

Hirtshals Forlænget Vestmole

Effekt på sandtransport og morfologi

Rapport

29-8-2025

The logo for the Port of Hirtshals features a stylized four-pointed star or cross shape, with each point in a different color: blue, green, yellow, and red.

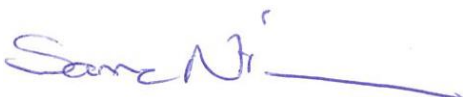
**PORT OF
HIRTSHALS**
HIRTSHALS HAVN
Udarbejdet for Hirtshals Havn

Hirtshals Forlænget Vestmole

Effekt på sandtransport og morfologi

Rapport

Udarbejdet for: Hirtshals Havn
Repræsenteret ved: Niels Kiersgaard

Godkendt af


Kontaktperson: Asger Bendix Hansen, abh@dhigroup.com +45 22855913
Projektleder: Asger Bendix Hansen
Kvalitetsansvarlig: Kasper Kærgaard
Udarbejdet af: Asger Bendix Hansen
Projektnr.: 11832877
Godkendt af: Sanne Lina Niemann
Godkendelsesdato: 29-08-2025
Revision: Final 2.0
Klassifikation: **Begrænset:** Dette dokument er tilgængeligt for personer ansat i DHI-koncernen men må ikke deles med andre udenfor DHI-koncernen uden kundens forhåndsgodkendelse.

Filnavn: DHI2025-HirtshalsForlængetVestmole.docx

Indholdsfortegnelse

1	Indledning.....	5
2	Sammenfatning.....	6
2.1	Effekten af moleforlængelsen på sedimentbudget.....	6
2.2	Effekten af havneudvidelsen på kyst- og vegetationslinje	6
3	Sedimentbudget for den eksisterende havn	7
4	Ændringer omkring havnen	9
4.1	Beregningsmodel.....	9
4.2	Ændringer i sandtransport og morfologi.....	9
4.3	Tidsskalaer for opbygning af havbunden omkring den fremtidige havn	15
5	Ændringer langs kysten øst for havnen	16
5.1	Beregningsmodel.....	16
5.2	Analyse af ændringer	16
6	Konklusion	19
6.1	Effekt af moleforlængelsen på sedimentbudgettet.....	19
6.2	Effekt af moleforlængelsen på kysten og vegetationslinjen øst for havnen.....	19
7	Referencer	21

Figurer

Figur 3-1	Sedimentbudget for området omkring Hirtshals Havn (kilde: /1/).....	8
Figur 4-1	