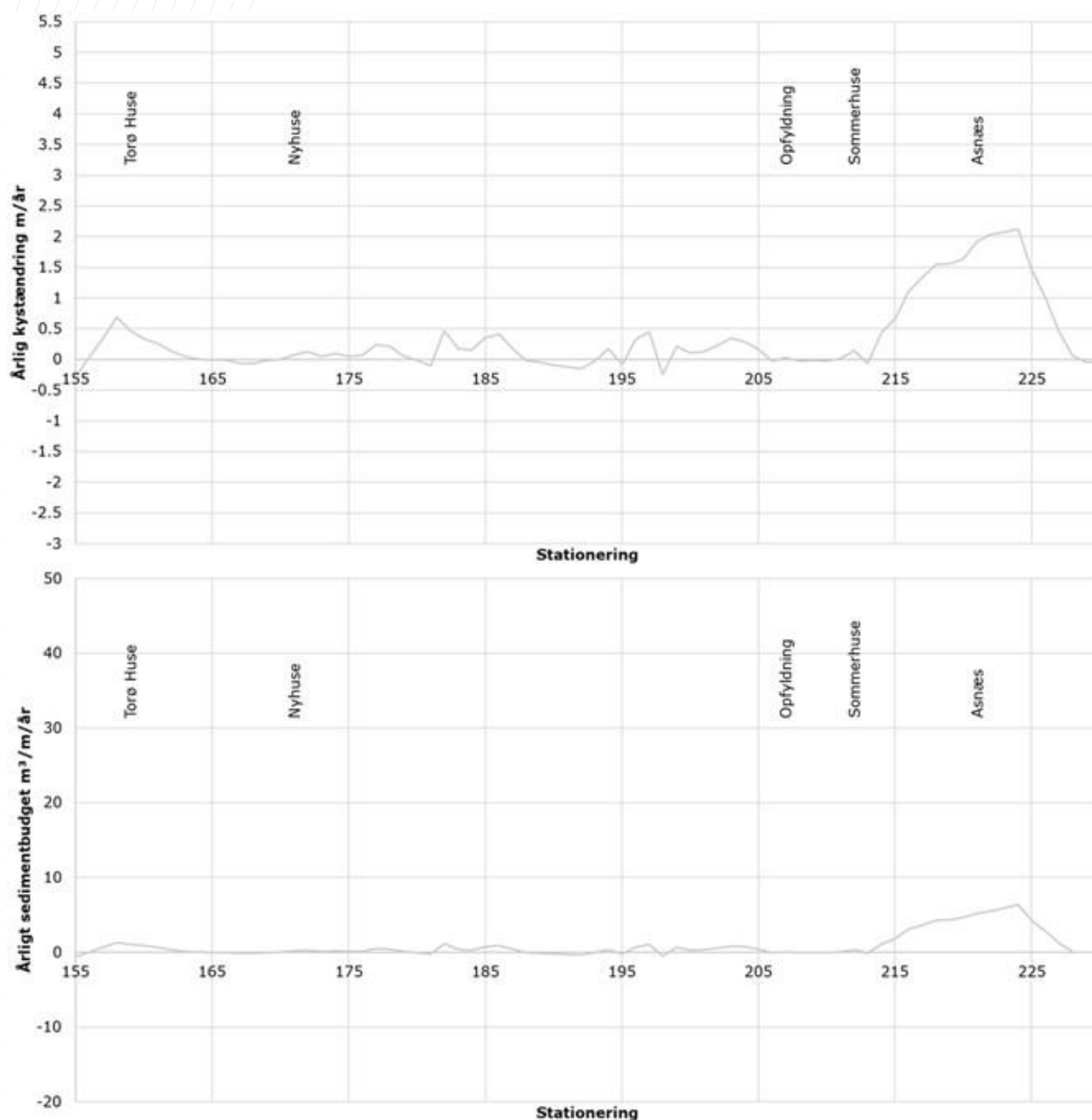
Kystfremrykningen på delstrækningen kan skyldes, at sedimentet fra erosionen af Torø bliver transporteret ind i bugten og at der er sydvestgående transport på den sydligste del af strækningen.

På Assens Næs er der en fremrykning af kysten på op til ca. 2 m/år i gennemsnit, hvilket primært skyldes opfyldning.

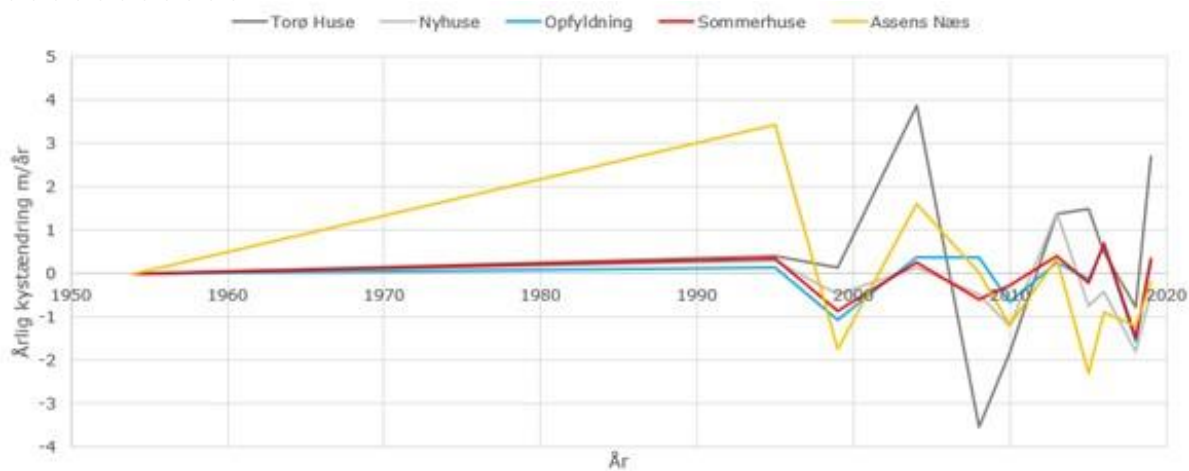
Det totale sedimentbudget for strækningen er på +3400 m³/år, hvilket betyder, at der forekommer en netto aflejring/kystfremrykning af strækningen,

specielt på selve Assens Næs grundet opfyldning. Størrelsen på budgettet på 3400 m³/år er således delvist kunstig.

Den tidlige udvikling i kystændringen viser, at der siden år 2013 har været en årlig tilbagemykning af strandlinjen på Assens Næs.

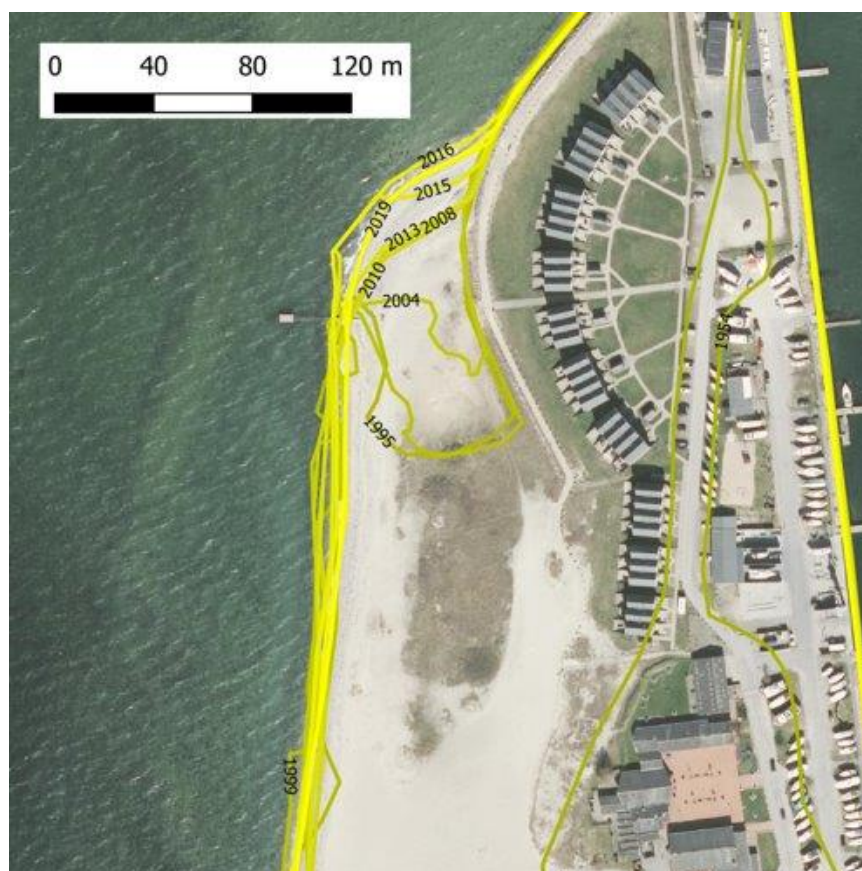


Figur 3.8 Den gennemsnitlige årlig kystændring (øverst) samt årlige sedimentbudget (nederst).

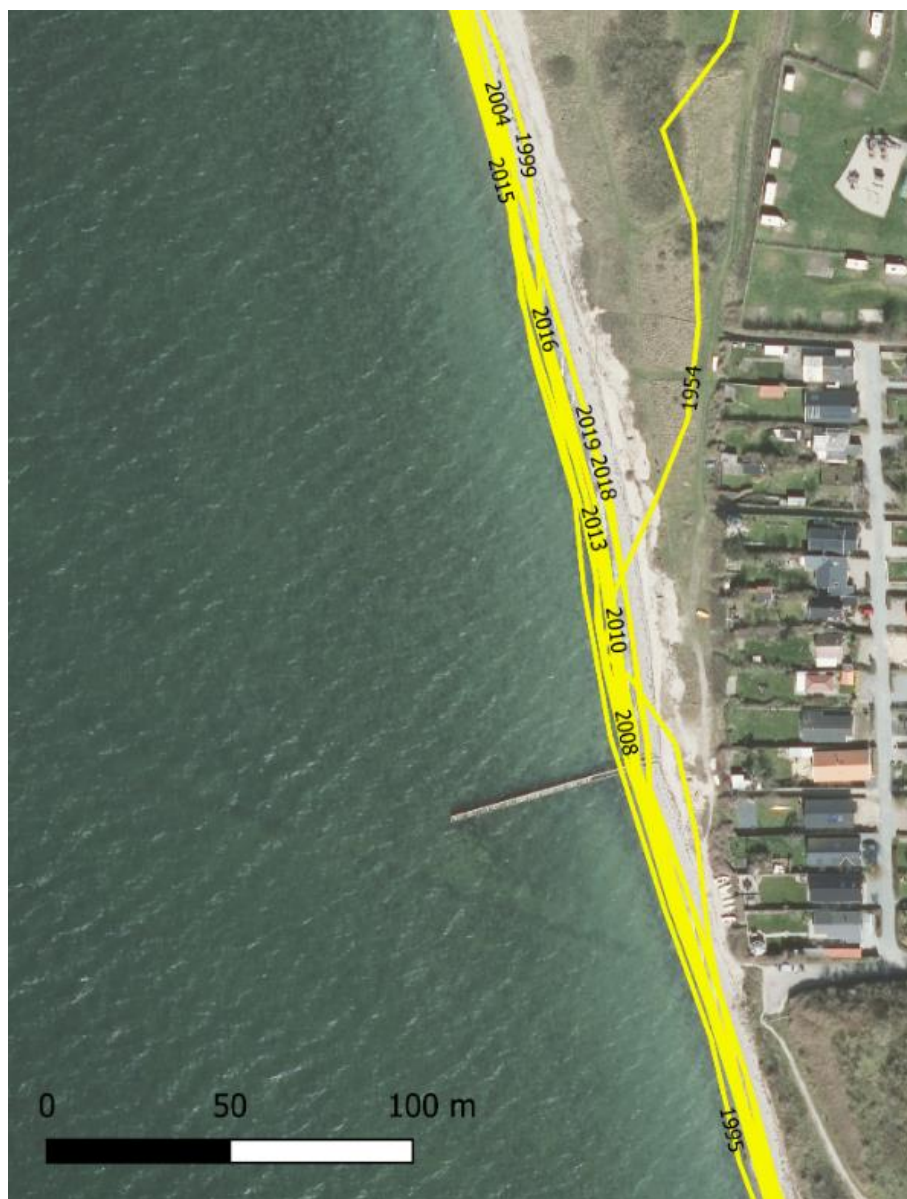


Figur 3.9 Den tidlige udvikling af den årlige strandlinjeændring i Torø Huse, Nyhuse, Opfyldning, Sommerhuse og Assens Næs.

Oversigtskortet over de digitaliserede strandlinjer på Assens Næs viser, at der har været aflejring og dermed fremrykning af kysten på den nordlige del af næsset, se Figur 3.10.



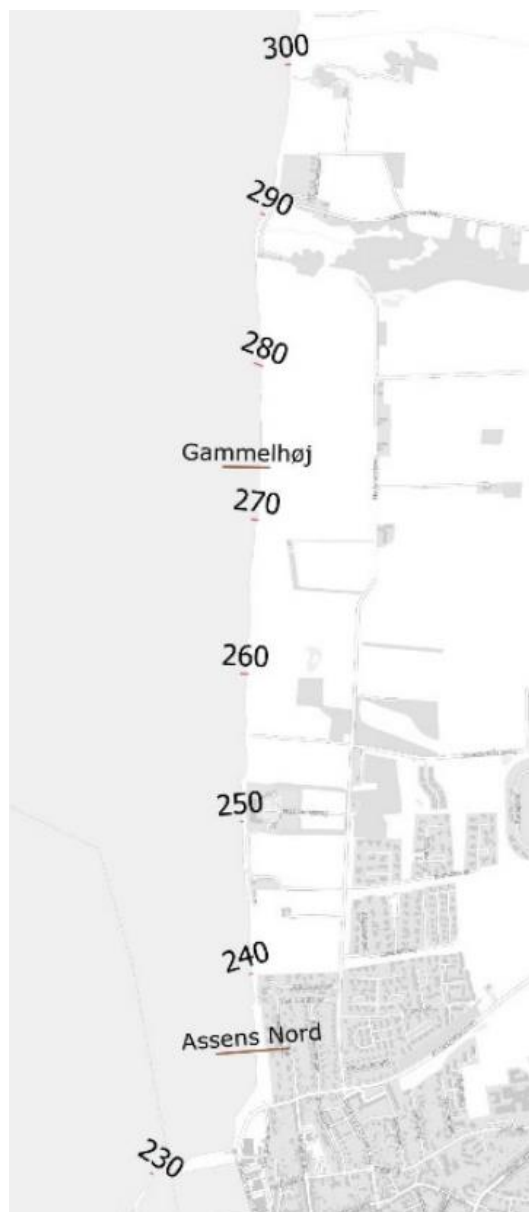
Figur 3.10 Historisk kystudvikling på Assens Næs 1954-2019. De gule linjer markerer de digitaliserede strandlinjer.



Figur 3.11 Historisk udvikling ved sommerhuse syd for Assens Næs 1954-2019. De gule linjer markerer de digitaliserede strandlinjer.

3.1.3 Delstrækning Assens Nord-Gammelhøj

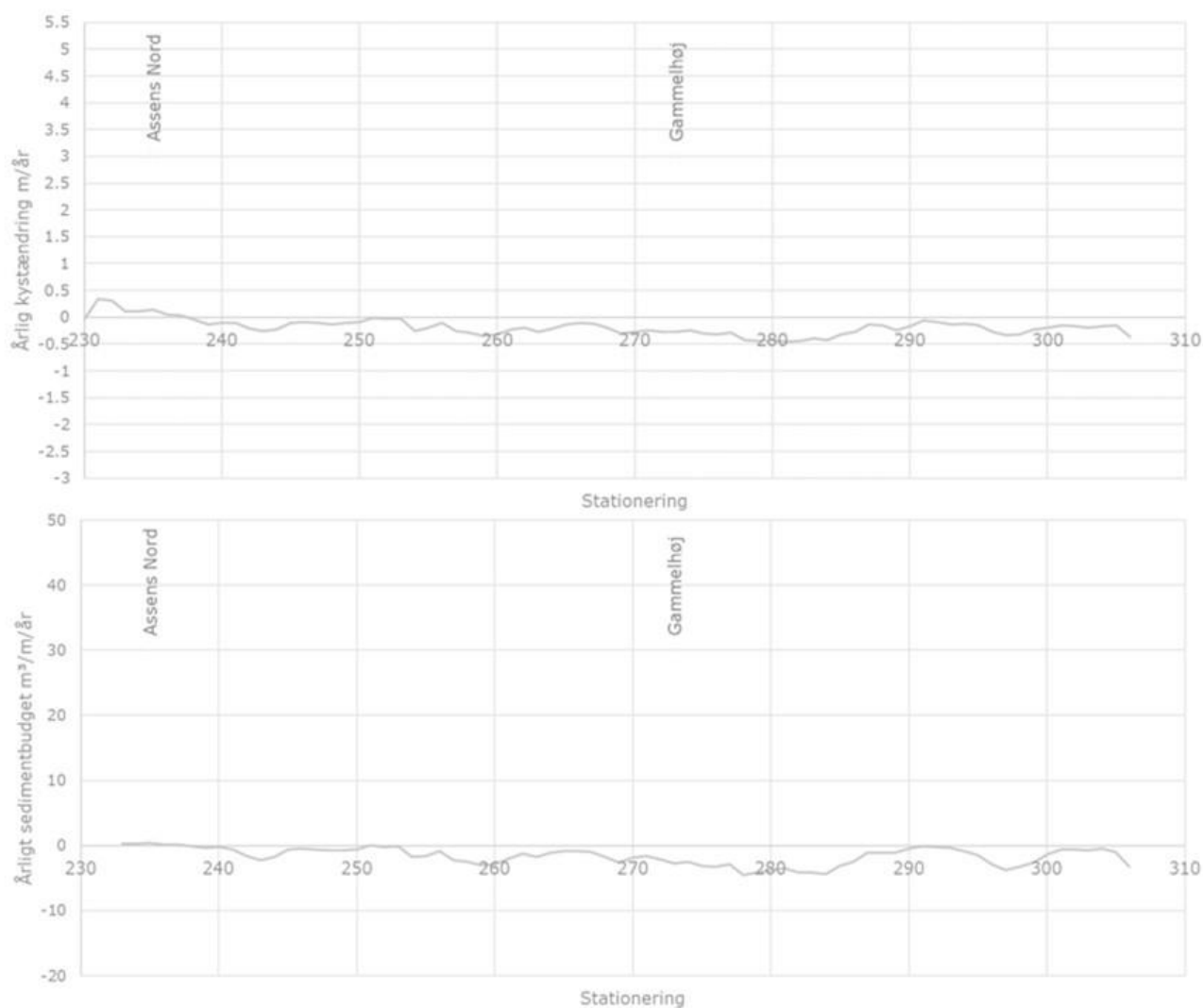
Oversigtskort og lokationer på strækningen fra Assens Nord til Gammelhøj er vist i Figur 3.12 med stationeringer (x 50m).



Figur 3.12 Oversigtskort over strækningen fra Assens Nord til Gammelhøj med lokationer og stationeringer.

Den gennemsnitlige årlige ændring af strandlinjen samt det gennemsnitlige årlige sedimentbudget for strækningen er vist i figur herunder.

Der forekommer en kysttilbagerykning på under -0,5 m/år over næsten hele strækningen bortset fra ved Assens Nord, hvor der er en kystfremrykning. Denne lokale fremrykning skyldes at området er blevet opfyldt.

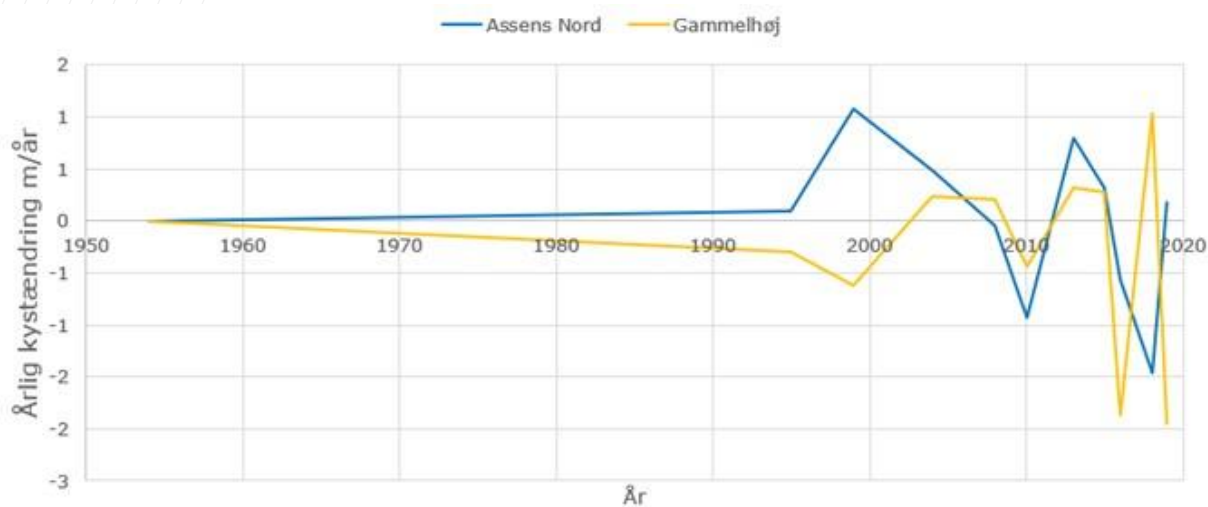


Figur 3.13 Den gennemsnitlige årlig kystændring (øverst) samt årlige sedimentbudget (nederst).

Der er et underskud i det totale sedimentbudget for strækningen på 6000 m³/år, hvilket betyder, at der forekommer en netto erosion/kysttilbagerykning på strækningen.

Den tidlige udvikling i kystændringen viser, at der både ved Assens Nord og Gammelhøj er år med en netto erosion og år med netto aflejring.

Oversigtskortet over de digitaliserede kystlinjer ved Assens Nord viser fremrykningen af kysten siden 1954, se figur herunder Figur 3.14.



Figur 3.14 Den tidlige udvikling af den årlige strandlinjeændring ved Assens Nord og Gammelhøj.



Figur 3.15 Historisk kystudvikling nord for Assens Havn 1954-2019. De gule linjer markerer de digitaliserede strandlinjer.

3.2 Kystteknisk redegørelse

Ud fra digitaliserede strandlinjer i perioden 1954-2019 er der påvist strækninger med erosion og aflejring i området omkring Assens.

Syd for Torø Sund er der skiftevis strækninger med erosion og aflejring. Mest iøjnefaldende er strækningen umiddelbart syd for Torø Sund, hvor en relativ høj erosion forekommer. Sedimentet transporteres højst sandsynligt nordpå og er grunden til, at Torø Sund er sandet til og at der stadig pågår aflejring af sediment i området.

Tilsandingen af Torø Sund påvirker ikke ændringer i strandlinjen ved Torø Huse og nord herfor, der har oplevet en kystfremrykning. Denne fremrykning skyldes, at transporten på denne sydligste strækning er imod syd.

Erosion af strandlinjen på Torø forekommer og sediment transporteres ind i bugten ved Torø Huse, der dermed langsomt bliver fyldt op og/eller afsnøres ved dannelse af krumodder og strandvolde.

Assens Næs har oplevet en kystfremrykning tidligere, men det tyder på, at der er sket en kysttilbagerykning i de senere år. Dette skyldes, at området er udbygget ved opfyldning og efterfølgende eroderer tilbage som følge af bølgepåvirkning.

Nord for Assens forekommer der erosion langs størstedelen af den undersøgte strækning. Kystlinje er dog forsøgt stabiliseret ved anlægning af en del små høfder.

4 Design basis

4.1 Introduktion

Assens Kommune har besluttet, at oversvømmelsesbeskyttelsen ved Assens Næs skal skitsedimensioneres med en levetid på 50 år (år 2070). Det betyder, at projektet skal medtage effekten af havspejlsstigninger de næste 50 år.

Desuden skal der tages stilling til, hvor kraftig en stormflod oversvømmelsesbeskyttelsen skal kunne modstå beskrevet ved en forudsat middeltidshændelse.

Ved at kombinere middeltidshændelsen og projektets levetid, kan sandsynligheden for, at dimensioneringskriteriet overskrides beregnes jf. Figur 4.1.

Life Time (L) in years	Recurrence Period (Td) in years							
	5	10	30	50	100	500	1,000	10,000
1	20	10	3	2	1	0	0	0
5	67	41	16	10	5	1	0	0
10	89	65	29	18	10	2	1	0
30	100	96	64	45	26	6	3	0
50	100	99	82	64	39	10	5	0
100	100	100	97	87	63	18	10	1
200	100	100	100	98	87	33	18	2
500	100	100	100	100	99	63	39	5

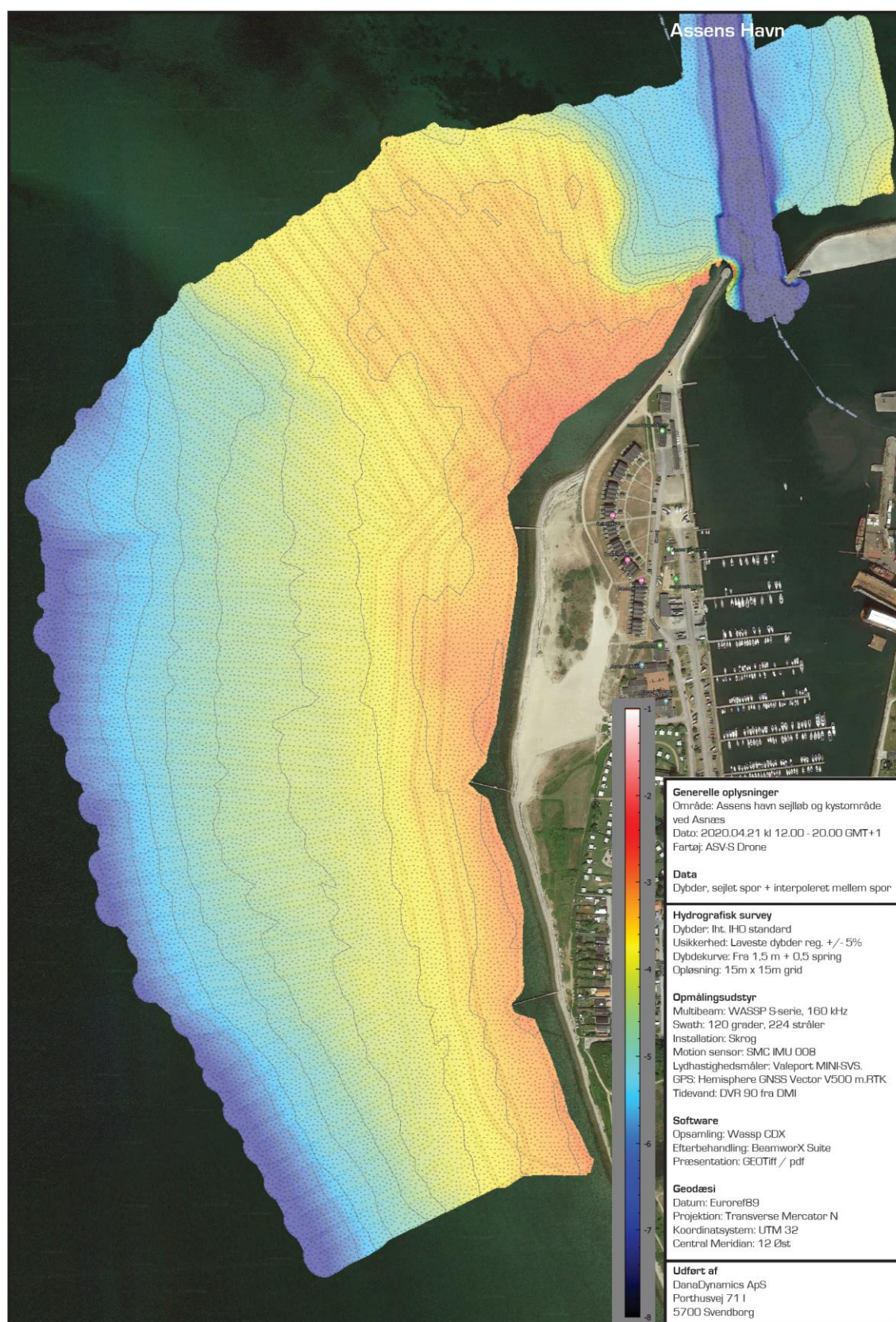
Figur 4.1 Sammenhæng mellem middeltidshændelse (blå), levetid (grøn) og sandsynlighed for overskridelse (orange) af dimensioneringskriterier (Mangor, 2017)

4.2 Data

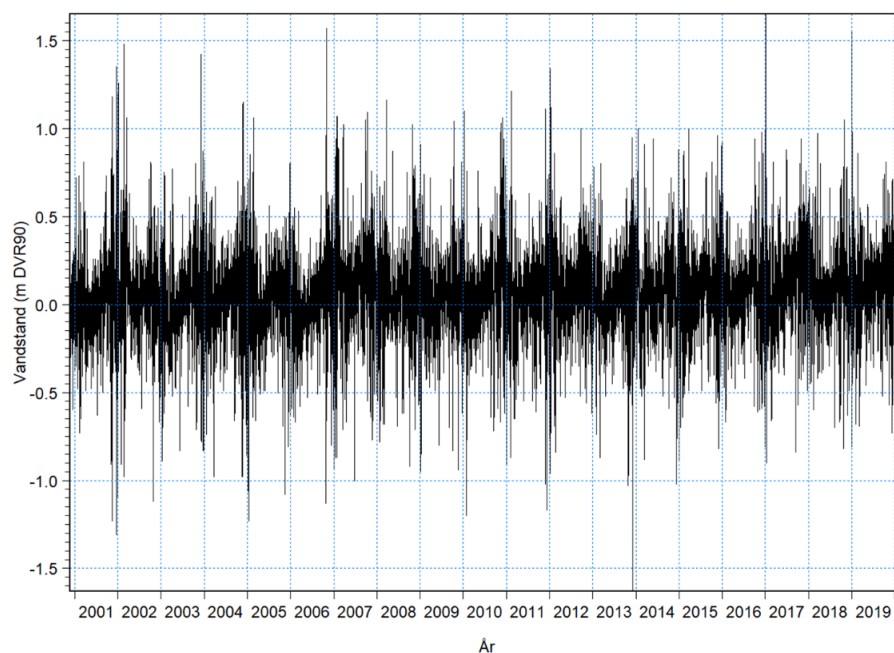
Assens Kommune har leveret bathymetriske data af havbunden ud for Assens Næs og Assens Havn opmålt med vanddrone i foråret 2020, se Figur 4.2.

Desuden er der anvendt topografiske data fra Danmarks Højdemodel (DTM) og andet relevant kortmateriale fra <https://kortforsyningen.dk/>.

Assens Kommune har leveret tidsserier for vandstand i Assens Havn til analyse af vandstandsforhold og bølgeforhold ud for Assens Næs, Figur 4.3.



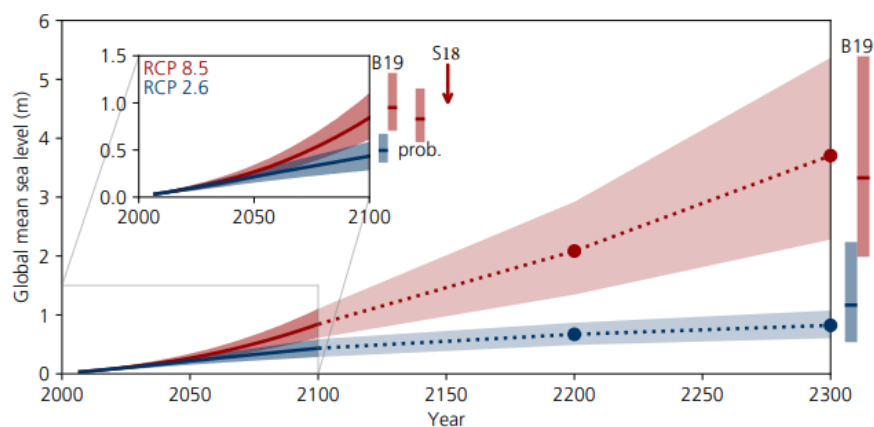
Figur 4.2 Opmåling af havbunden ud for Assens Næs og Assens Havn



Figur 4.3 Tidsserie for målt vandstand fra Assens Havn udleveret af Assens Kommune

4.3 Havspejlsstigning

De globale klimaforandringer resulterer i eustatiske havspejlsstigninger i fremtiden. Den fremtidige havspejlsstigning er baseret på IPCC's seneste rapport fra 2019 (IPCC, 2019), se Figur 4.4.



Figur 4.4 IPCC's seneste bud på globale havspejlsstigninger frem til år 2300 for to klimascenarier (RCP). Middelværdien i prognoserne er vist med stiplede linjer og usikkerhedsintervallet er vist med farvede områder, (IPCC, 2019).

Da anlægget har en levetid på 50 år, men forventes at skulle udbygges løbende over en længere tidshorizont, er klimascenariet RCP 8,5 valg som udgangspunkt for fremskrivning af havspejlsstigningen. Dette er i overensstemmelse med anbefalingerne fra DMI.

Figuren angiver en global havspejlsstigning på 12 cm frem til år 2040 og 38 cm frem til år 2070 samt 110 cm frem til år 2120.

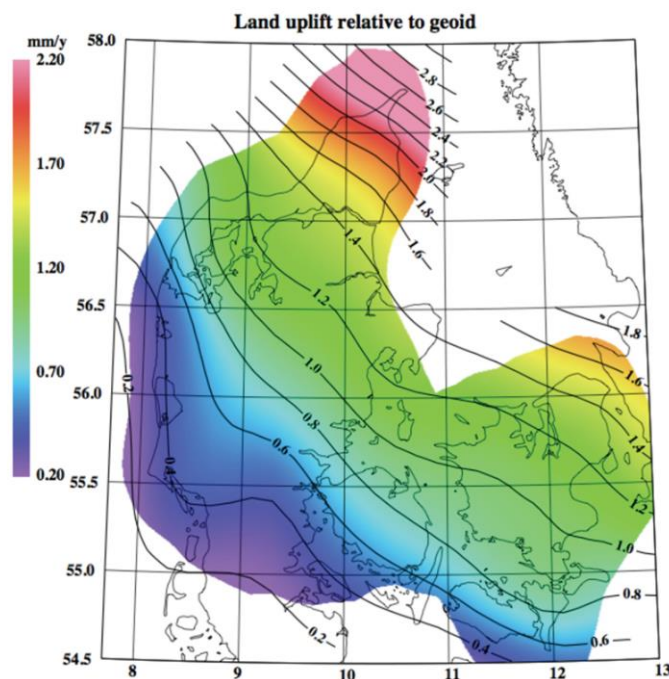
Figuren viser, at der er betydelig usikkerhed på forudsigelserne for fremtidens havspejlsstigninger.

4.4 Isostatisk havspejlsstigning

I Danmark foregår der i dag generelt en landhævning da landet blev trykket ned af isen under sidste istid. Da isen forsvandt, begyndte landet at hæve sig igen. Der er dog store regionale hastighedsforskelle, som kan ses på Figur 4.5.

Landhævningsen bevirker, at kystprofilen og terrænet hæves, hvilket derved reducerer vanddybderne og hæver kystbeskyttelseskonstruktionerne. Landhævningsen er dog mindre end den forventede havspejlsstigning, hvorfor der stadig forventes en relativ havspejlsstigning.

Figur 4.5 viser, at den isostatisk landhævning ved Assens er omkring 0,6 mm/år svarende til 1 cm i år 2040, 3 cm i år 2070 og 6 cm i år 2120 i forhold til terrænniveau i 2020.



D1 viser landhævningsen i mm, per år over Danmark. Landhævningsen er effekten af den ophørte nedpresningseffekt efter afsmeltning af det Skandinaviske Iskjold fra sidste istid, som særligt påvirker den nordøstlige del af Danmark.
Kilde: DTU Space, 2015

Figur 4.5 Absolut landhævning i Danmark (Kystdirektoratet, 2018)

4.5 Ekstrem vandstand

Kystdirektoratet (KDI) og COWI har udarbejdet højvandsstatistikker for danske kystbyer.

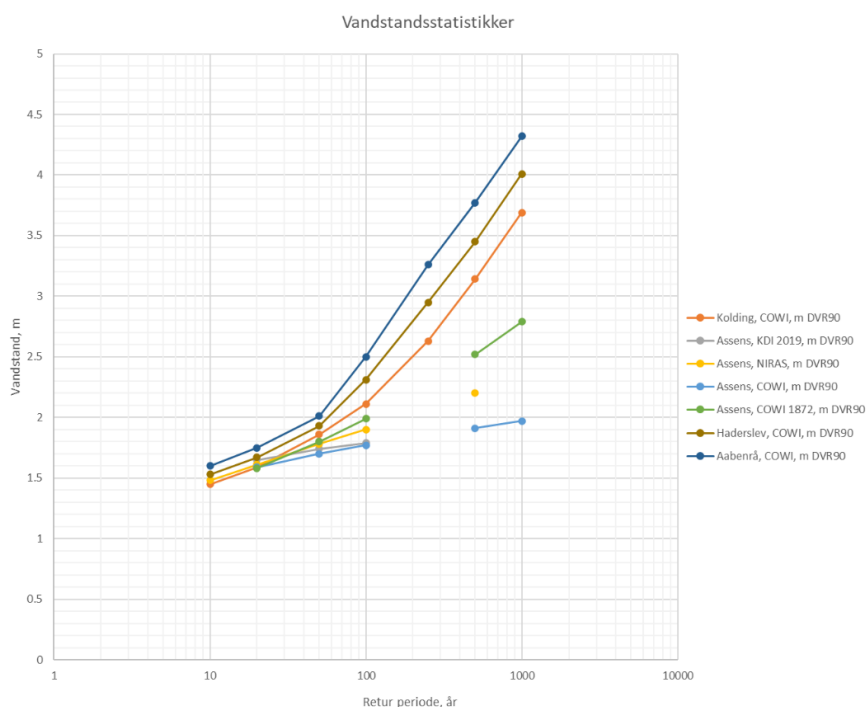
KDI har udarbejdet en højvandsstatistik for Assens udelukkende baseret på vandstandsmålinger fra år 2000-2017 (Kystdirektoratet, 2018).

COWI har udarbejdet en højvandsstatistik for Realdania for Kolding, Haderslev og Aabenraa, der udover vandstandsmålinger inkluderer dokumenterede historiske stormfloder (Realdania, Cowi, 2017).

I forbindelse med dette projekt har NIRAS desuden udarbejdet ekstremvandsstatistik for tidsserien af målt vandstand fra Assens Havn (Assens NIRAS) og sammenlignet med statistikker fra Kystdirektoratet og COWI fra Assens og en række omkringliggende byer, se Tabel 4.1 og Figur 4.6.

Returperiode år	10	20	50	100	250	500	1000
Kolding, COWI, m DVR90	1.45	1.59	1.86	2.11	2.63	3.14	3.69
Assens, KDI 2019, m DVR90		1.65	1.74	1.79			
Assens, NIRAS, m DVR90	1.48	1.61	1.78	1.90		2.20	
Assens, COWI, m DVR90		1.59	1.70	1.77		1.91	1.97
Assens, COWI 1872, m DVR90		1.58	1.80	1.99		2.52	2.79
Haderslev, COWI, m DVR90	1.53	1.67	1.93	2.31	2.95	3.45	4.01
Aabenrå, COWI, m DVR90	1.60	1.75	2.01	2.50	3.26	3.77	4.32

Tabel 4.1 Ekstremvandstandsstatistikker for Assens og omkringliggende byer



Figur 4.6 Ekstremvandstandsstatistikker for Assens og omkringliggende byer

Der er stor forskel på statistikkerne og herunder specielt på de sjældne ekstreme storme. Dette skyldes primært, at der er forskel på længden af vandstandstidsserierne og i hvor høj grad, historiske storme er medtaget i statistikkerne.

Der er ikke udarbejdet vandstandsstatistikker for Assens, der indeholder samtlige dokumenterede historiske stormfloder.

De statistikker, der inkluderer historiske stormfloder, giver generelt højere ekstreme vandstande end de statistikker, der er baseret på kortere og nyere vandstandsmålinger, der ikke indeholder historiske ekstreme stormfloder.

Det anbefales at benytte statistikker, der indeholder historiske ekstreme stormfloder til skitseprojektering af højvandsbeskyttelsen ved Assens Næs.

Den seneste katastrofale stormflod i Østersøen forekom 12.-14. november 1872. I Assens steg vandet til en højde på cirka +3,0m over normal vandstand, hvorved store områder ved Assens Havn blev oversvømmet.

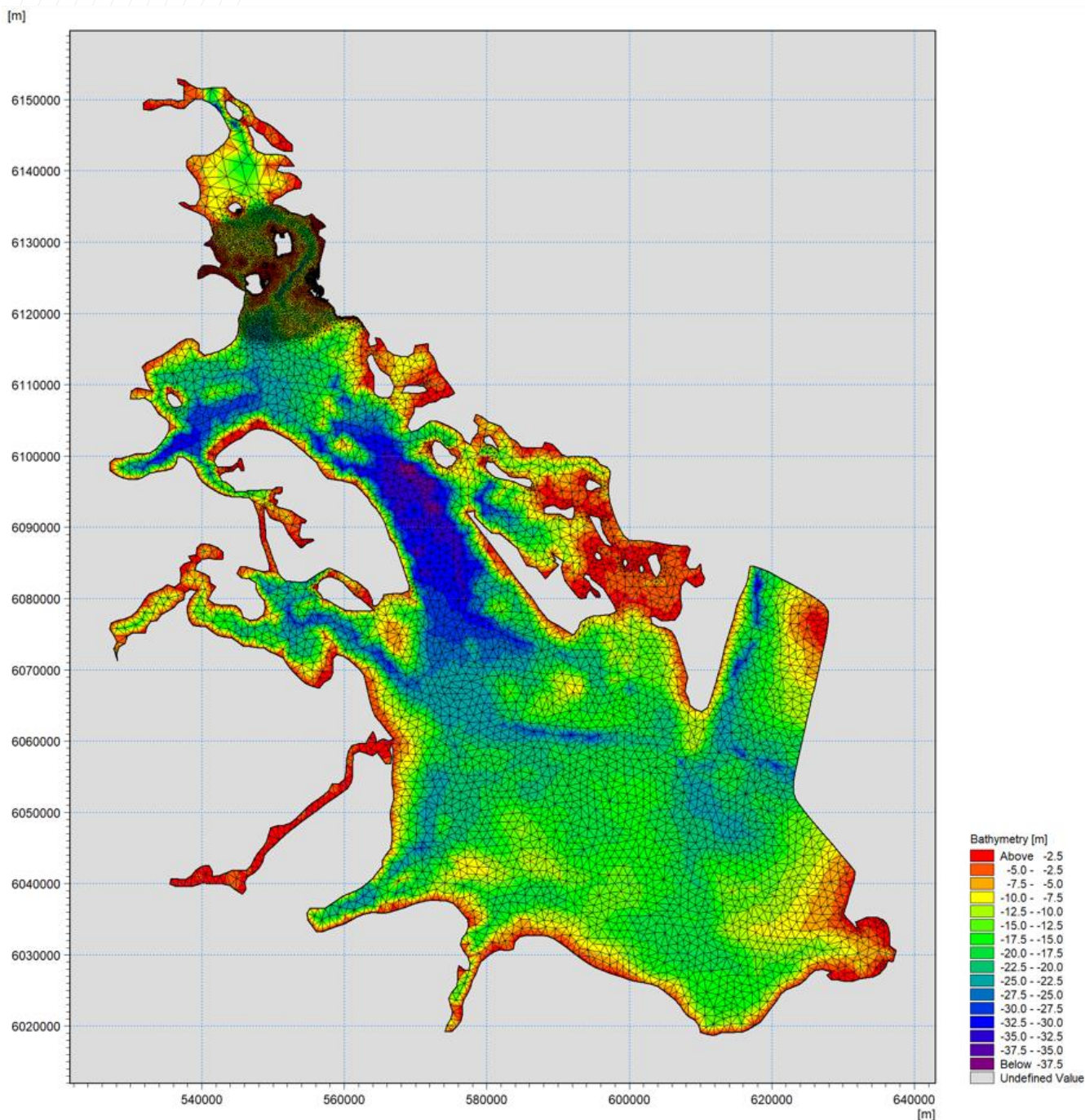
Ud fra indsamlet data fra stormfloden i 1872 fremgår det, at vandstanden i Haderslev var cirka en fod højere end ved Assens.

Omvendt var den højeste vandstand under stormfloden i 1872 ved Kolding nogenlunde den samme som ved Assens.

Det vurderes derfor, at vandstandsstatistikken for Kolding repræsenterer forholdene ved Assens bedst af de vandstandsstatistikker, der er til rådighed, og som indeholder historiske ekstreme stormfloder. Vandstandsanalysen i det følgende baseres derfor primært på vandstandsstatistikken fra Kolding, der indeholder historiske ekstreme stormfloder.

4.6 Bølgemodellering

NIRAS har opstillet en detaljeret MIKE21 SW bølgemodel til bestemmelse af bølgeklimaet ved Assens Næs. Modellen dækker området vist i Figur 4.7.



Figur 4.7 Modelområde for MIKE21 SW bølgemodel med dybder og beregningsnet

Modelområdet er valgt således, at alle frie stræk, som har betydning for bølgerne ved Assens Næs er inkluderet i modellen.

Modellen er en 2D spektral bølgemodel baseret på DHI's modelværktøj Mike21 SW FM.

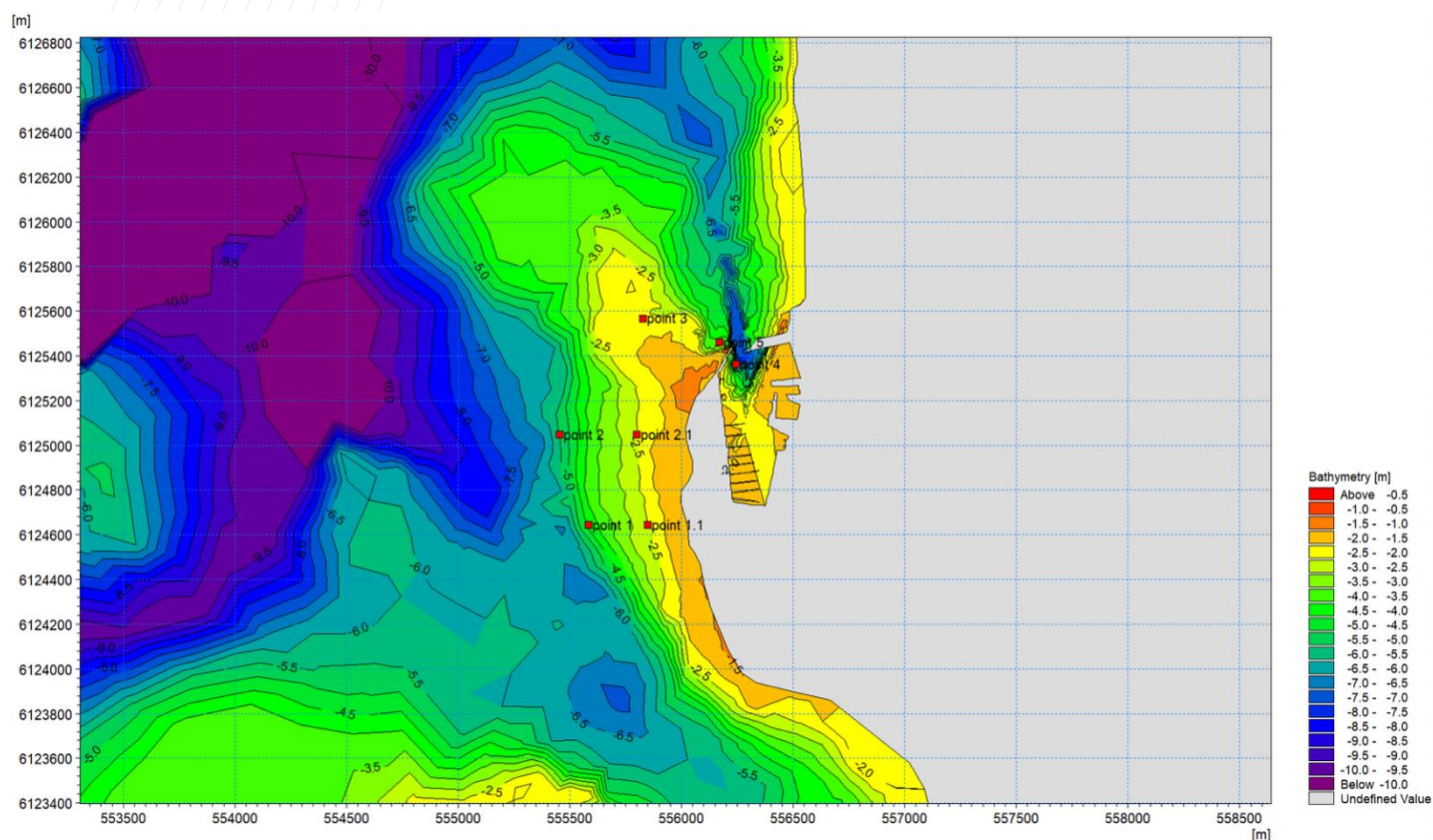
Modellen er drevet af Cosmo vind fra Deutsche Wetterdienst. Vinden har en opløsning på 2,8km i planen og 3 timer i tid. NIRAS er i besiddelse af 20 års vinddata.

Vandstanden er inkluderet ved at antage, at vandstanden i Assens Havn er alment gældende for hele området. Dette har ingen betydning på dybere vand og vil være korrekt tæt ved Assens, hvor effekterne på lavt vand bliver vigtige.

Der er observeret udfald i vandstandsdataene fra Assens Havn, som er erstattet af data fra den nærliggende station ved Fynshav.

Beregningsnet i modellen er opstillet således, at alle de vigtigste dele af kysten og havnen nær Assens er opløst. Beregningsnettet udvides gradvist væk fra projektområdet.

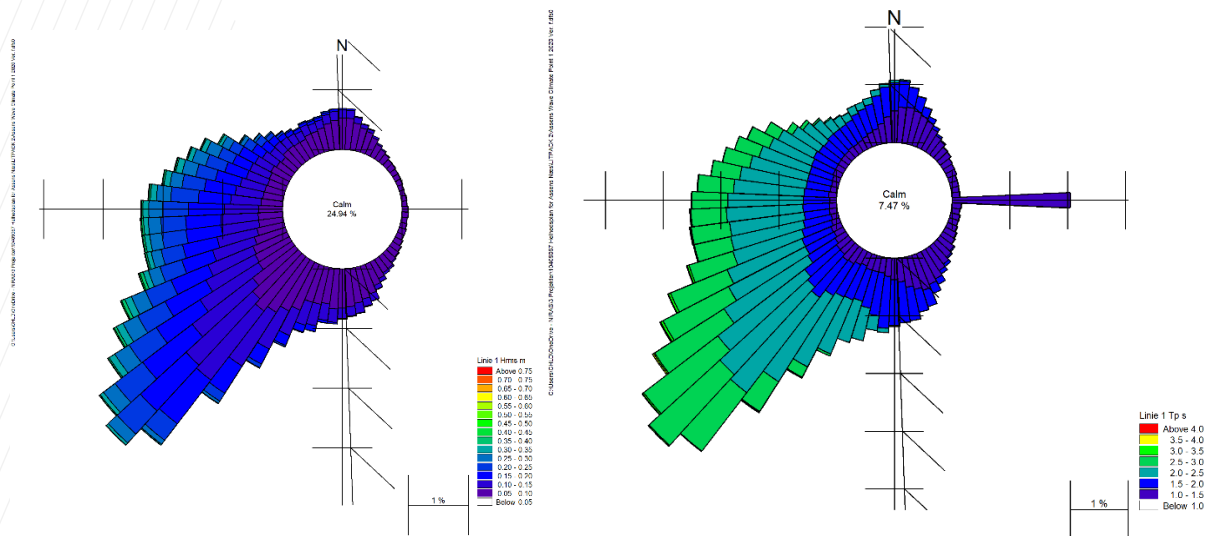
Bathymetrien er udtrukket fra C-map (digitale søkort) samt fra farvandsvæsenets data, samt den nye opmåling af området ved Assens Næs, se Figur 4.2.



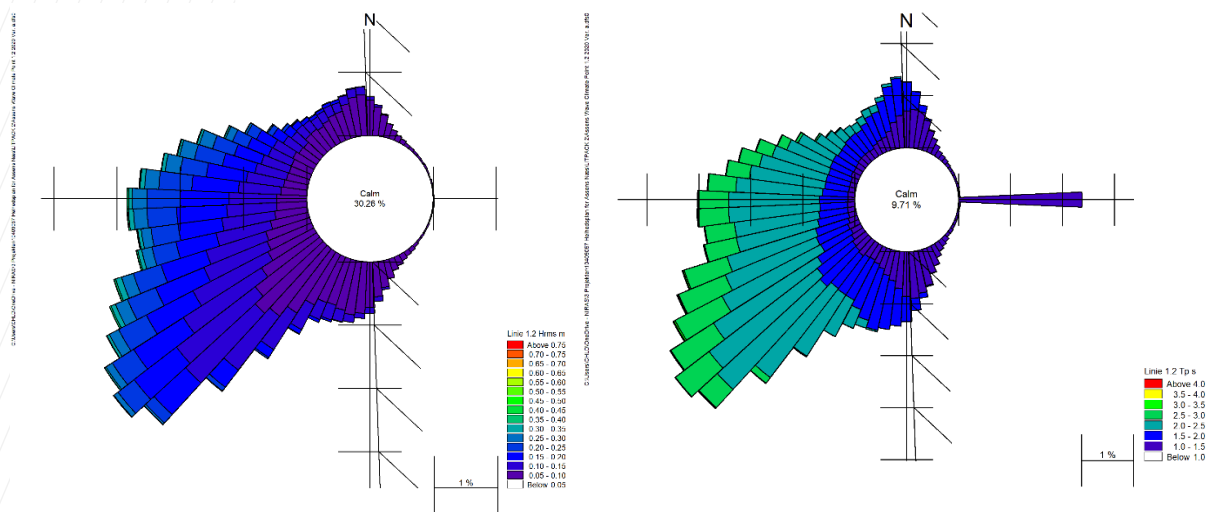
Figur 4.8 Lokal udsnit af modelbathymetri og placering af bølgeklimaer

NIRAS har med MIKE 21 SW FM simuleret tidsserier af bølgeforhold og tilhørende vandstand over en periode på 20 år til brug for beregning af dimensiongivende bølgeparametre og modellering af sedimenttransport og kystmorfologi af strande og klitter.

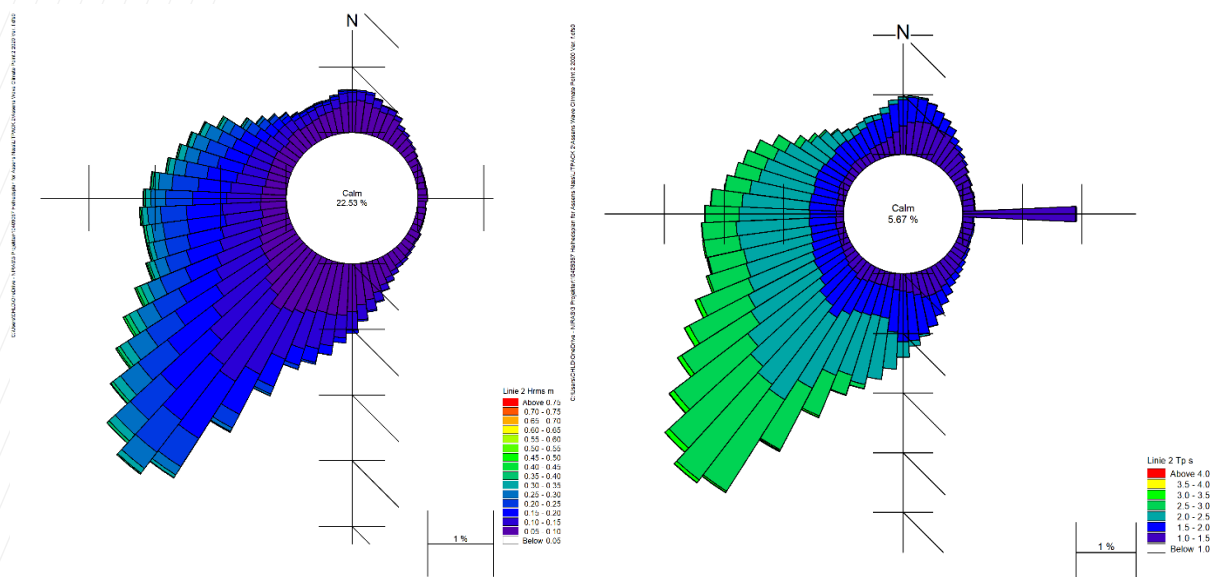
Figur herover viser udtrækspunkter for bølgeklimaerne ved Assens Næs og bølgeklimaerne er vist i form af bølgeroser med bølgehøjde (Hrms) og bølgeperiode (Tp) i Figur 4.9 til Figur 4.15.



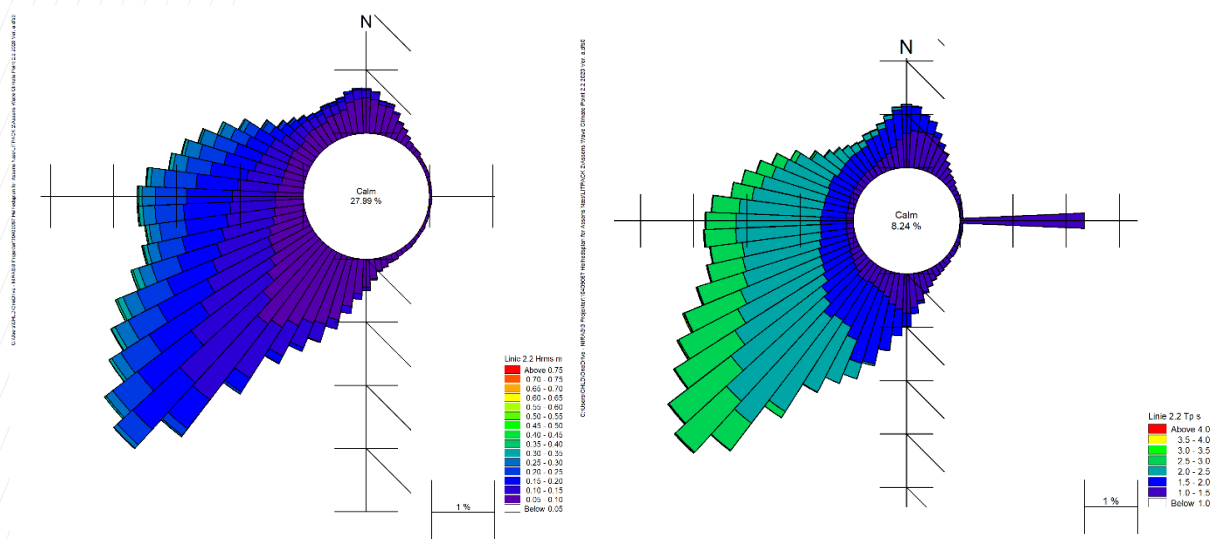
Figur 4.9 Bølgeklima ved Punkt 1 (2000-2020), Hrms, m og Tp, s



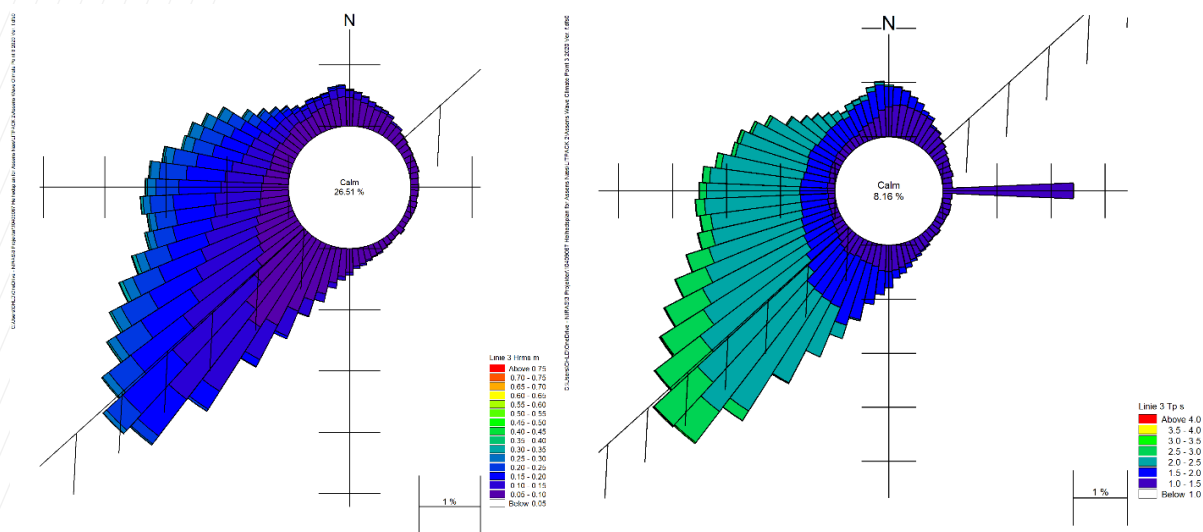
Figur 4.10 Bølgeklima ved Punkt 1.1 (2000-2020), Hrms, m og Tp, s



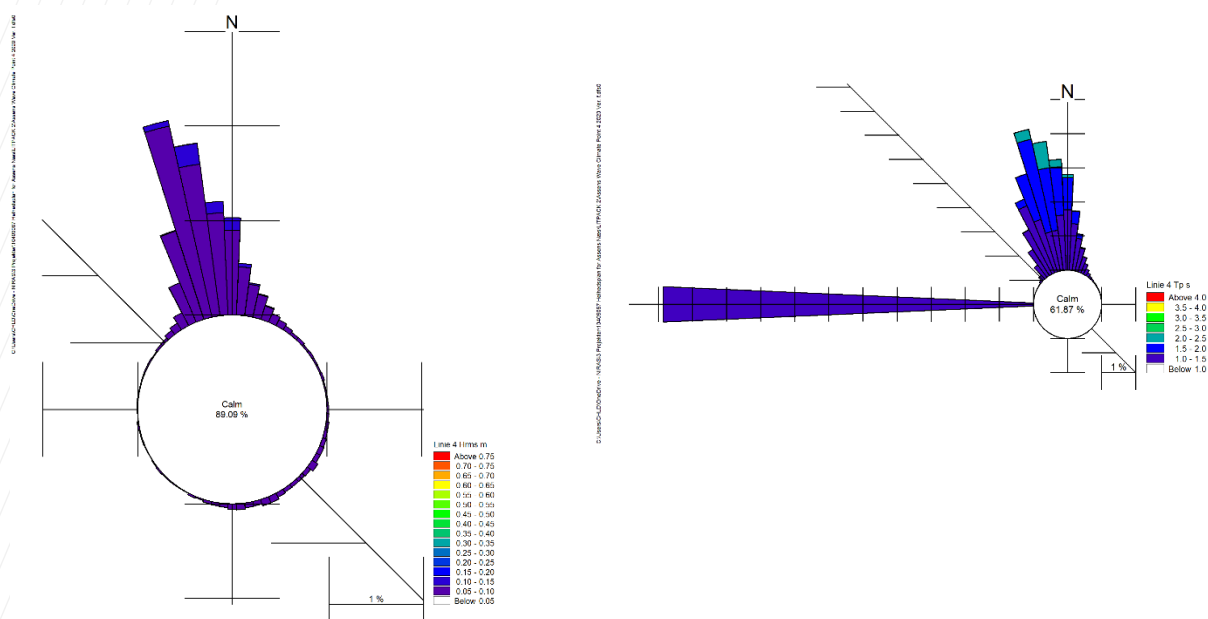
Figur 4.11 Bølgeklime ved Punkt 2 (2000-2020), H_{rms} , m og T_p , s



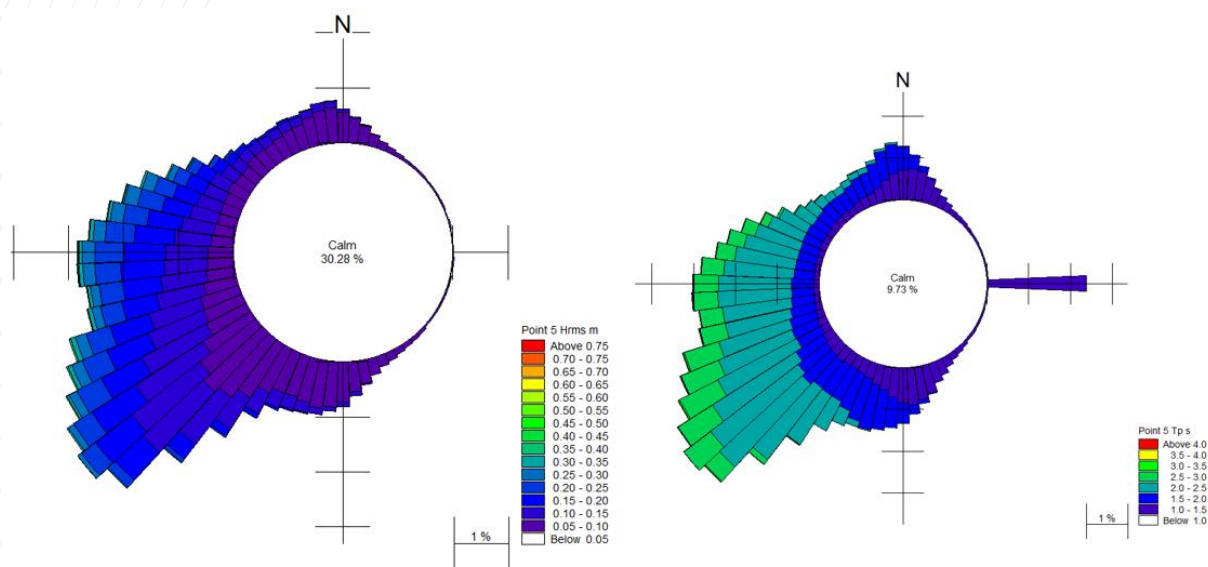
Figur 4.12 Bølgeklime ved Punkt 2.1 (2000-2020), H_{rms} , m og T_p , s



Figur 4.13 Bølgeklime ved Punkt 3 (2000-2020), H_{rms} , m og T_p , s



Figur 4.14 Bølgeklime ved Punkt 4 (2000-2020), H_{rms} , m og T_p , s



Figur 4.15 Bølgeklima ved Punkt 5 (2000-2020), Hrms, m og Tp, s

4.7 Joint probability analyse

For at undersøge hvor vidt der er en samtidighed af høj vandstand og stor bølgehøjde ved Assens, er der foretaget en joint probability analyse. Med joint probability metoden beregnes sandsynligheden for, at en given bølgehøjde og en given vandstand forekommer på samme tidspunkt.

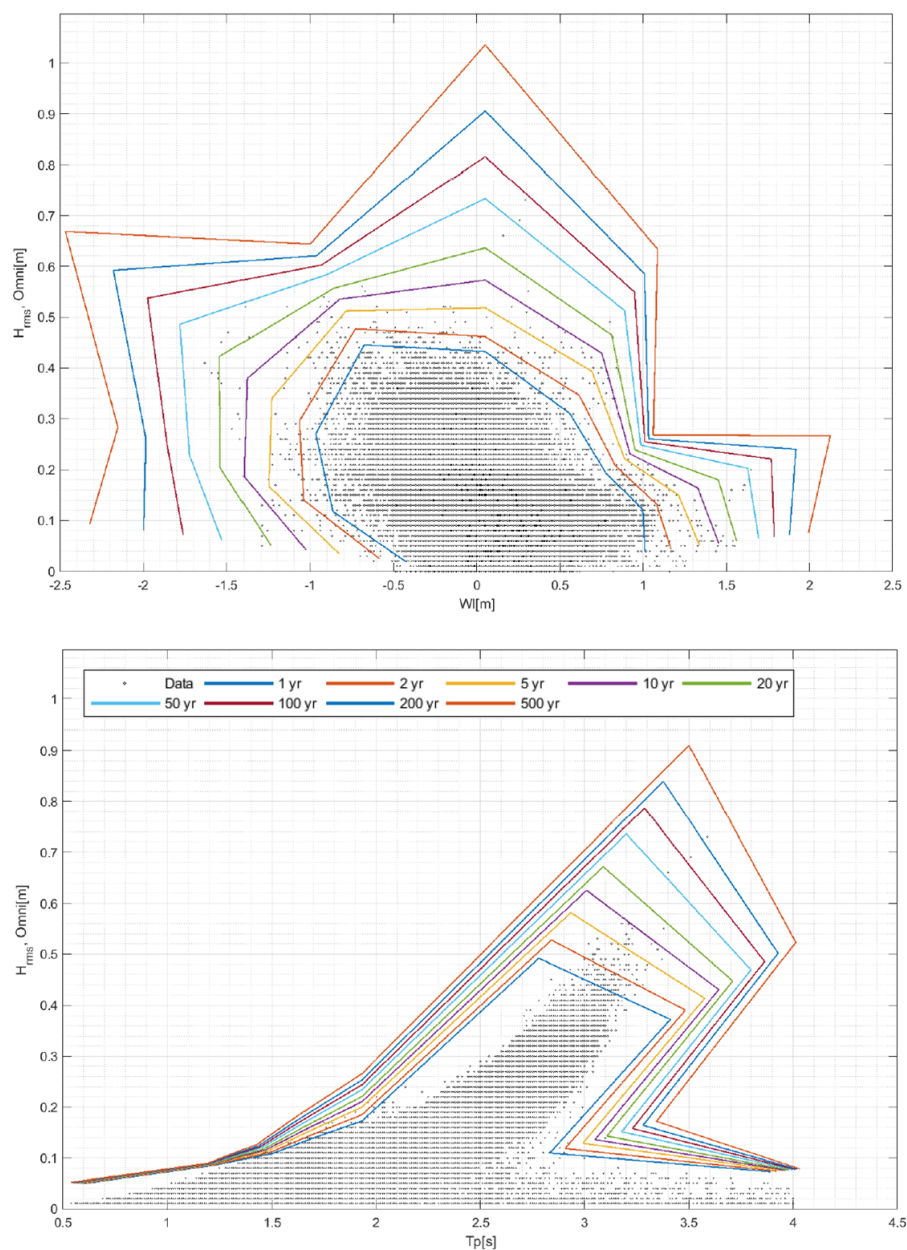
Resultatet kan bruges til at vurdere om den højeste vandstand typisk indtræffer samtidig med de største bølger, eller om de største bølger forekommer ved lavvande.

Analysen er baseret på den modellerede bølgetidsserie og målte vandstandsserie for Bølgeudtrækspunkt 2, se Figur 4.8 og Figur 4.11. Resultatet af analysen er vist i Figur 4.16.

Analysen viser, at de højeste bølger forekommer ved lav vandstand, samt at der er små bølger, når der er høj vandstand.

Derudover viser figuren, at bølgeperioden stiger med bølgehøjden.

Resultatet er benyttet til modellering af akut erosion af strande og klitter. Ved modelleringen opstilles der forskellige kombinationer af bølger og vandstande for forskellige middeltidshændelser (stormscenarier), som baseres på resultatet af joint probability analysen.



Figur 4.16 Joint probability analyse af bølgehøjde (H_{rms}) og vandstand (Wl) (øverst) samt af bølgehøjde og bølgeperiode (Tp) (nederst) baseret på tidsserie ved Punkt 2. Sorte prikker indikerer punkter fra tidsserier. Farvede linjer viser beregnede middeltidshændelser.

4.8 Anbefalet sikringskote

NIRAS har udarbejdet joint probability analyse af vandstand og bølger ved Assens. Analysen har vist, at bølgerne er små, når vandstanden er højest, se Af-snit 4.7 og 6.1.

NIRAS anbefaler derfor at undlade bølgebidrag, når sikringskoten fastlægges, men udelukkende se på vandstanden.

Kystdirektoratet anbefaler, at diger som minimum projekteres til at kunne modstå en stormflod med en returperiode på 100 år og en levetid på 50 år.

Der er en sandsynlighed på 39% for, at 100 års hændelsen overskrides indenfor projektets levetid på 50 år, se Figur 4.1.

Sikringskoten anbefales fastlagt således, at sandsynligheden for, at der sker oversvømmelse er acceptabel i forhold til de værdier, der beskyttes og prisen på oversvømmelsesbeskyttelsen.

Kommunen har indledningsvist vurderet, at højvandsbeskyttelsen på Assens Næs som udgangspunkt skal have en højde på minimum +2,5m DVR90. Beregningerne viser, at dette svarer nogenlunde til et minimums beskyttelsesniveau mod en 110 års hændelse og med en levetid på 50 år (ca. 37% sandsynlighed), se Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Sandsynlighed for at sikringskoten (+2,50 m DVR90) overstiges af ekstrem vandstand ved pågældende levetid for anlægget. COWI's højvandsstatistik fra Kolding er benyttet til at bestemme, hvilken middeltidshændelse der skal til for at sikringskoten overstiges. Sandsynligheden er udregnet på baggrund af Figur 4.1.

Levetid (år)	1	20	50	100
Sikringskote (m DVR90)	+2,50	+2,50	+2,50	+2,50
Havspejlsstigning (m)	0	0,11	0,35	1,04
Ekstrem vandstand (m)	+2,50	+2,39	+2,15	+1,46
Middeltidshændelse (år)	210	170	110	10
Sandsynlighed (%)	0,5	11,1	36,7	100

Situationen er anderledes, når højvandsbeskyttelsen på Assens Næs skal udgøre en del af den ydre beskyttelse af Assens By. Her er værdierne betydeligt større, hvilket skal afspejles i sikringskoten og sandsynligheden for oversvømmelse af anlægget. Her vil man ofte tage udgangspunkt i den højeste vandstand, der er dokumenteret, eller en storm med en høj returperiode.

Der skal anlægges diger/højvandsbeskyttelse på begge sider af Assens Næs for at beskytte hele Næsset. De to diger/højvandsbeskyttelse kan optimeres hver især afhængigt af fokus for det enkelte dige.

Højvandsbeskyttelsen på Assens Næs udgør en del af den ydre sikringslinje, der på sigt skal beskytte hele Assens. Anlægget planlægges derfor så det er muligt at forhøje over tid, i takt med at klimaet ændrer sig og havspejlet der ved stiger, samt i takt med at den ydre sikringslinje bliver fuldt udbygget så hele byen beskyttes. Den fulde sikringshøjde behøves således ikke etableres fra starten.

Den højeste vandstand, der er målt i Assens i 1872 var cirka +9,5 fod eller cirka +2,9m over dagligt vande. I tilfælde af, at man vælger en sikringskote, der er lavere end +2,9m over dagligt vande, er det således fysisk muligt, at højvandsbeskyttelsen oversvømmes og sandsynlighed herfor øges i takt med havspejlsstigningen fremover.

Ved beskyttelse af hele Assens bør sikringskoten som minimum være +3,35m DVR90 for at beskytte mod en stormflod som i november 1872, hvis den indtræffer om 50 år svarende til projektets levetid, se Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Sandsynlighed for at sikringskoten (+3,35 m DVR90) overstiges af ekstrem vandstand ved pågældende levetid for anlægget. COWI's højvandsstatistik fra Kolding er brugt til at bestemme, hvilken middeltidshændelse der skal til for at sikringskoten overstiges.

Levetid (år)	1	20	50	100
Sikringskote (m DVR90)	+3,35	+3,35	+3,35	+3,35
Havspejlsstigning (m)	0	0,11	0,35	1,04
Ekstrem vandstand (m)	+3,35	+3,24	+3,00	+2,31
Middeltidshændelse (år)	660	575	420	150
Sandsynlighed (%)	0,2	3,4	11,2	48,8

Når statistikken for Kolding benyttes kan returperioden for stormen i november 1872 bestemmes til ca. 400 år ved Assens.

Når det antages, at middelvandstanden er konstant i projektets levetid, er der en sandsynlighed på ca. 11% for, at vandstanden i Assens kommer over +3,35m DVR90 indenfor de næste 50 år.

For at øge beskyttelsen af nye kostbare anlæg og bygninger på Assens Næs kan disse sikres lokalt med lokal terrænhævning op til +3,35m DVR90 eller højere. Dette vil også sikre, at udsigten bevares i fremtiden, når højvandsbeskyttelsen på vestsiden af Assens Næs evt. skal forhøjes på et senere tidspunkt.

Der er ikke taget højde for geotekniske forhold som sætninger mv. i anbefalingerne.

Assens Kommune har besluttet, at der i projektet skal tages udgangspunkt i en sikringskote på +2,75m DVR90 for højvandsbeskyttelsen ved Assens Næs.

Tabel 4.4 viser estimerede middeltidshændelser for fastlagt levetid af projektet på 50 år og med den valgte sikringskote på +2,75m DVR90.

Tabel 4.4 Sandsynlighed for at sikringskoten (+2,75 m DVR90) overstiges af ekstrem vandstand ved pågældende levetid for anlægget. COWI's højvandsstatistik fra Kolding er brugt til at bestemme hvilken middeltidshændelse der skal til for at sikringskoten overstiges.

Levetid (år)	1	20	50	100
Sikringskote (m DVR90)	+2,75	+2,75	+2,75	+2,75
Havspejlsstigning (m)	0	0,11	0,35	1,04
Ekstrem vandstand (m)	+2,75	+2,63	+2,40	+1,71
Middeltidshændelse (år)	305	255	170	32
Sandsynlighed (%)	0,3	7,6	25,5	95,8

Tabellen viser, at der indenfor den valgte levetid på 50 år frem til år 2070 er cirka 26 % sandsynlighed for, at den valgte sikringskote på +2,75m DVR90 overskrides og der derved sker oversvømmelse af baglandet. Dette svarer til en stormflodshændelse med en returperiode på omkring 170 år ifølge Realdanias vandstandsstatistik fra Kolding.

5 Delanalyse 2: Lokal analyse af sedimenttransporten og kystmorfologiske processer

5.1 Strandprofil

Den nye strand og klitdige opbygges af mellemkornet sand med en antaget middeldkornstørrelse på minimum $d_{50}=0,35\text{mm}$. Herved opnås en god strandkvalitet samtidig med, at kystprofilet får en hældning der medfører, at der ikke skal anvendes for store mængder strandsand til opbygning af kystprofilet og samtidig reduceres sandfygning.

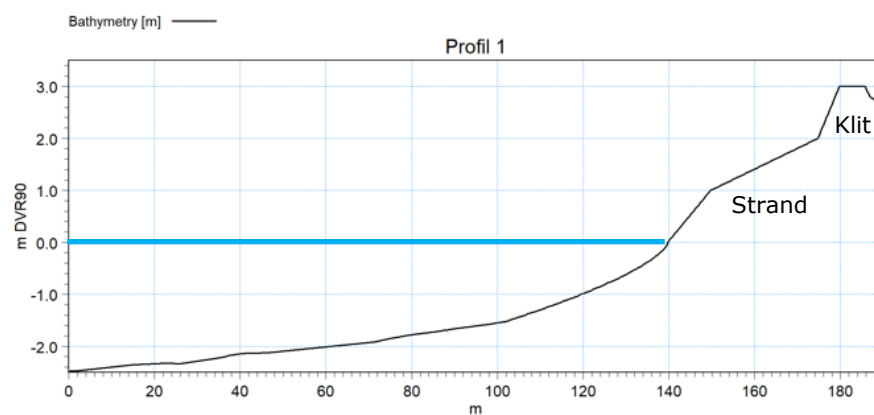
Strandprofilet under vandet antages at følge et ligevægtsprofil baseret på den antagne middeldkornstørrelse. Over vandet antages forstranden at have en hældning på 1:10 op til +1,0m svarende til eksisterende forstrand. Mellem +1,0 og +2,0m antages en hældning på strand og forklit på omkring 1:25 eller fladere afhængigt af, hvor langt tilbage den højeste del af klitdiget er beliggende.

Geotekniske beregninger har vist, at klitdiget opbygget af mellemkornet sand bør have en hældning på 1:4 eller fladere for at kunne opnå en fornuftig sikkerhed mod brud under en dimensionsgivende stormhændelse, se afsnit 6.2.

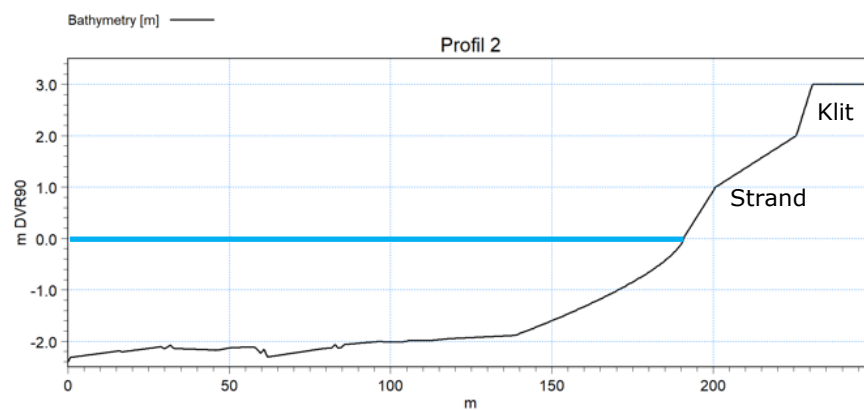
Figur 5.1, Figur 5.2, Figur 5.3 og Figur 5.4 viser henholdsvis lokalisering og form af modellerede kystprofiler ved Profil 1, 2 og 3.



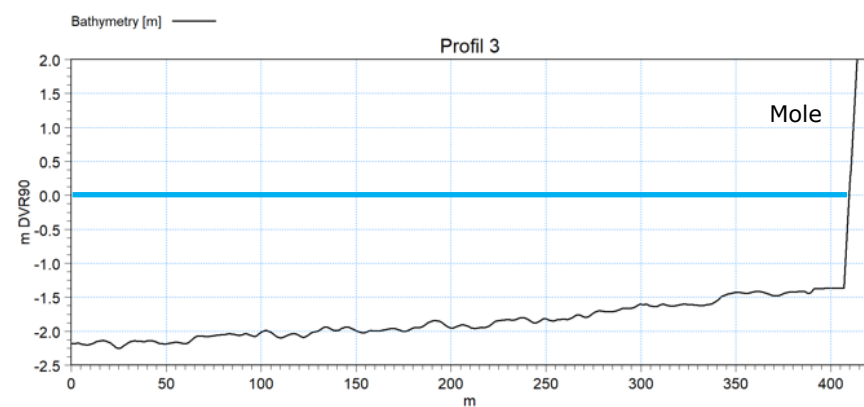
Figur 5.1 Lokalisering af modellerede kystprofiler.



Figur 5.2 Udformning af Profil 1 - ved sommerhuse.



Figur 5.3 Udformning af Profil 2 - Strandprofil ved klitter foran Næshusene.



Figur 5.4 Udformning af Profil 3 - ved vestlig havnemole.

5.2 Kystparallel sedimenttransport

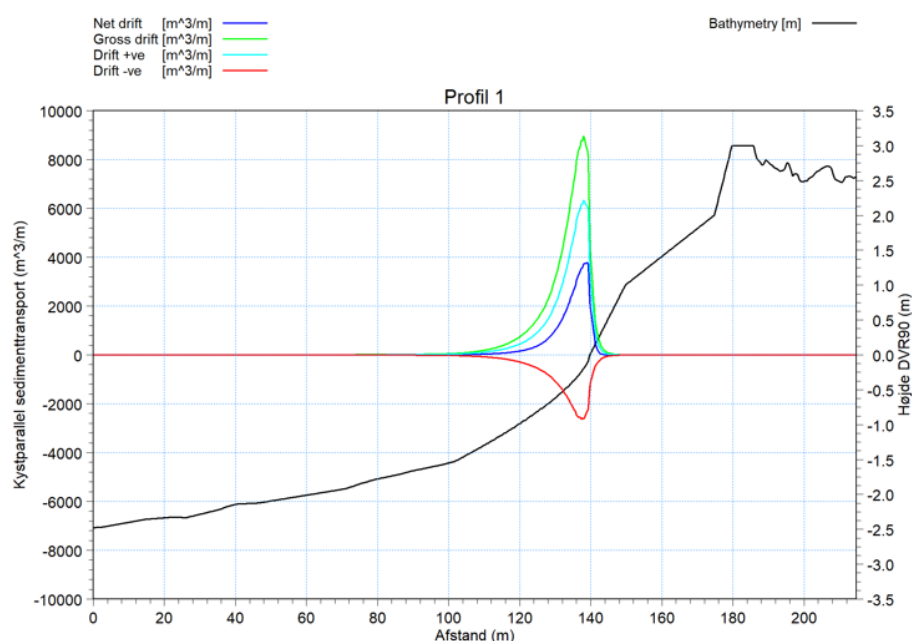
Den kystparallelle sedimenttransportkapacitet, også kaldet langstransportkapacitet, er modelleret med LITDRIFT for Profil 1, 2 og 3 med bølgeklime fra henholdsvis Punkt 1.1, 2.1 og 3, se afsnit 4.6.

Modellen udregner, hvor meget sediment, der transporteres langs kysten over profilet i begge retninger over modelleringsperioden. Summen af de to transporter benævnes bruttotransporten (uden retning), mens differencen mellem de to retningsorienterede transporter benævnes nettotransporten, der angives med retning og størrelse, den såkaldte netto langstransport.

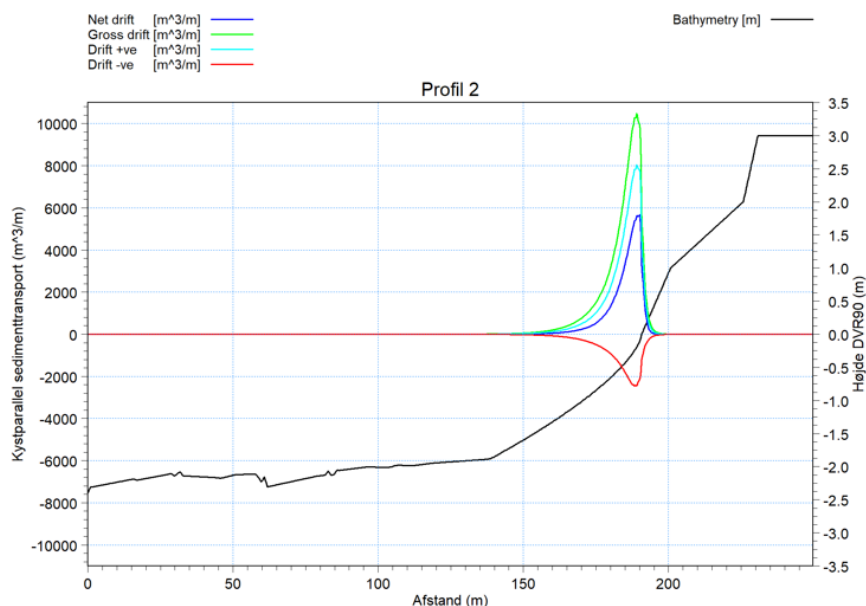
Modelresultatet viser, hvor i profilet sedimenttransporten forekommer. Dermed kan der udregnes en såkaldt aktiv dybde, som er den dybde indenfor hvilken størstedelen af langstransporten foregår.

Profilerne er beliggende ved de to store vestvendte strande samt ved den vestlige havnemole i nærheden af indsejlingen til havnen, se Figur 5.1. Positive værdier betyder, at langstransporten er nordgående, og omvendt betyder negative værdier sydgående langstransport.

Modelresultaterne for Profil 1 og 2 er vist i henholdsvis Figur 5.5 og Figur 5.6. Modellen viser den forventede nordgående netto sedimenttransport, der forekommer langs Assens Næs. Transporten er størst i Profil 2.



Figur 5.5 Fordeling af langstransporten på tværs af Profil 1 ved en strandlinjeorientering på 268 grader. Blå kurve er nettotransport, turkis og rød kurve er retningsbestemte transportbidrag i hhv. nordlig og sydlig retning og grøn kurve er den samlede bruttotransport.



Figur 5.6 Fordeling af langstransporten på tværs af Profil 2 ved en strandlinjeorientering på 270 grader. Blå kurve er nettotransport, turkis og rød kurve er retningsbestemte transportbidrag i hhv. nordlig og sydlig retning og grøn kurve er den samlede bruttotransport.

LITDRIFT-modellering i Profil 3 giver et estimat på langstransportkapaciteten sydvest for indsejlingen til havnen og derved et bud på sedimentationsraten ved havneindsejlingen.

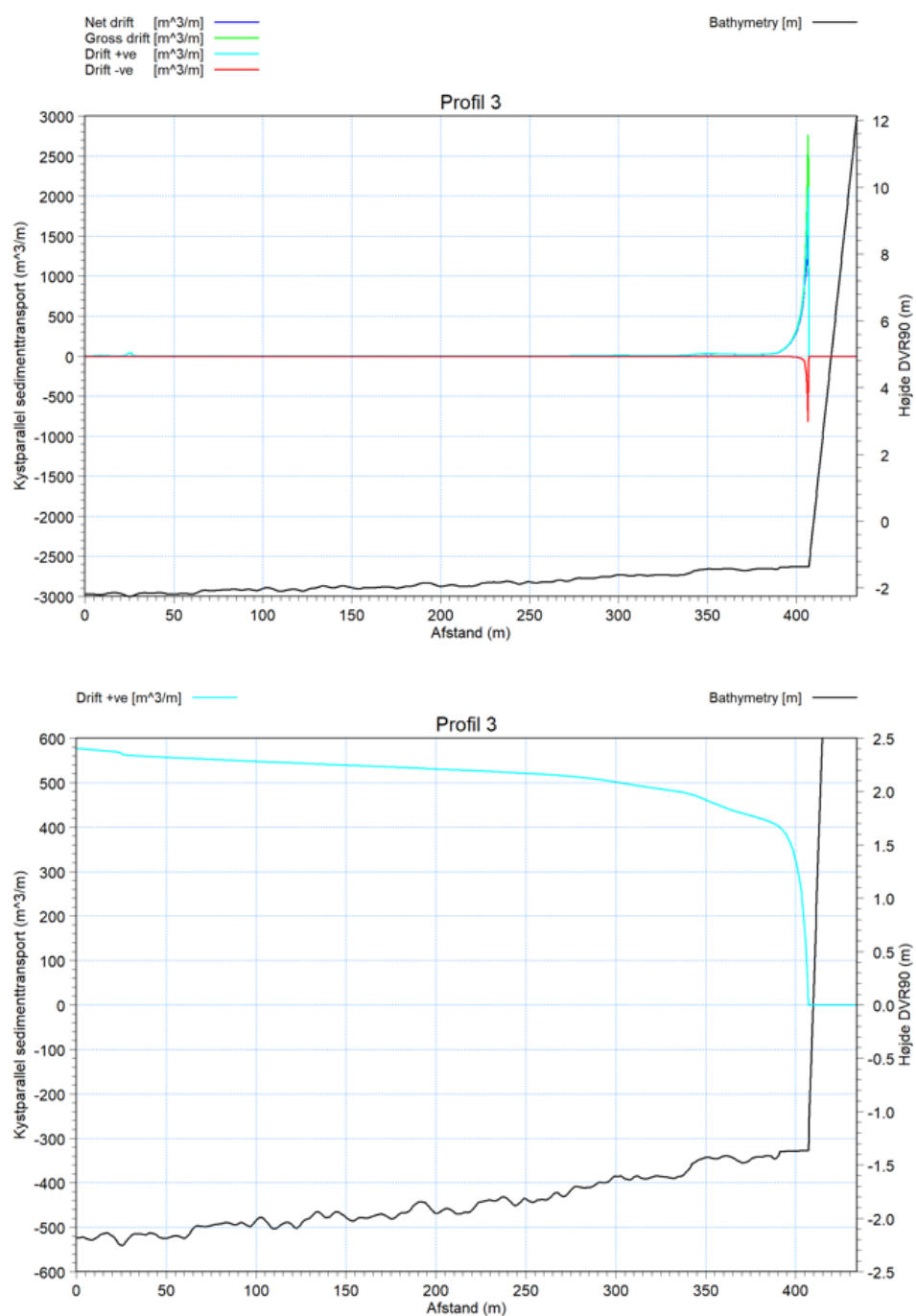
Fordelingen af den modellerede langstransport på tværs af profilet sammen med den årlige nordgående langstransport akkumuleret over profilet er vist i Figur 5.7.

Den årlige nordgående langstransport er i størrelsesordenen $600 \text{ m}^3/\text{år}$, hvilket indikerer, at der årligt er i størrelsesordenen 600 m^3 sediment, der bliver transporteret rundt om molehoved og ned i sejlrenden.

Der er betydelig usikkerhed på størrelsen af transporten, da kystprofilet foran bølgebryderen er fladt og bundens niveau ligge tæt på den aktive dybde, hvorunder der ikke foregår kystparallel sedimenttransport af betydning.

Sedimenttransporten ind i havneindsejlingen kan ske ved forskellige vindretninger, hvor transporten på Assens Næs er nordgående. Et eksempel på sedimenttransport rundt om molehovedet ved sydvestlig vind er vist i Figur 5.8.

Det forventes, at nettotransporten ind mod sejlrenden reduceres efter projektet er gennemført, da bølgerne fra sydvestlige retninger blokeres delvist af det vestlige forland. Det er ikke muligt at vurdere reduktionen af den potentielle kystparallelle sedimenttransport for den fremtidige situation, før det endelige projekt er besluttet og bølgemodellen er opdateret.



Figur 5.7 Fordeling af kystparallel sedimenttransport på tværs af Profil 3 ved en strandlinjeori-entering på 323 grader (øverst), hvor den blå kurve er nettotransport, turkis og rød kurve er retningsbestemte bruttotransport i hhv. nordlig og sydlig retning og grøn kurve er den samlede bruttotransport. Nederst er den over profilet akkumulerede årlige nordgående kystparallelle sedimenttransport.



Figur 5.8 Vestlig mole ved havneindsejling til Assens Havn. Billedet er taget mod sydvest ved en sydvestlig vind. Grænsen mellem det mørke og lyse vand indikerer en sedimentsky i vandet, der er transporteret rundt om molehoved. (foto: Ole Knudsen)

Den aktive dybde er beregnet ud fra modelresultaterne fra LITDRIFT for Profil 1 og 2, se Figur 5.5 og Figur 5.6. Den aktive dybde beskriver ud til hvilken dybde 97,5% af den kystparallelle bruttotransport foregår. Den aktive dybde beskriver således, hvor langt ud i kystprofilen sandbunden er mobil og sand typisk transporteres af bølgerne. Der kan være specielle situationer med store bølger og samtidig lavvande, hvor bunden kan være mobil længere ud i kystprofilen.

Tabel 5.1 Aktiv dybde bestemt ud fra 97,5% af den modellerede bruttotransport.

	Profil 1	Profil 2
Dybde ved Punkt 2 (m)	2,48	2,40
Aktiv dybde (m)	1,24	1,24

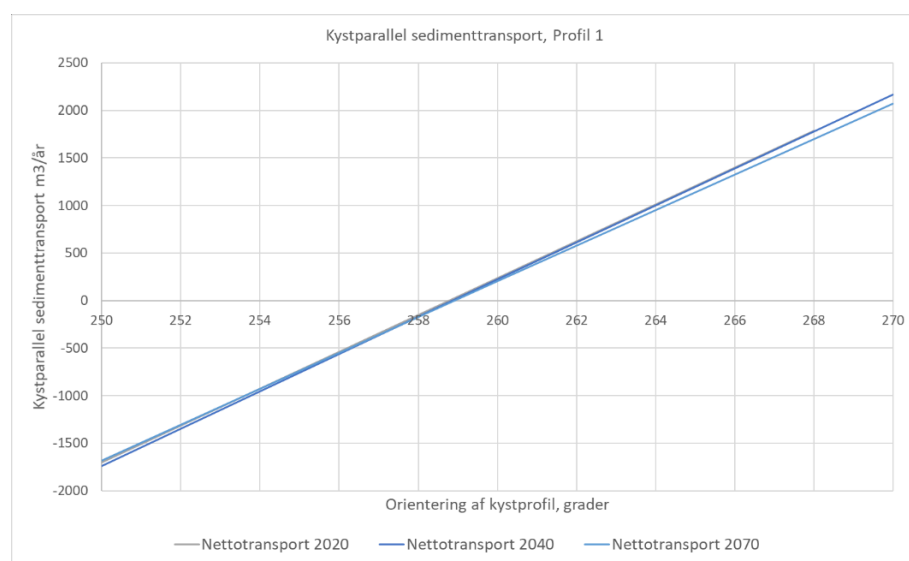
5.3 Ligevægtsorientering

LITDRIFT er også anvendt til at bestemme ligevægtsorienteringerne af de vestvendte sandstrande. Opsætningen af modellen er den samme som i afsnit 5.2, hvor det modellerede bølgeklima samt vandstand (afsnit 4.6) ud for Profil 1 og 2 er anvendt som input til modellen for det pågældende profil.

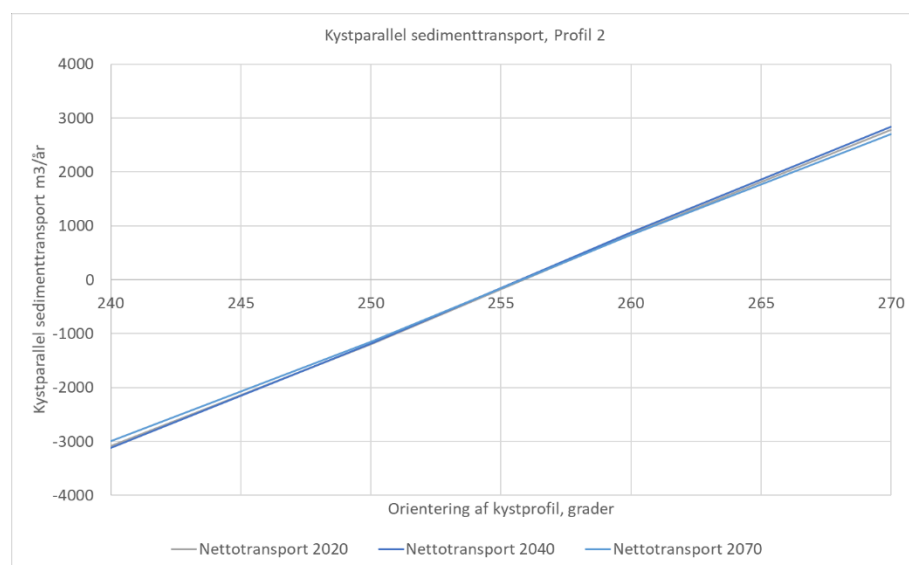
Ligevægtsorienteringen er defineret som den orientering, hvor netto langs-transporten over den modellerede periode samlet set er 0 m³/år. Derfor er LITDRIFT kørt med forskellige orienteringer af kystprofilerne i intervallet 250-270°. Ligevægtsorienteringen er herefter fundet ved lineær interpolation.

For at analysere en eventuelt ændring i ligevægtsorienteringerne i et fremtidigt scenarie med stigende havspejl er MIKE21 SW og efterfølgende LITDRIFT kørt med en vandstandstidsserie baseret på henholdsvis år 2020, 2040 samt 2070, se Afsnit 0 og 4.6.

Den gennemsnitlige modellerede årlige netto langtransport med forskellig orientering samt for de tre scenarier i Profil 1 og 2 er vist i Figur 5.9 og Figur 5.10. Positive værdier betyder, at nettotransporten er nordgående, og omvendt betyder negative værdier sydgående nettotransport.



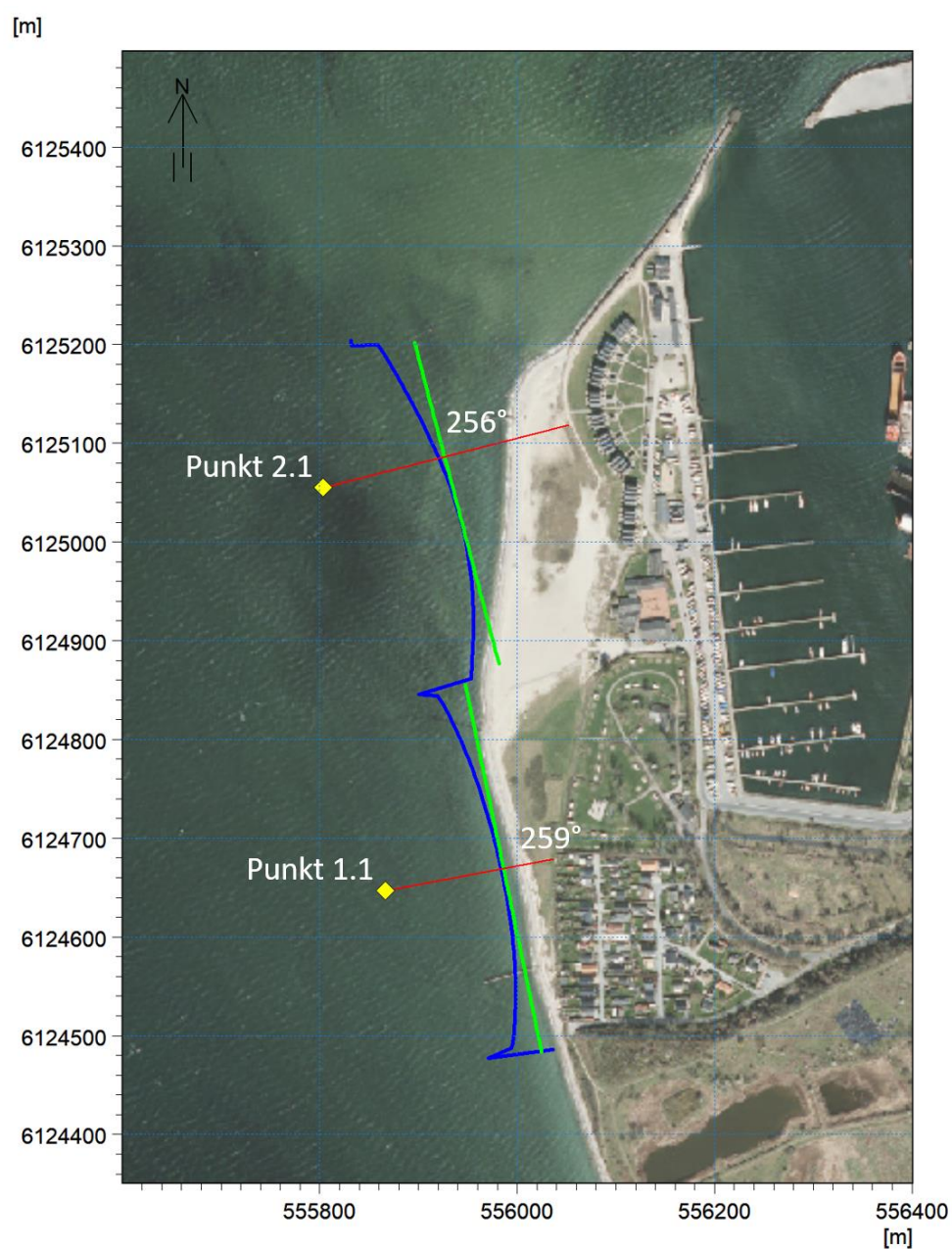
Figur 5.9 Årlig modellerede kystparallel nettosedimenttransport i Profil 1 ved forskellige orienteringer af kystprofilet.



Figur 5.10 Årlig modellerede kystparallel nettosedimenttransport i Profil 2 ved forskellige orienteringer af kystprofilet.

Figurerne viser, at nettotransporten er 0 m³/år ved en strandlinjeorientering på 259° i Profil 1 og en strandlinjeorientering på 256° i Profil 2. Ydermere viser figuren, at ligevægtsorienteringen ikke ændrer sig i de fremtidige havspejlsscenarier, der er blevet kørt i modellen.

Figur 5.11 viser ligevægtsorienteringerne af de to vestvendte strande modelleret med LITDRIFT. Desuden vises den endelige strandlinje modelleret med LITLINE, som beskrives i efterfølgende afsnit.



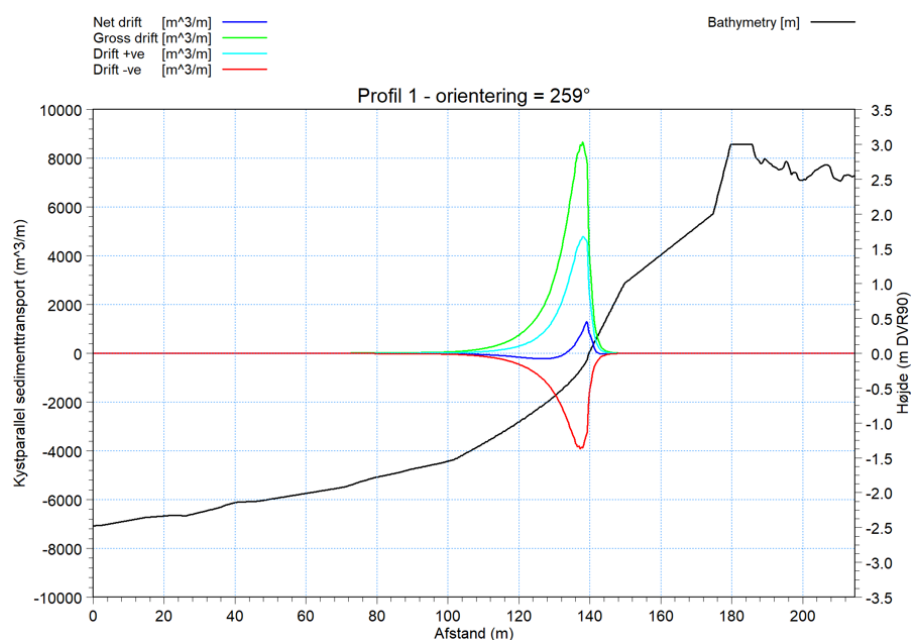
Figur 5.11 Ligevægtsorienteringer af nye vestvendte strande modelleret med LITDRIFT (kystprofil vist med rødt og strandlinje vist med grønt) og strandlinjer modelleret med LITLINE vist med blåt.

5.3.1 Sedimenttransport ved ligevægtsorientering

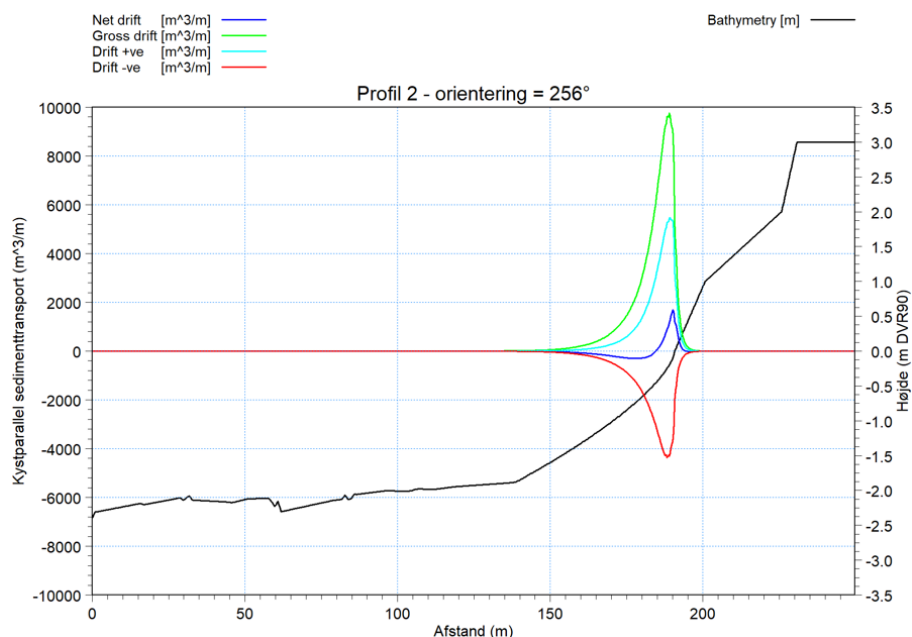
Fordelingen af den kystparallelle sedimenttransport på tværs af kystprofillet ved ligevægtsorienteringerne er modelleret for henholdsvis Profil 1 og 2, se Figur 5.12 og Figur 5.13.

I begge profiler er nettotransporten nordgående ud til ca. 0,5 m dybde, hvorefter nettotransporten er sydgående ud til den aktive dybde. Mønsteret er forskellig fra modelleringen med de initiale strandlinjeorienteringer, hvor nettotransporten var nordgående fra stranden ud til den aktive dybde.

Den aktive dybde bestemt ud fra 97,5% af den modellerede bruttotransport er ved ligevægtsorienteringerne på 1,26 m ved de to profiler.



Figur 5.12 Fordeling af kystparallel sedimenttransport på tværs af Profil 1 ved en strandlinjeorientering på 259 grader. Blå kurve er nettotransport, turkis og rød kurve er retningsbestemte bruttotransport i hhv. nordlig og sydlig retning og grøn kurve er den samlede bruttotransport.



Figur 5.13 Fordeling af kystparallel sedimenttransport på tværs af Profil 2 ved en strandlinjeorientering på 256 grader. Blå kurve er nettotransport, grønne og røde kurve er retningsbestemte bruttotransport i hhv. nordlig og sydlig retning og grøn kurve er den samlede bruttotransport.

5.4 Form og variabilitet af strandlinjen

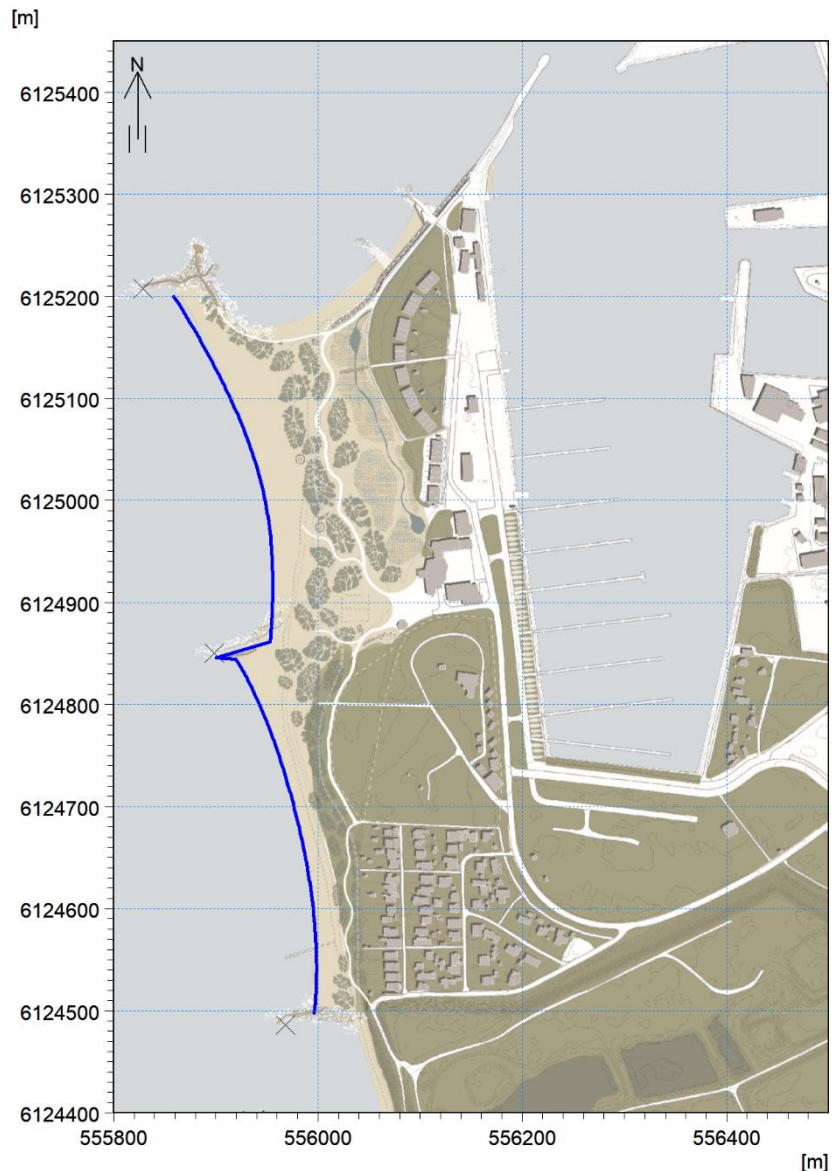
Der er opstillet en LITLINE model af strandlinjen med det primære formål at modellere den fremadrettede udvikling og form af de nye vestvendte sandstrande samt beregne, hvor langt ud konstruktionerne skal gå for at stabilisere strandene og holde på sandet.

Den overordnede konfiguration af strandene og klitområdet er aftalt med Assens Kommune. Udgangspunktet for strandenes orientering er ligevægtsorienteringerne fundet ved LITDRIFT modelleringerne, se Afsnit 5.3. Placering af strandlinje og kystbeskyttelseskonstruktioner er vist på Figur 1.7.

LITLINE modellen er blevet kørt med en 18 år lang tidsserie med modellerede vandstand og bølgedata for at analysere stabiliteten af foreslåede strande og kystbeskyttelse over en længere periode, se Afsnit 4.6.

Placeringen af strande og konstruktioner er fundet ved en iteration af modelkørsler, således at det endelige modelresultat viser en acceptabel stabilitet af strandlinjen samtidigt med, at der er plads i landværts retning til det foreslåede klitdige.

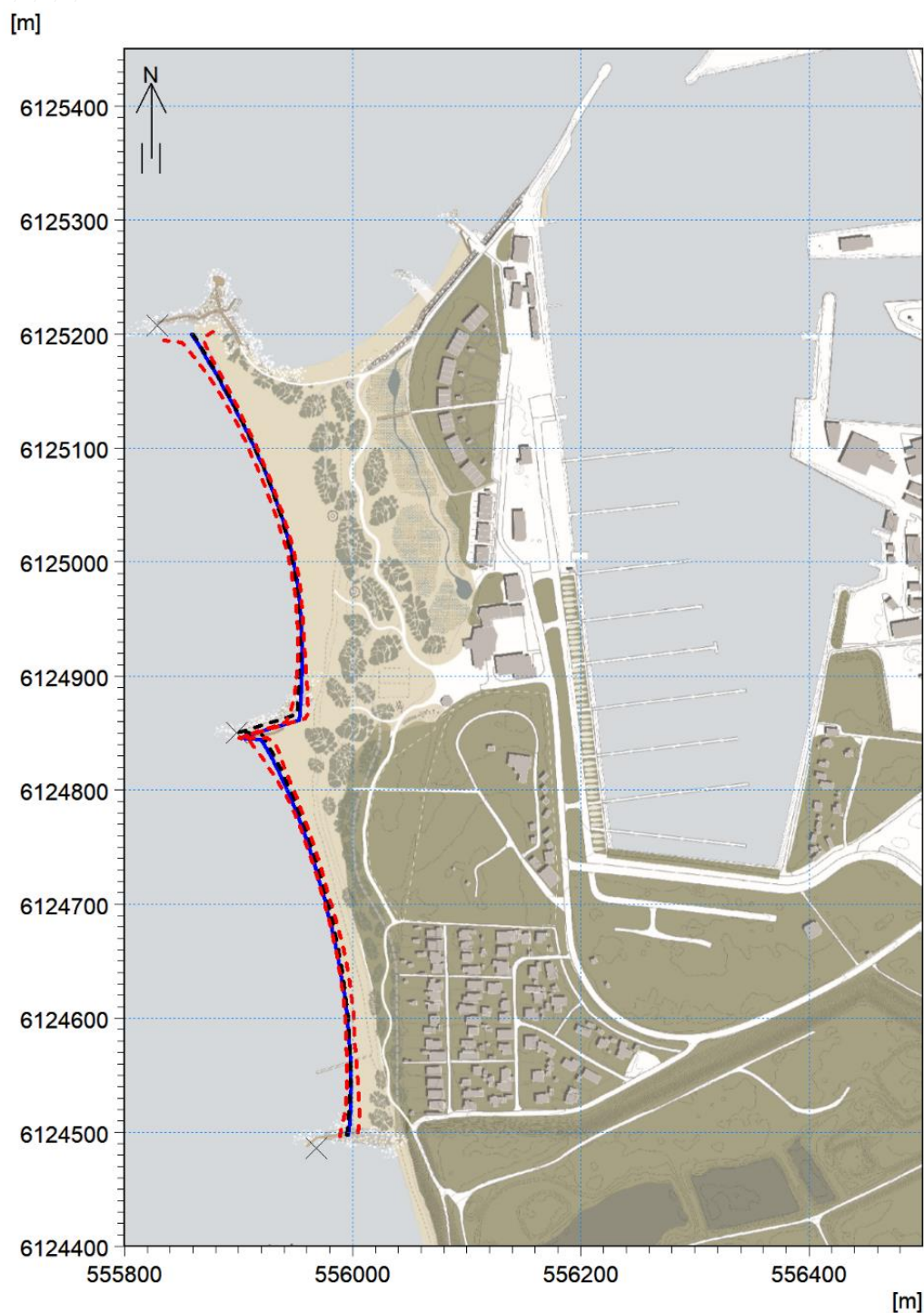
Placeringen af strandlinjen fundet ved iteration er vist i Figur 5.14. Denne strandlinje er benyttet som input til en modelkørsel, hvor resultatet viser det område, strandlinjen fremadrettet bevæger sig indenfor, når erosion og fremrykning af strandlinjen forekommer som følge af variationer i bølgeforholdene og herunder normale og ekstreme bølgeforhold, som er indeholdt i bølgeklimatefilerne.



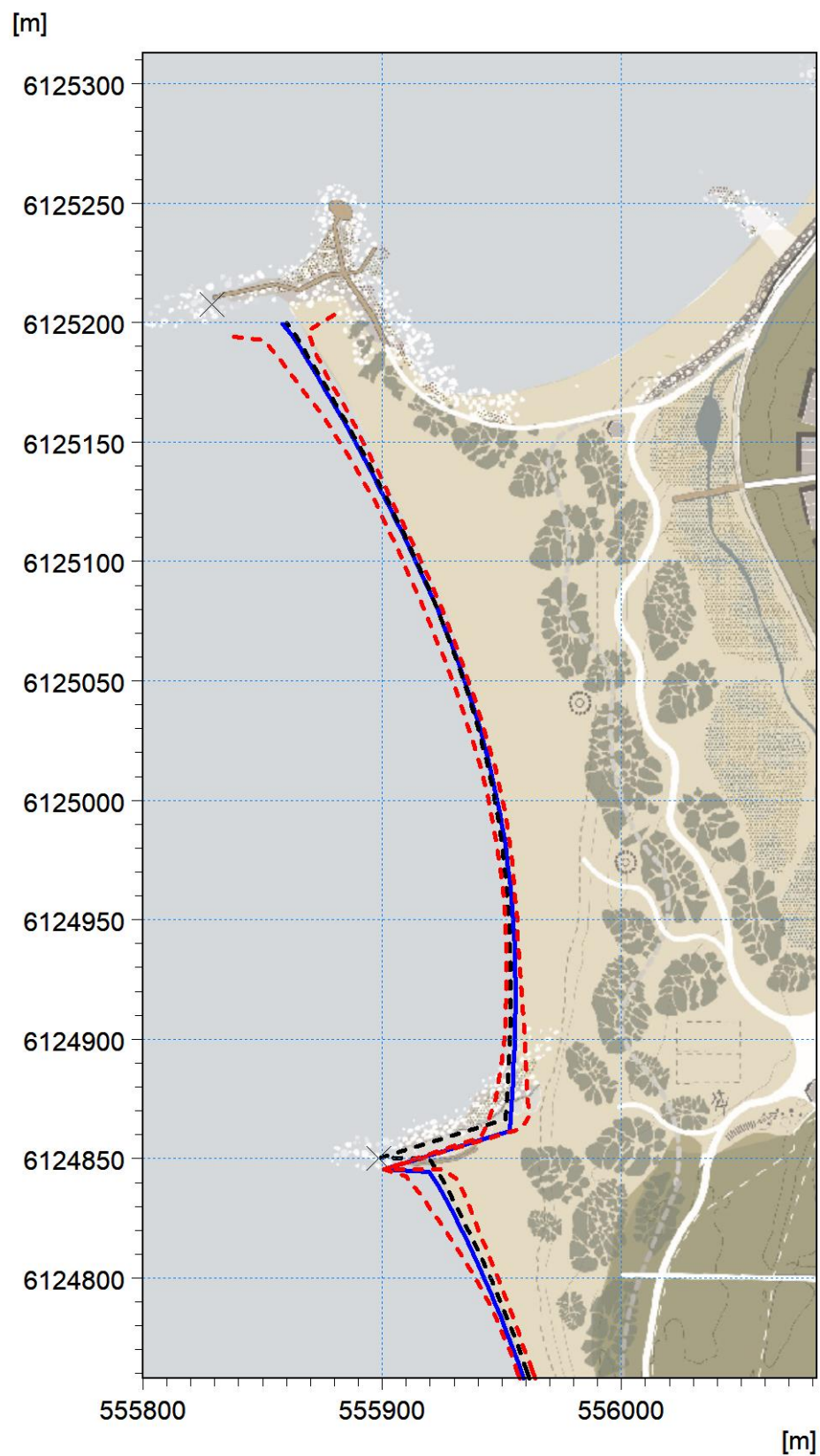
Figur 5.14 Initial strandlinje, blå. Høfdernes ender er markeret med krydser.

Området med strandlinjens erosion og fremrykning er vist i Figur 5.15, Figur 5.16 og Figur 5.17 for henholdsvis den nordlige og sydlige af de vestvendte strande. For begge strande gælder det, at den gennemsnitlige placering af strandlinjen tilnærmelsesvis er sammenfaldende med initial-strandlinjen, hvilket indikerer, at strandlinjen er stabil over hele den modellerede periode. Yderligere holder den mest fremrykkede strandlinje sig indenfor høfdernes søværts udbredelse, hvilket indikerer, at konstruktionerne er i stand til at holde på sandet indenfor den pågældende strand. Her skal det nævnes, at modellen er sat om med neddykkede rev foran høfderne, der kan holde på den yderste del af profilet.

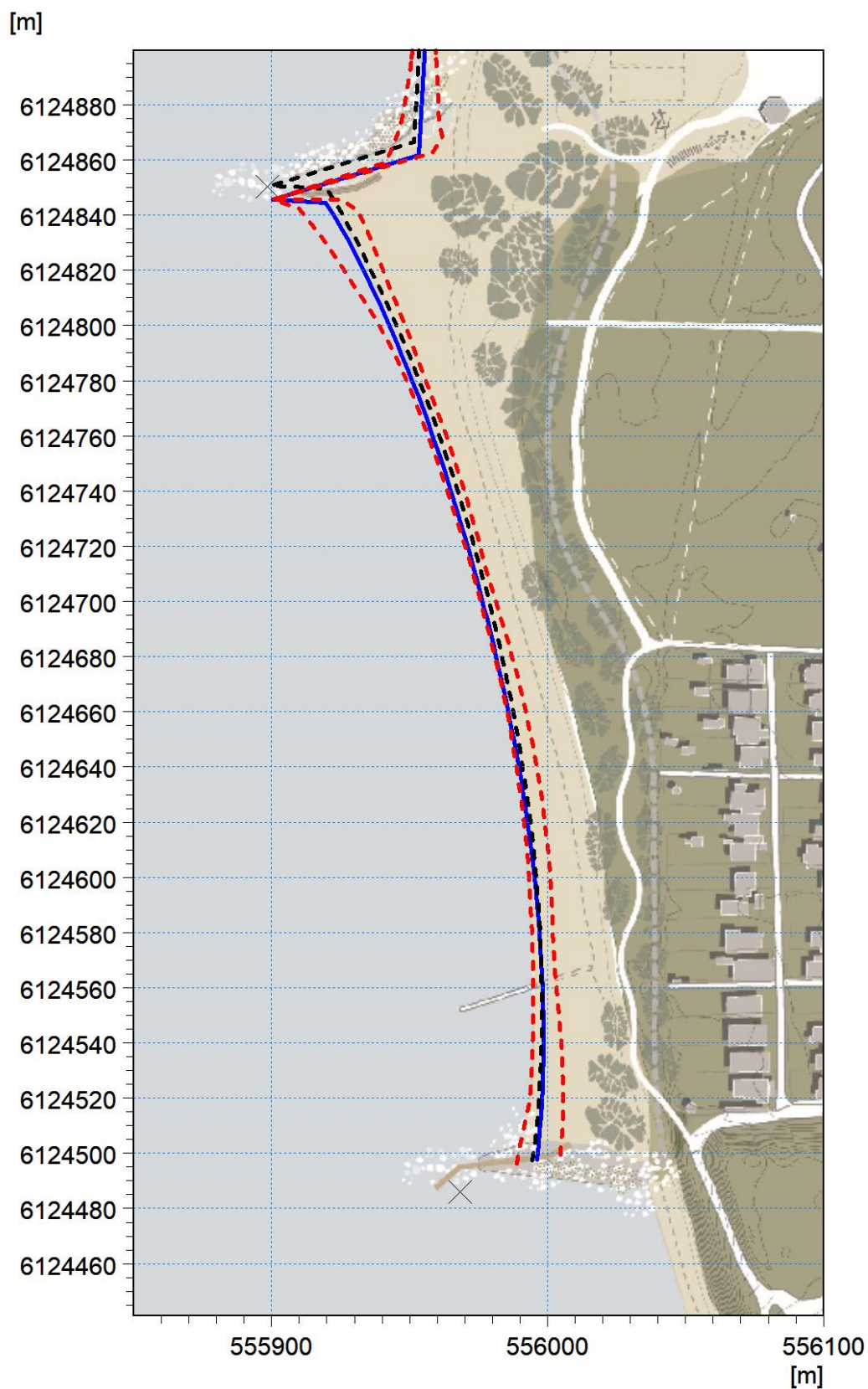
Den forventede vegetationslinje er indikeret på Figur 5.18 som set-back-linjer beliggende 10 og 15 m landværts for det modellerede område strandlinjen bevæger sig indenfor.



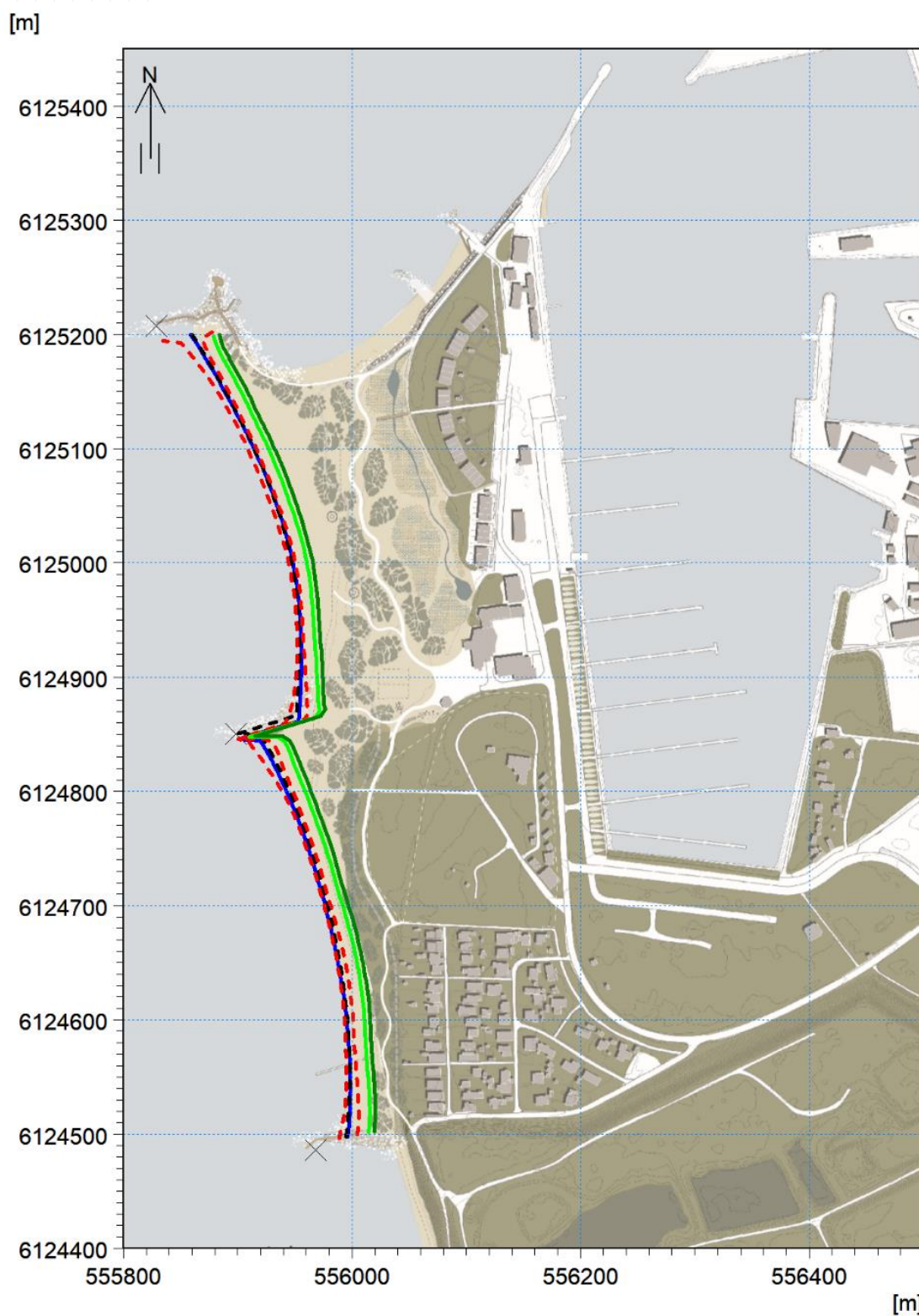
Figur 5.15 Initial strandlinje (blå), minimum/maksimum strandlinje (rød), gennemsnitsplacering (sort). Høfdernes ender er markeret med krydser.



Figur 5.16 Initial strandlinje (blå) for nordlig strand, minimum/maksimum strandlinje (rød), gennemsnitsplacering (sort). Høfdernes ender er markeret med krydser.



Figur 5.17 Initial strandlinje (blå) for sydlig strand, minimum/maksimum strandlinje (rød), gennemsnitsplacering (sort). Høfdernes ender er markeret med krydser.



Figur 5.18 Initiale strandlinje (blå), minimum/maksimum strandlinje (rød stiple), 10 m (grøn) og 15 m (mørkegrøn) vegetationsgrænse

Vegetationslinjerne markeret med grøn og mørkegrøn indikerer, hvor vegetationen forventes at dække bagstranden og klitterne begynder.

Stranden syd for det sydlige forland forslås beskyttet med ralfodring for at forhindre erosion af skråningen foran stien op til toppen af jorddepotet. Ralmaterialet foreslås udgravet langs eksisterende ralstrande, som dækkes med sand når de nye stranden anlægges.

5.5 Nordvendt strand

Det modellerede bølgeklima er bestemt ud fra nuværende dybdeforhold og placering af strandlinjen. Dermed er skyggepåvirkningen på bølgerne fra det nordligste forland ved de vestvendte strande ikke inkluderet i bølgemodellen.

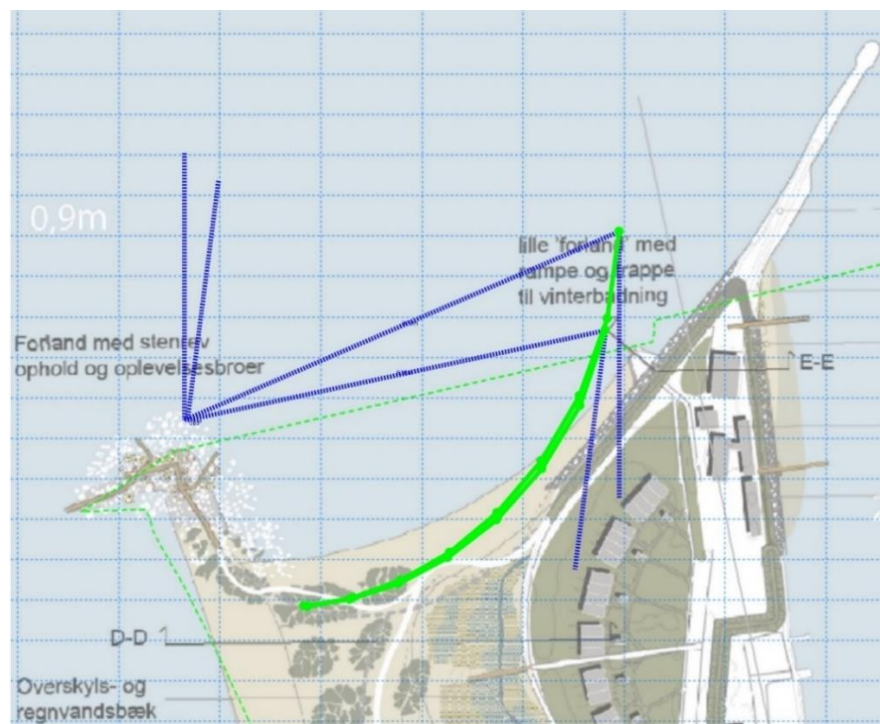
Det er ikke muligt at bestemme formen af den nordvendte strand i detaljer, da skyggeeffekten af konstruktionen er betydelig. Der er i stedet foretaget en kystteknisk vurdering af bølgenes indfald umiddelbart nord for det område, som det nordlige forland skygger for.

Den nordvendte strand er indledningsvist vurderet med MEPBAY, der beskriver strandens form bag forlandet på basis af bølgediffraktionspunktet og ligevægtsorientering af stranden vurderet ved den nordlige ende af stranden ud for Søsportscenteret.

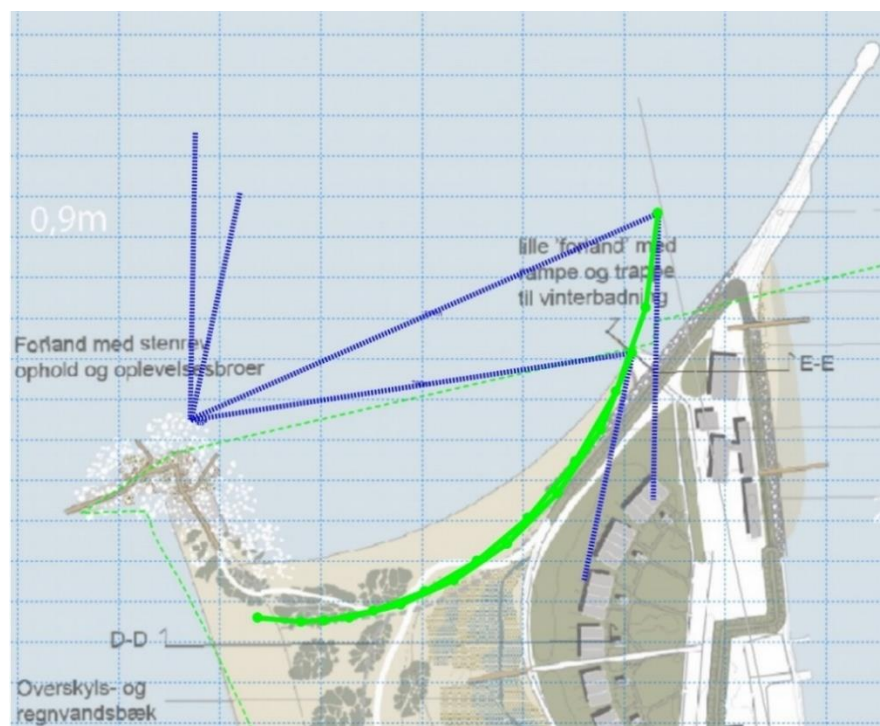
Det foreslås, at der anlægges en konstruktion ved Søsportscenteret, der kan holde på stranden foran skråningsbeskyttelsen langs de nordligste Næshuse. Figur 5.19 og Figur 5.20 viser strandens form og bredde foran skråningsbeskyttelserne ved to forskellige længder af konstruktionen ved Søsportscenteret.

Det viser sig imidlertid, at konstruktionen skal være forholdsvis lang for at holde på en strand hen langs skråningsbeskyttelsen foran de nordligste Næshuse.

Det foreslås derfor at anlægge endnu en konstruktion for at dele den nordlige strand op i to dele. Herved er der mulighed for at anlægge en smal strand foran skråningsbeskyttelsen til glæde for de mange sejlere og andre gæster, som ønsker adgang til havet fra Søsportscenteret.



Figur 5.19 Resultat af MEPBAY-udregningen, der beskriver strandens form (grøn linje) på baggrund af bølgediffraktionspunktet (vestlige knæk i blå linje) og ligevægtsorienteringen af stranden i den østlige ende (østlige knæk i blå linje).



Figur 5.20 Resultat af MEPBAY-udregningen, der beskriver strandens form (grøn linje) på baggrund af bølgediffraktionspunktet (vestlige knæk i blå linje) og ligevægtsorienteringen af stranden i den østlige ende (østlige knæk i blå linje).

6 Delanalyse 3: Dimensionsanalyse af kunstig klitstruktur

6.1 Akut erosion af strand og klitdige

Den akutte erosion af det foreslåede strandprofil under stormflod er analyseret på baggrund af modelberegninger foretaget med den numeriske model LITPROF.

LITPROF modellerer den kystnormale sedimenttransport og den medfølgende morfologiske udvikling af strandprofilet. Dermed kan det analyseres, hvor i profilet der under en storm forekommer erosion og aflejring samt størrelsen på disse.

LITPROF er kørt med en række forskellige kombinerede stormscenarier baseret på joint probability analysen, se afsnit 4.7.

Ud fra modelleringerne kan det foreslåede strandprofils sårbarhed overfor stormflod vurderes.

Modelleringen tager udgangspunkt i en levetid for klitdiget på 50 år, dvs. frem til år 2070. Modellen er derfor kørt med stormscenarier svarende til det nuværende havspejl i år 2020 samt en fremtidig situation i 2070, hvor havspejlet forventes at være hævet med 35 cm. Ydermere er den akutte erosion modelleret for en 50-, 100- og 500-årshændelse.

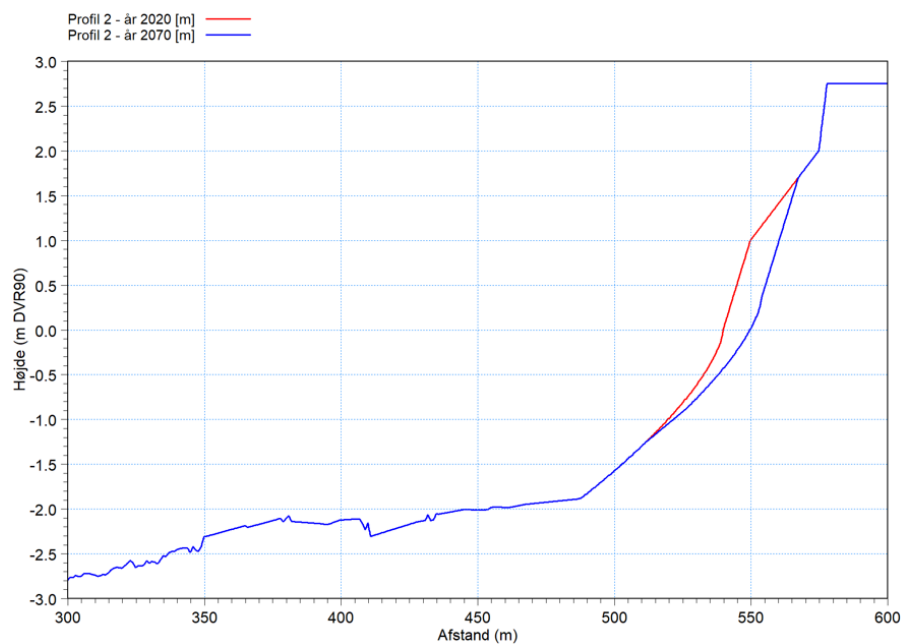
Den samlede effekt af kronisk og akut erosion er kombineret i det fremtidige scenarier for at vurdere strandprofilets sårbarhed i et worst-case scenarie. I worst-case scenariet er strandprofilet først tilpasset den maksimale erosion beregnet med LITLINE og herefter tilpasset et højere vandspejl ud fra Bruuns regel.

De initiale strandprofiler for 2020- og 2070-scenarierne er vist i Figur 6.1.

Modelleringen af den akutte erosion tager udgangspunkt i forskellige kombinationer af bølgehøjde og vandstand. Hver kombination repræsenterer et potentielt stormscenarie og er sammensat for en 50-, 100- og 500-årshændelse i 2020 (Tabel 6.1) og 2070 (Tabel 6.2).

Der er valgt tre stormscenarier baseret på joint probability analysen, se afsnit 4.7. Et scenarie hvor bølgehøjden er stor og vandstanden lav (Storm A). Et scenarie hvor der forekommer en moderat bølgehøjde og vandstand (Storm B). Et scenarie med lille bølgehøjde og høj vandstand (Storm C).

Stormscenarierne varer 24 timer, hvor vandstanden stiger fra 0 m i løbet af de første 6 timer og ligeledes falder til 0 m i løbet af de sidste 6 timer. Dermed forekommer den maksimale vandstand 12 timer i løbet af stormen.



Figur 6.1 Initial strandprofil 2020 (rød) og eroderet strandprofil 2070 (blå), Profil 2

Tabel 6.1: Bølge- og vandstandskombinationer for 50, 100 og 500 årshændelser i 2020. Bølgeparametre vises som root-mean square bølgehøjde (H_{rms} , m) og peak bølgeperiode (T_p , s).

Returperiode, år	50 år	100 år	500 år
Storm A			
H_{rms} (m)	0,74	0,82	1,04
T_p (s)	3,2	3,3	3,5
Vandstand (m)	+0,05	+0,05	+0,05
Storm B			
H_{rms} (m)	0,51	0,55	0,64
T_p (s)	3,7	3,8	3,9
Vandstand (m)	+0,90	+0,95	+1,10
Storm C			
H_{rms} (m)	0,20	0,22	0,26
T_p (s)	3,3	3,4	3,5
Vandstand (m)	+1,60	+1,80	+2,10

Tabel 6.2: Bølge- og vands-
tandskombinationer for 50,
100 og 500 årshændelser i
2070. Bølgeparametre vises
som root-mean square bølge-
højde (Hrms, m) og peak bøl-
geperiode (Tp, s).

	50 år	100 år	500 år
Storm A			
Hrms (m)	0,74	0,82	1,04
Tp (s)	3,2	3,3	3,5
Vandstand (m)	+0,40	+0,40	+0,40
Storm B			
Hrms (m)	0,51	0,55	0,64
Tp (s)	3,7	3,8	3,9
Vandstand (m)	+1,25	+1,30	+1,45
Storm C			
Hrms (m)	0,2	0,22	0,26
Tp (s)	3,3	3,4	3,5
Vandstand (m)	+1,95	+2,15	+2,45

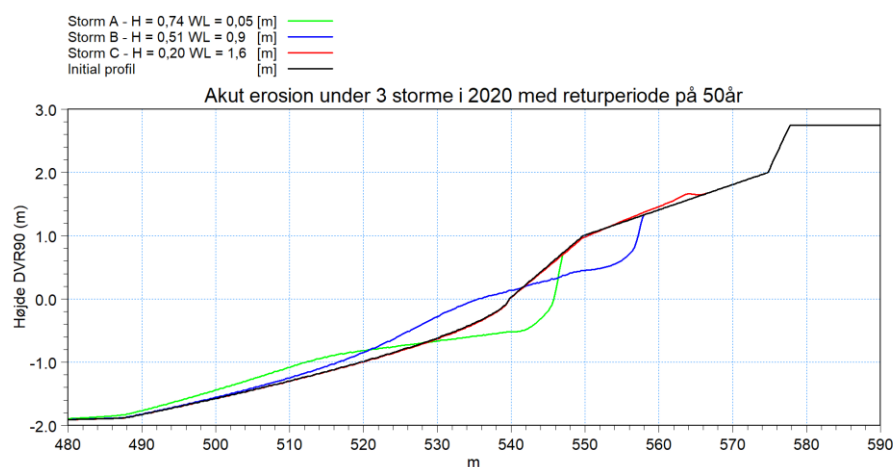
I modelleringen af 2020-scenarierne er Profil 2 anvendt. I modelleringen af 2070-scenarierne er en modificeret udgave af Profil 2 anvendt. Det modificerede profil er under kote +1,7 m og ud til den aktive dybde (-1,24 m) rykket landværts 14 m, hvilket svarer til den mest tilbagerykkede strandlinje i LIT-LINE-modellen (-8m) og for at tilpasse profilet til havspejlsstigning (-6m), se Figur 6.1.

Modelleringen af den akutte erosion i 2020 ved stormscenarierne for en 50-, 100- og 500-årshændelse er vist i Figur 6.2, Figur 6.3, Figur 6.4 og Figur 6.5. I de dele af de modellerede strandprofiler, der ligger under og over det initiale profil, er der hhv. sket en erosion og aflejring af sediment.

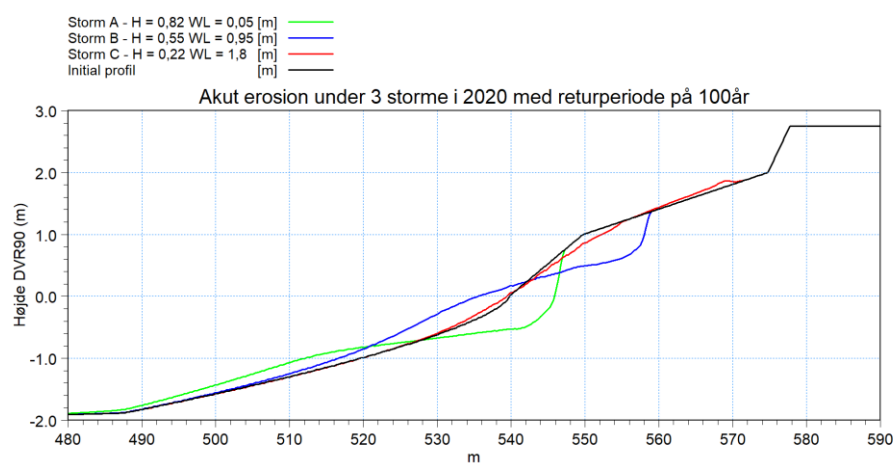
En relativ høj bølgehøjde sammenfaldende med en lav vandstand (Storm A) erodere strandlinjen og transporterer sedimentet ud på strandplanet.

En moderat bølgehøjde og vandstand (Storm B) resulterer i erosion af stranden, der medfører en fremrykning af strandlinjen.

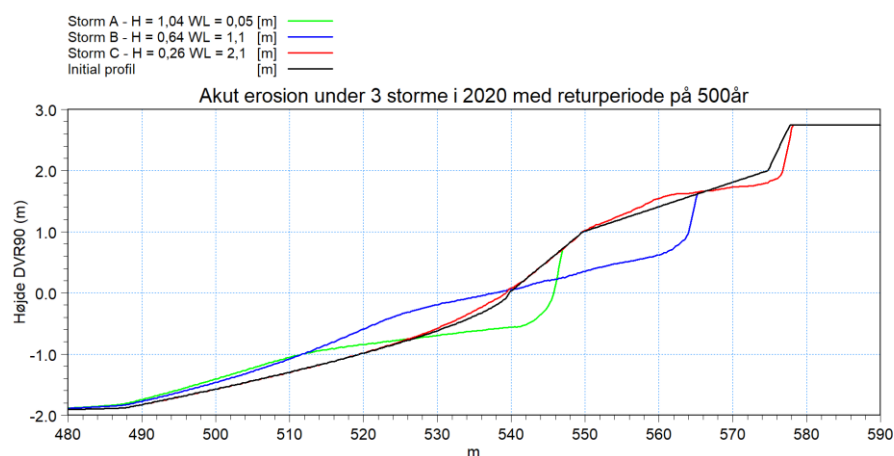
Ved en lav bølgehøjde og høj vandstand (storm C) forekommer der en lille omfordeling af sediment i strandprofilet. Klitdiget bliver ikke påvirket ved en 50- og 100-årshændelse, men for en 500-årshændelse sker der en erosion af fronten på diget.



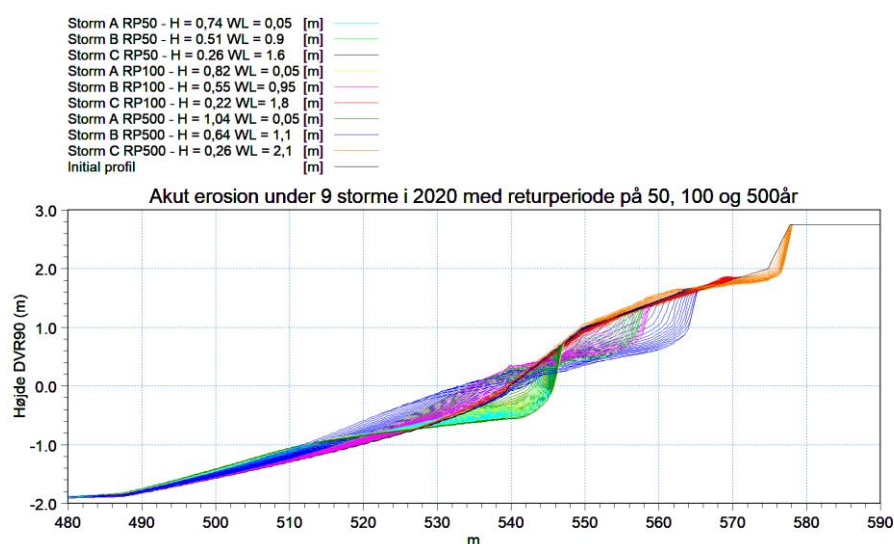
Figur 6.2 Maksimal modelleret akut erosion under stormscenarier med returperiode på 50 år i år 2020, se tabel 8.1



Figur 6.3 Maksimal modelleret akut erosion under stormscenarier med returperiode på 100 år i år 2020, se tabel 8.1



Figur 6.4 Maksimal modelleret akut erosion under stormscenarier med returperiode på 500 år i år 2020, se tabel 8.1

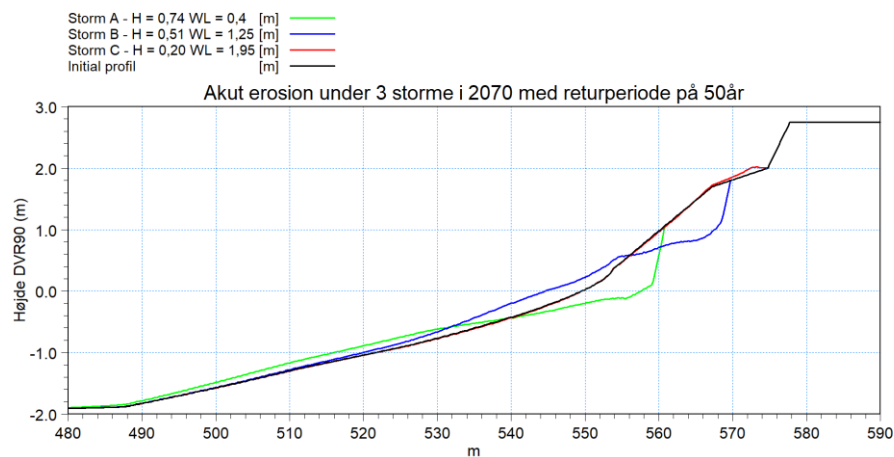


Figur 6.5 Modelleret akut erosion for hver time under stormscenarier med returperiode på 50, 100 og 500 år i år 2020, se tabel 8.1

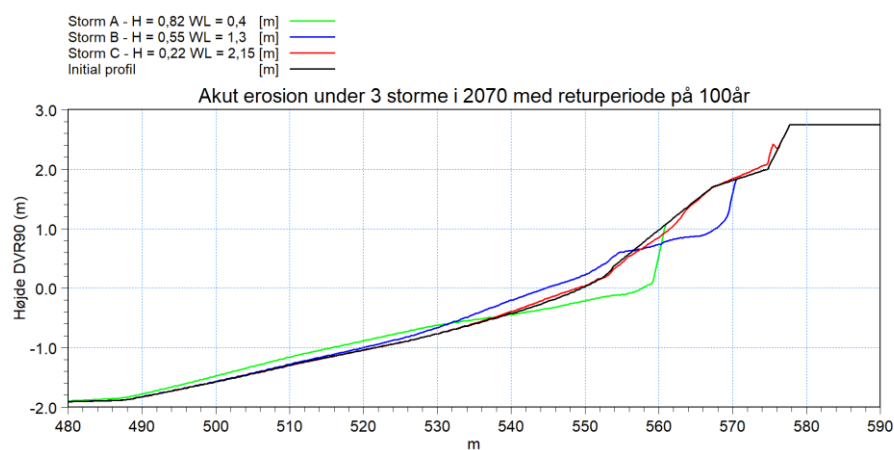
Modellering af den akutte erosion i 2070 ved stormscenarierne for en 50-, 100- og 500-årshændelse er vist i Figur 6.6, Figur 6.7, Figur 6.8 og Figur 6.9.

Modelleringen viser, at mønsteret ved de forskellige stormkombinationer for de forskellige hændelser er den samme i 2070 som i 2020.

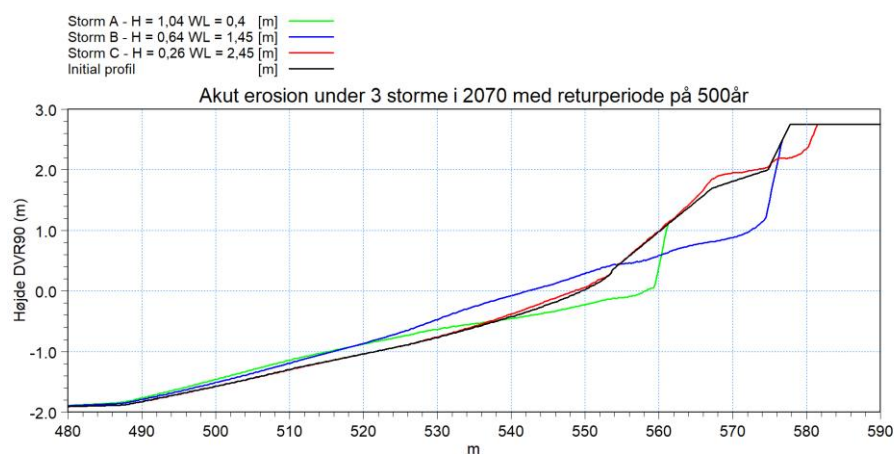
På baggrund af modelresultaterne vurderes det, at dimensioneringen af strandprofilet og klitdiget er tilstrækkelig til at kunne holde til de undersøgte stormscenarier og hændelser i digets levetid på 50 år.



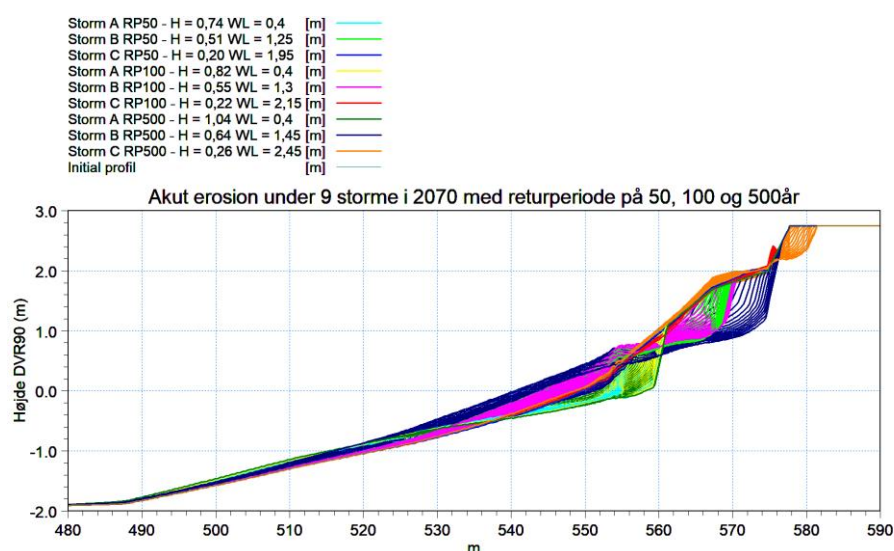
Figur 6.6 Maksimal modelleret akut erosion under stormscenarier med returperiode på 50 år i år 2070, se tabel 8.2.



Figur 6.7 Maksimal modelleret akut erosion under stormscenarier med returperiode på 100 år i år 2070, se tabel 8.2.

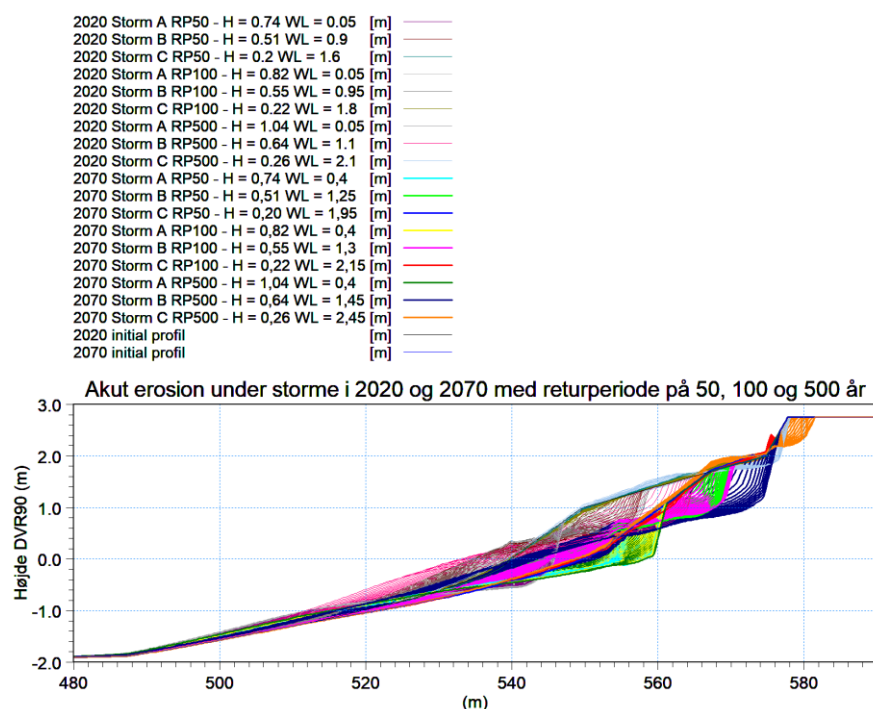


Figur 6.8 Maksimal modelleret akut erosion under stormscenarier med returperiode på 500 år i år 2070, se tabel 8.2.

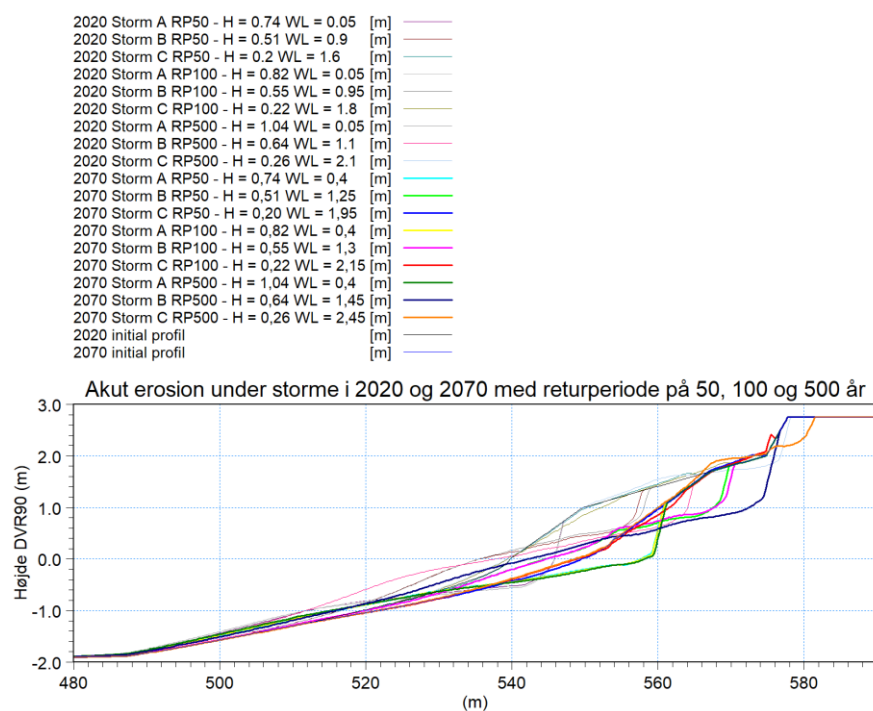


Figur 6.9 Modelleret akut erosion for hver time under stormscenarier med returperiode på 50, 100 og 500 år i år 2070, se tabel 8.2.

Figur 6.10 og Figur 6.11 viser erosionen af strandprofilen for alle modellerede stormscenarier. Figurene viser, at den maksimale vertikale erosion af stranden er i størrelsesordenen 1,5m. Dette har betydning for, hvor stor tykkelsen af strandsandet skal være for at sikre, at erosion ikke medfører, at underliggende sedimenter kommer frem på strandens overflade.



Figur 6.10 Modelleret akut erosion for hver time under stormscenarier med returperiode på 50, 100 og 500 år i år 2020 og 2070, se tabel 8.1 og 8.2.



Figur 6.11 Maksimal modelleret akut erosion under stormscenarier med returperiode på 50, 100 og 500 år i år 2020 og 2070, se tabel 8.1 og 8.2.

Den mest kritiske akutte erosion forekommer, når stranden er eroderet tilbage før en storm og bølgerne herved får bedre muligheder for at erodere i klitdiget.

Figur 6.10 og Figur 6.11 viser, at den maksimale horisontale akutte erosion af klitdiget er omkring 5 m målt ved toppen af diget.

Strandlinjens variabilitet varierer fra fremrykning i den ene ende til tilbagerykning i den anden ende. Derfor vil diget kun være sårbar overfor akut erosion i den ene ende af stranden, medens stranden i den anden ende vil være bredere og derved beskytte mere.

6.2 Geotekniske beregninger for klitdiget

For at kunne vurdere klitdigets nødvendige minimumsbredde og maksimumshældning er der udført en række beregninger med programmet Optum2G for at undersøge digets stabilitet under forskellige situationer. Opsætningen af Optum2G modellen kan ses i Figur 6.12.



Figur 6.12 Optum2G modelopsætning med klitdige

Modellen er opstillet for en række scenarier.

- Topkote af klitdige samt vandstand på venstre side:
 - Kote +2,75m
 - Kote +3,35m
- Hældning af forside og bagside af klitdiget:
 - 1:3
 - 1:4
- Krone-brede:
 - 1m
 - 2m
 - 3m
 - 5m

I alle beregninger er jordniveauet på bagsiden af diget i kote +0,75m og vandstanden er antaget til at være samme niveau som på højre side.

Der er antaget følgende regningsmæssige parametre for mellemkornet strand-sand, se Figur 6.13:

Properties	
Material	
Name	MC Sand
Material Model	Mohr-Coulomb
Color	 click to change
Reducible Strength	Yes
Stiffness	
Parameter Set	A
E (MPa)	35
ν	0.25
Strength	
c (kPa)	0.1
ϕ (°)	35
Flow Rule	
Flow Rule	Nonassociated
ψ_0 (°)	5
Dilation Cap	No
Tension Cut-Off	
Tension Cut-Off	No
Unit weights	
γ_{dry} (kN/m ³)	19
γ_{sat} (kN/m ³)	20
Initial Conditions	
K_0	0.43
Hydraulic Model	
K_x (m/day)	100
K_y (m/day)	100
Advanced Settings	

Figur 6.13 Regningsmæssige parametre for mellemkornet strandsand

Siden der er brugt regningsmæssige parameter i disse beregninger med Optum2G modellen, skal der opnås en sikkerhedsfaktor over 1.2 for at kunne verificere CC2 sikkerhed (middel konsekvensklasse CC2 jf. DS/EN 1997-1 DK NA:2021, Nationalt annekst til Eurocode 7: Geoteknik-Del 1: Gennemregler).

De resulterende sikkerhedsfaktorer beregnet med Optum2G modellen for hvert af de undersøgte tilfælde er præsenteret i Tabel 6.3.

Dige Geometri	Kronebredde	1m	2m	3m	5m	1m	2m
	Slope	1:3	1:3	1:3	1:3	1:4	1:4
	Topkote af dige	+2.75 m	+2.75 m	+2.75 m	+2.75 m	+2.75 m	+2.75 m
	Sikkerhedsfaktor (SF)	1.064	1.081	1.107	1.172	1.443	1.453
	Topkote af dige	+3.35 m	+3.35 m	+3.35 m	+3.35 m	+3.35 m	+3.35 m
	Sikkerhedsfaktor (SF)	1.017	1.035	1.059	1.091	1.398	1.416
	SF difference	-0.047	-0.046	-0.048	-0.081	-0.045	-0.037

Tabel 6.3 Sikkerhedsfaktorer for undersøgte tilfælde

Når topkoten af diget øges fra +2,75 m til +3,35 m, mens resten af digets geometri holdes konstant, observeres der en mindre reduktion af sikkerhedsfaktorerne. Dette skyldes, at vandstanden på digets venstre side er sat til at følge topkoten af diget i modellen. Derfor vil en højre topkote lede til en større difference mellem vandspejlet på venstre og højre side af diget.

På baggrund af modelberegningerne og usikkerheden på de anvendte parametre for mellemkornet strandsand anbefales det at opbygge klitdiget med en hældning på 1:4 på begge sider, da dette væsentligt forøger den opnåede sikkerhedsfaktor.

Desuden anbefales at anvende en kronebredde på minimum 2 m, da strandsand er mobilt som følge vind og rekreativ brug i klitområdet mv. Dertil skal tages højde for den potentielle akutte erosion som beskrevet tidligere.

Samlet set vurderes klitdiget på vestsiden af Assens Næs opbygget af mellemkornet sand til en topkote på mellem +2,75m og +3,35m og at skulle have en kronebredde på 7 til 10m .

7 Udviklingsprojekt for Assens Næs

7.1 Principsnit

Der er udarbejdet en række principskitser og snit i udvalgte områder på Assens Næs, der belyser foreslået kystbeskyttelse og landskabsbearbejdning samt koter vist på Figur 1.7.

Figur 7.1 viser placering af udvalgte kystprofiler, der er benyttet til at beskrive og beregne karakteristiske kysttekniske løsningsprincipper.

Figur 7.1 til Figur 7.11 viser de foreslående løsninger baseret på kommunens ønsker, borgernes kommentarer og rådgivernes forslag, se også Figur 1.7 og (NIRAS-H&K, 2021).

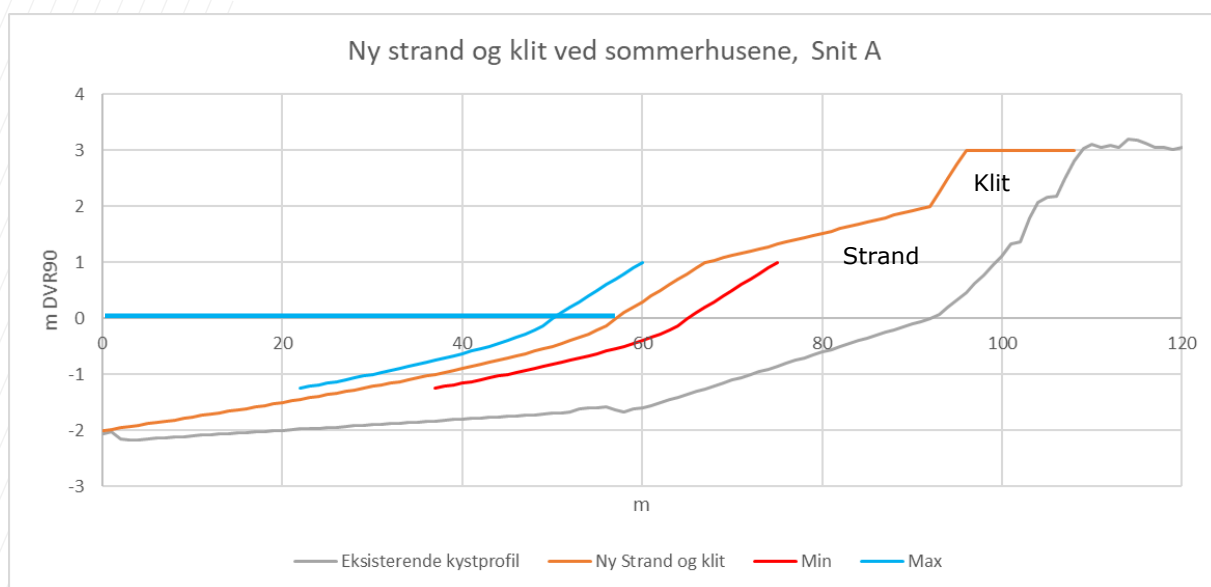


Figur 7.1 Placering af typiske kystprofiler, hvor snittene til principskitserne er lagt.

Røde profiler i Figur 7.2, Figur 7.3, Figur 7.4 og Figur 7.5 indikerer maksimal erosion af stranden beregnet med LITLINE ved hhv. Snit A, B, C og D. Blå profiler indikerer maksimal akkumulation af stranden beregnet med LITLINE.

7.2 Sydlig strand

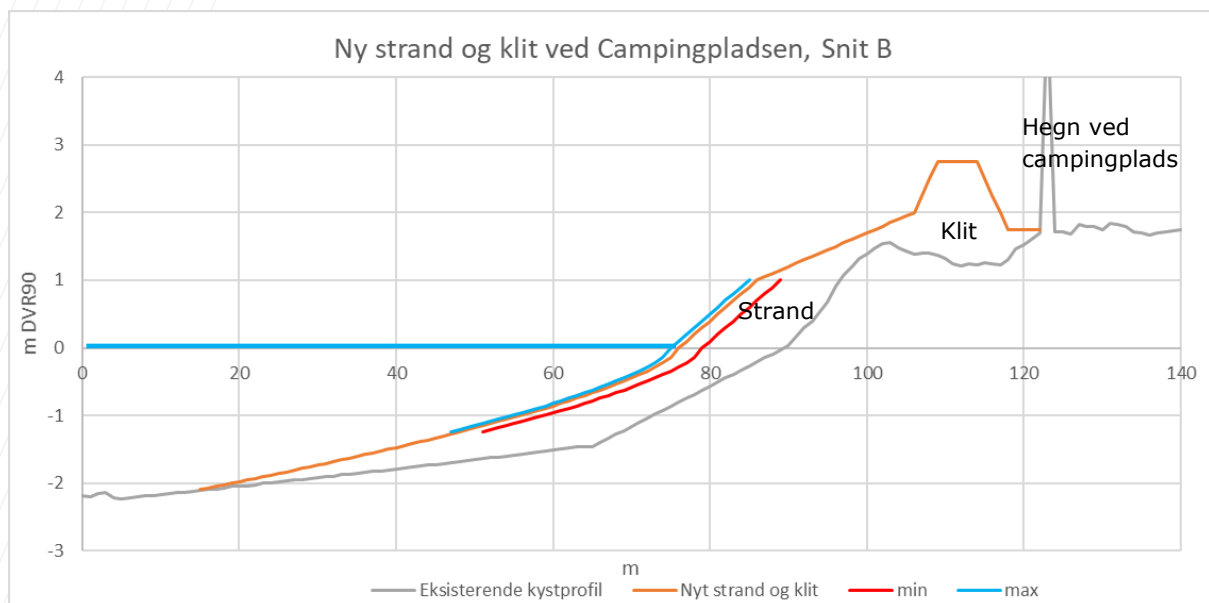
Det foreslås at anlægge en ny og bred sandstrand langs sommerhusene, som kombineres med et klitdige foran eksisterende skrænt, se Snit A Figur 7.2. Klitten er så bred, at det ikke vurderes nødvendigt at anlægge en skråningsbeskyttelse langs skrænten. Forstranden har en hældning på 1:10 op til +1,0m DVR90. Bagstranden mellem kote +1,0m og +2,0m har en hældning på 1:25 og klitten har en hældning på 1:4 op til +3,0m DVR90 svarende til toppen af skrænten. Under vandet har stranden en hældning svarende til ligevægts kystprofil for sand svarende til en middeldkorntørrelse på $d_{50}=0,35\text{mm}$ ud til eksisterende havbund omkring -2,0m DVR90.



Figur 7.2 Ny strand og klit ved sommerhusene, Snit A

Der anlægges en ny og bred sandstrand ud for campingpladsen, som kombineres med et klitdige med en topkote på +2,75m DVR90, se Snit B Figur 7.3. Klitten anlægges med en hældning på 1:4 på forsiden og bagsiden. Bredden af toppen af klitten varierer, men har en minimums bredde på 7 m. Der anlægges en grussti med en bredde på 3 m langs bagsiden af diget. Der anlægges en grøft mellem stien og campingpladsens hegn til håndtering af vand.

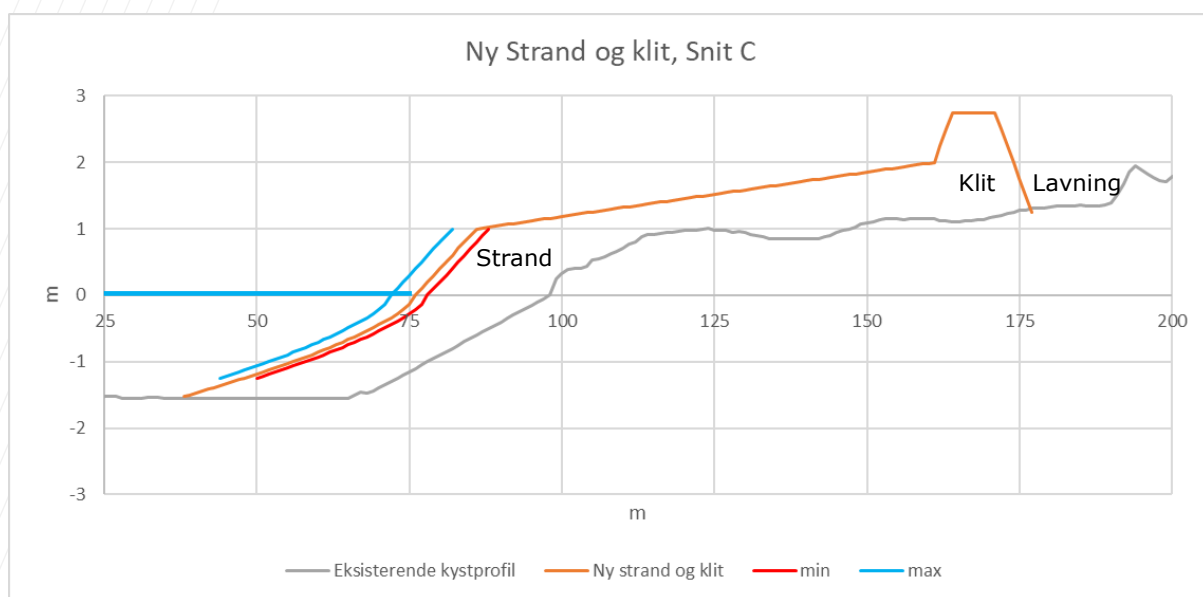
Forstranden har en hældning på 1:10 op til +1,0m DVR90. Bagstranden har en hældning på cirka 1:20 op til +2,0m. Under vandet har stranden en hældning svarende til ligevægts kystprofil for sand svarende til en middeldkorntørrelse på $d_{50}=0,35\text{mm}$ ud til eksisterende havbund omkring -2,0m DVR90.



Figur 7.3 Ny strand og klit ved campingpladsen, Snit B

7.3 Nordlig strand

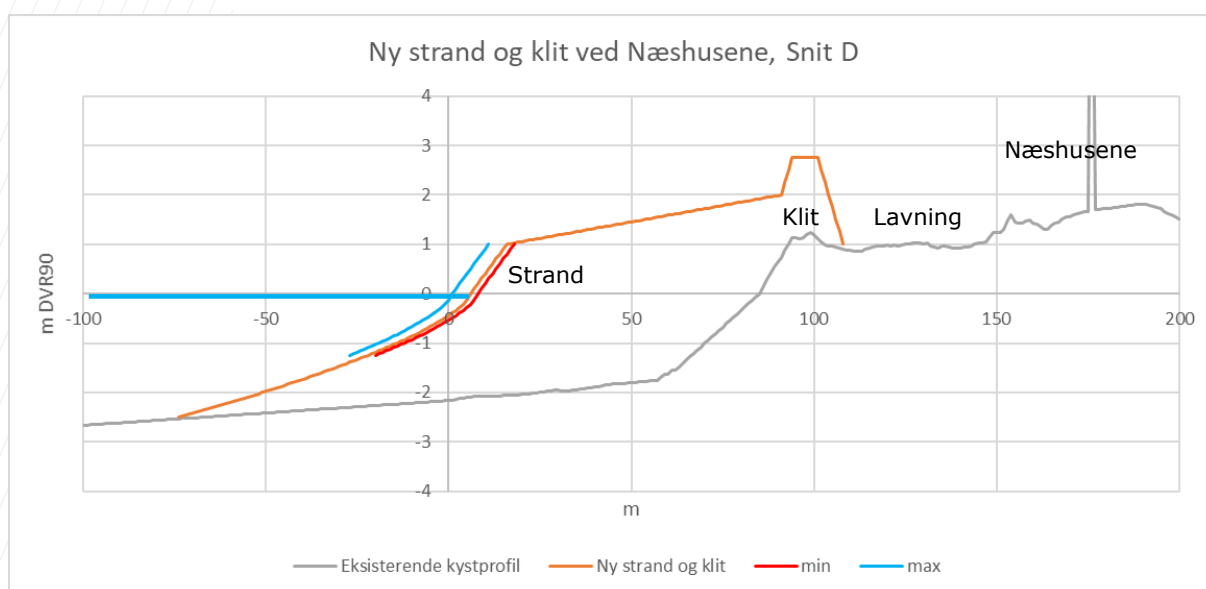
Der anlægges en ny og bred sandstrand ud for restaurant Mågen og de sydlige Næshuse, der kombineres med et klitdige med en topkote på +2,75m DVR90, se Snit C Figur 7.4 og Snit D Figur 7.5.



Figur 7.4 Ny strand og klit ved restaurant Mågen, Snit C

Klitten anlægges med en hældning på 1:4 på for og bagsiden. Bredden af toppen af klitten varierer, men har en minimums bredde på 7 m. Der anlægges en grussti med en bredde på 3 m langs bagsiden af diget. Der anlægges en lavning mellem klitterne og restaurant Mågen / Næshusene til opsamling af vand.

Forstranden har en hældning på 1:10 op til +1,0m DVR90. Bagstranden har en hældning på cirka 1:75 op til +2,0m. Under vandet har stranden en hældning svarende til ligevægts kystprofil for sand svarende til en middelkorntørrelse på $d_{50}=0,35\text{mm}$ ud til eksisterende havbund omkring -2,0m DVR90.



Figur 7.5 Ny strand og klit ved Næshusene, Snit D

7.4 Forlande

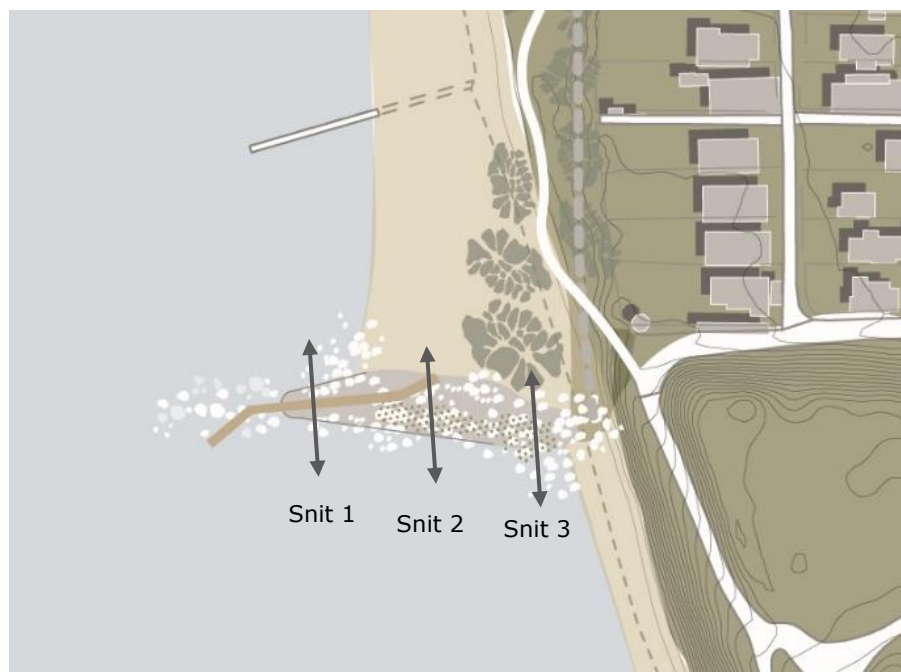
Figur 7.7, Figur 7.8 og Figur 7.9 viser karakteristiske snit af de foreslåede forlande, der stabiliserer sandstrandene.

Princip for placering af Snit 1, 2 og 3 ved forlande er vist på Figur 7.6 eksemplificeret ved det sydligste forland. Snit anvendes efter samme principper ved øvrige forlande.

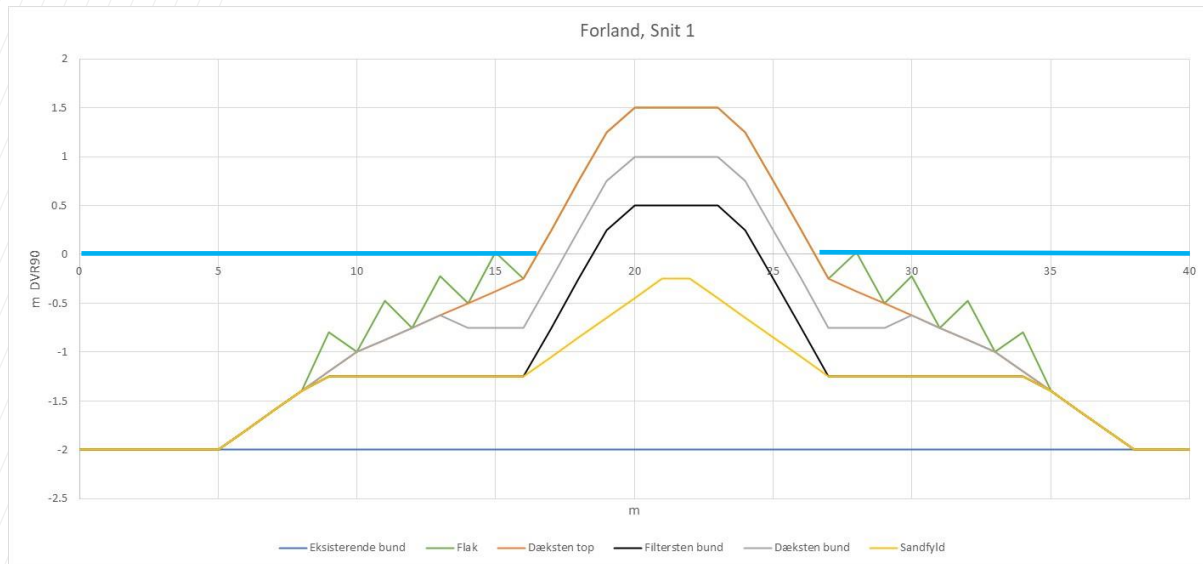
Figur 7.7 viser den yderste del af forlandet med et bredt stenrev foran og på begge sider. Revet går 20 m længere ud i havet foran platformen/forlandet mod vest.

Figur 7.8 viser et snit af forlandet i det tilfælde, hvor der er sandstrand på den ene side og stenrev og flak på den anden side.

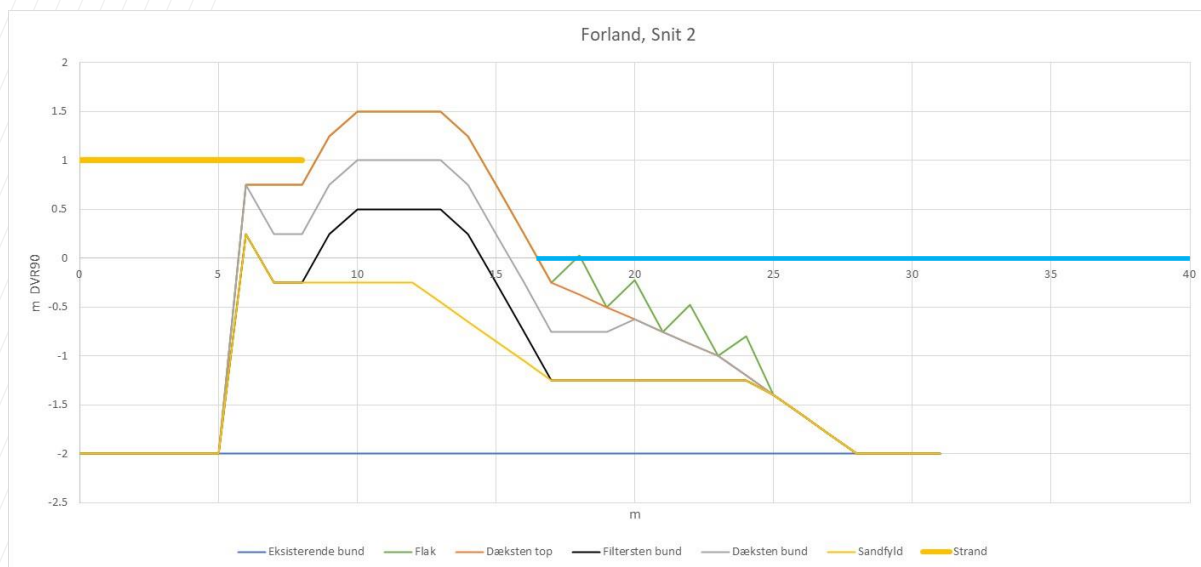
Figur 7.9 viser den inderste del af forlandet, hvor det foreslås at anlægge en ralstrand på den ene side og klitter på den anden side.



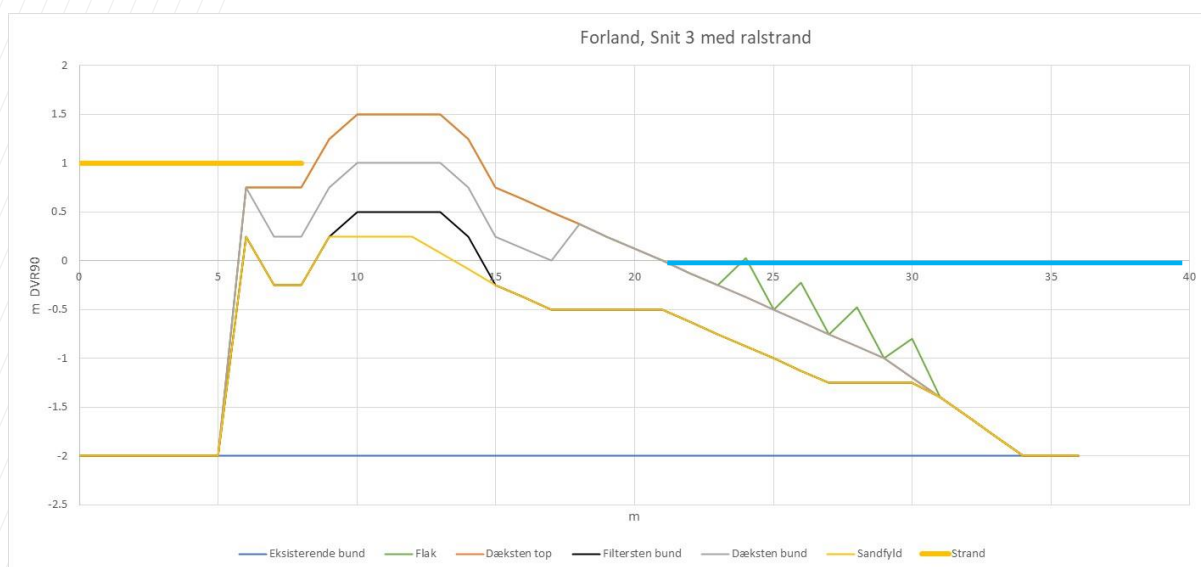
Figur 7.6 Princip for placering af Snit 1, 2 og 3 af beskyttelse ved forlande.



Figur 7.7 Forland med stenflak på begge sider. Bredden af toppen af konstruktionen kan varieres



Figur 7.8 Forland med stenflak på ydersiden og sandstrand på bagsiden



Figur 7.9 Forland med stenflak og ralstrand på ydersiden og sandstrand på bagsiden

Konstruktionerne ved forlandene har en hældning på 1:2 ned til cirka -0.25m. Rev og flak har en hældning på 1:8 fra cirka -0.25m ud til -1.0m og herunder 1:5.

Der er vist spredte dæksten på stenflak, rev og ralstrand for at stabilisere ralen.

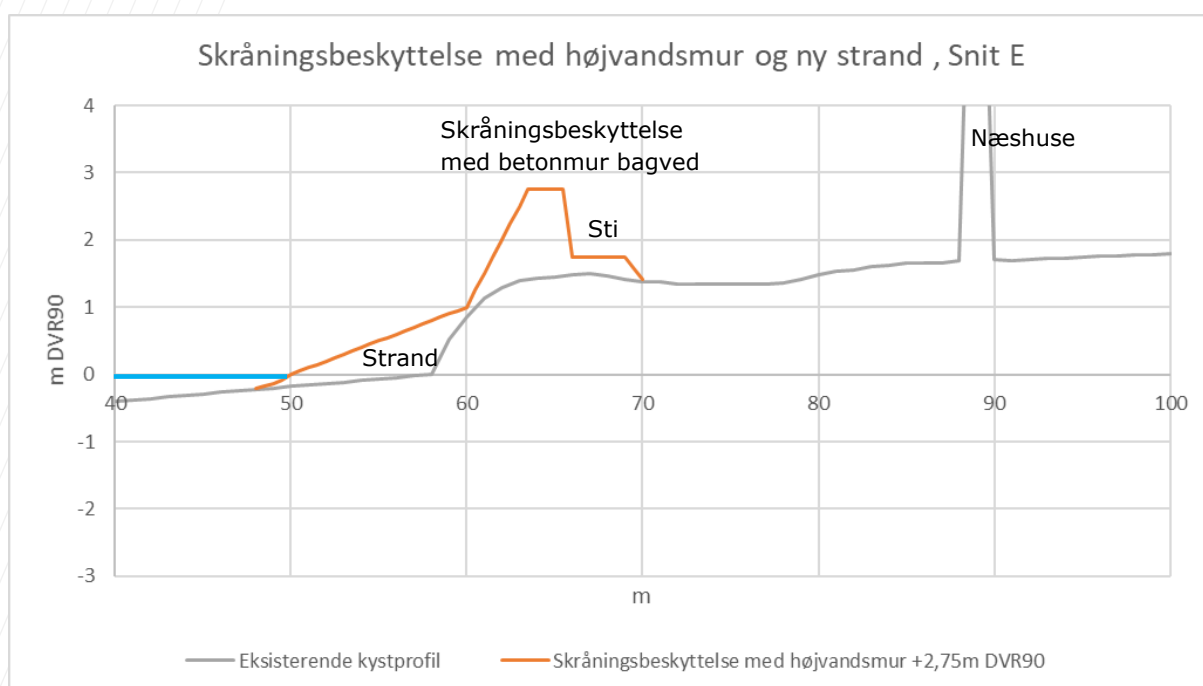
Ralstranden kan begynde i forskellige højder langs stenkastningen foran stien fra +1,5m DVR90 og nedefter efterhånden som stenbeskyttelsen bliver dybere.

I størrelsesordenen halvdelen af det ral der skal anvendes, foreslås opgravet langs eksisterende strand og genbruges i forlande til filterlag, ralbund, flak, rev og ralstrande.

Der er medregnet en 3 m bred sti af beton langs alle tværsnit af forlandene for at beskytte mod bølgeoverskyl og for at give adgang langs toppen af konstruktionerne.

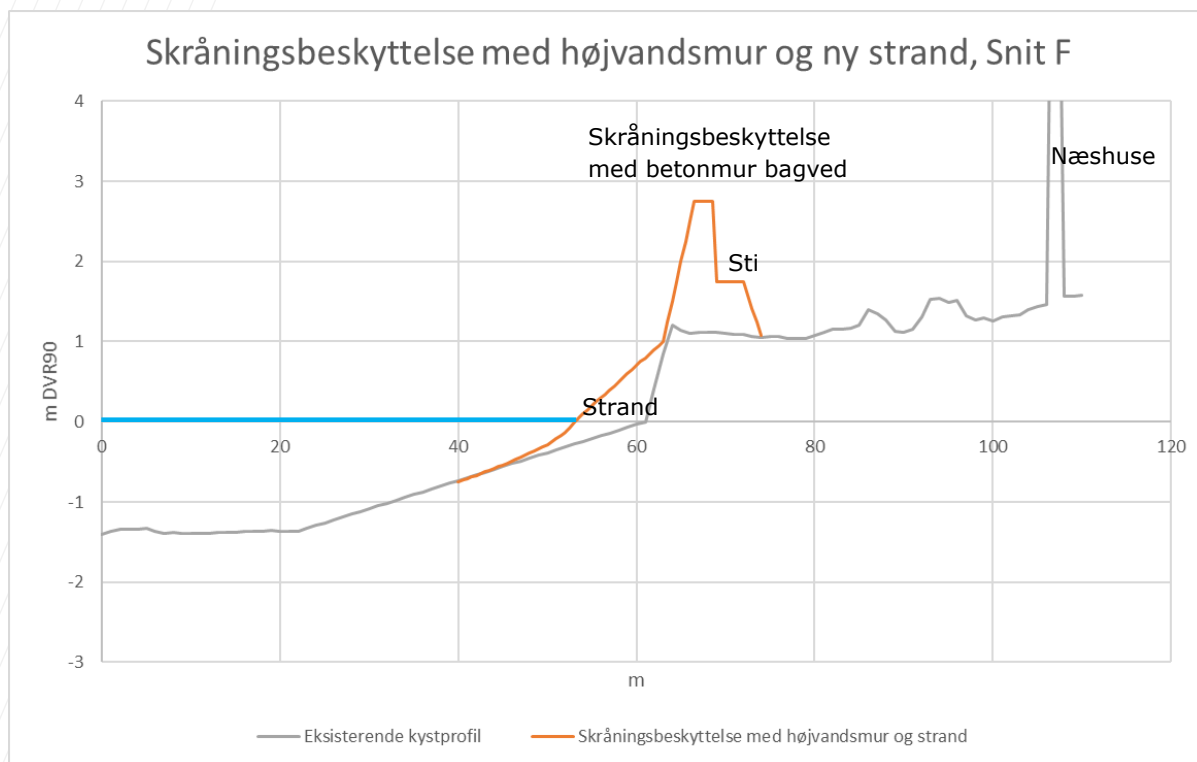
7.5 Nordlige Næshuse

Ved den nordlige del af Næshusene foreslås det at forhøje eksisterende skråningsbeskyttelse op til +2,75m DVR90 med en hældning på 1:2, se Snit E Figur 7.10 og Snit F Figur 7.11. Der anlægges en højvandsmur ligeledes i kote +2,75m DVR90 1 m over terræn. Grusstien forhøjes op til kote +1,75m DVR90 med en bredde på 3 m svarende til ca. 0,25 m og 0,70 m over eksisterende terræn i hhv. Snit E og F.



Figur 7.10 Skråningsbeskyttelse med højvandsmur, Snit E

Det foreslås desuden at anlægge en smal strand foran skråningsbeskyttelsen, dels for at reducere bølgepåvirkningen af skråningsbeskyttelsen og del for at øge den rekreative værdi af strækningen. Forstranden har en hældning på 1:10 op til +1,0m DVR90. Under vandet har stranden en hældning svarende til ligevægts kystprofilet for sand svarende til en middeldkorntørrelse på $d_{50}=0,35\text{mm}$ ud til eksisterende havbund omkring -0,75 m DVR90.



Figur 7.11 Skråningsbeskyttelse med højvandsmur, Snit F

7.6 Marinaen

Højvandsbeskyttelsen langs marinaen på bagsiden af Næsset er kun skitseret på et overordnet plan, da den endelige løsning afhænger af en række uafklarede forhold og herunder specielt, om der skal etableres en ydre beskyttelse med højvandsport i indsejlingen til Assens Havn, se Figur 7.12.

Skråningsbeskyttelsen foreslås udbygget og forhøjet til +2,0m DVR90 langs Søsportscenteret med en hældning på 1:1,5. Der anlægges en højvandsmur i kote +2,75m DVR90. Stien bagved forhøjes op til kote +1,75m DVR90 svarende til ca. 0,5 m over eksisterende terræn med en bredde på 6-7 m ind mod bygninger. Der benyttes skot ved eksisterende ramper.

Som en mulighed forslås det at anlægge en hævet sti til kote +2m DVR90 langs havnebassinet, evt. på sigt kombineret med højvandsmur til kote +2,75m, Forslag A Figur 7.12. Løsning kræver en del plads, men er en grøn løsning, der kan bygges videre på i fremtiden. Der skal være længere ramper ned til bådbroerne (evt. fremtidige flydebroer) og ned til parkeringspladsen bagved. Løsning med dige kombineret med mur vil reducere længde af ramper, men vil resultere i en række porte, der skal lukkes ved højvande (Min. 3 porte).

Som et alternativ kan eksisterende promenade langs havnebassinet bevares og diget i stedet opbygges på landsiden af stien. Denne løsning vil inddrage den yderste række vinter-oplagspladser til både. Løsningen vil dog afhjælpe problemet med stejle ramper ned til bådbroerne. Der vil så i stedet skulle anlægges et par ramper skråt hen over diget bag stien.



Figur 7.12 Forslag til højvandsbeskyttelse af indersiden af Assens Næs

En anden løsning er at anlægge en betonmur eller spuns langs østsiden af Næsvej mellem vejen og bådopmagasineringspladsen, Forslag B Figur 7.12. Løsningen beskytter ikke området på østsiden af muren mod højvande og oversvømmelse.

Der kan også anlægges en betonmur eller spuns langs vestsiden af Næsvej ind mod campingpladsen og Næshusene med en række højvandsporte, Forslag C Figur 7.12. Løsningen beskytter dog ikke området på østsiden af muren mod oversvømmelse. Desuden beskytter løsningen ikke Næsvej. Det vil således ikke være muligt at få adgang til Næsset under højvande, hvor havnearealerne og vejen så er oversvømmet. Løsning vil forudsætte en række porte, der skal betjenes af beredskabet.

Det er generelt muligt at understøtte ovenstående løsninger med terrænregulering af området mellem vejen og havnebassinet. Det vil være en god løsning på sigt i forhold til stigende grundvand. Terrænregulering kan dog blive en udfordring i forhold til at kunne transportere bådene mellem flere niveauer.

NIRAS anbefaler generelt at minimere antallet af højvandsporte, som skal lukkes af beredskabet i forbindelse med stormflod.

Det anbefales desuden at benytte naturbaserede højvandsbeskyttelse med terrænreguleringer i form af større områder eller i form af diger. Sådanne løsninger kan der bygges videre på i fremtiden.

Der er dog ofte pladsmangel som medfører, at man vælger mere kortsigtede løsninger, som højvandsmurer med højvandsporte. Sådanne løsninger er mere beredskabskrævende og der kan ikke bygges videre på anlæggene i fremtiden.

8 Vedligeholdelse af højvandsbeskyttelse

Strandene langs Assens Næs er skitseprojekteret ud fra en antagelse om, at forlandene er store nok til at holde på sandet.

Der kan dog forekomme lange perioder med bølger fra en retning, som medfører, at der alligevel vil være et tab af sand fra strandene. Desuden kan der på sigt være behov for at genopbygge mindre dele af klitterne efter meget kraftige storme for at opretholde sikkerheden mod akut erosion. På lidt længere sigt kan der også opstå behov for genfodring med sand for at imødekomme havspejlsstigningen. Det vurderes, at projektet vil kunne vedligeholdes med mindre vedligeholdelsesfodringer med et interval på 10-20 år.

Der benyttes ral til at skabe rev, flak og ralstrande ved forlandene. Ralformationerne er ikke helt stabile og det må derfor forventes, at der skal foretages mindre genopfyldning med ral med 5 til 10 års mellemrum udsatte steder.

Det er et velkendt problem, at der kan forekomme aflejring af tang langs kysten ved Assens. Forlandene er designet således, at udstrækningen af hjørner er reduceret. Det forventes dog, at der alligevel kan opstå behov for at rense strandene for tang nogle gange om året for at opretholde optimale rekreative forhold langs strandene.

9 Referencer

DMI, 2018. *Fremtidens vandstand omkring Danmark*. [Online]

Available at: <http://www.dmi.dk/laer-om/temaer/hav/fremtidens-vandstand/>

IPCC, 2019. *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*, s.l.: s.n.

Kystdirektoratet, 2018. *Højvandsstatistikker 2017*, s.l.: s.n.

Kystdirektoratet, 2018. *Landbevægelser i Danmark*. [Online]

Available at: <http://kysterne.kyst.dk/landbevaelser-i-danmark.html>

Mangor, K., 2017. *Shoreline management guidelines*, s.l.: DHI.

NIRAS-H&K, 2021. *Byen og Bæltet - Udviklingsprojekt for naturbaseret højvandsbeskyttelse af Assens*, s.l.: s.n.

NIRAS-H&K, 2021. *Byen og Bæltet - Udviklingsprojekt for naturbaseret højvandsbeskyttelse af Assens - Kystteknisk redegørelse*, s.l.: s.n.

Realdania, Cowi, 2017. *Byernes udfordringer med havvandsstigning og stormflod*, s.l.: s.n.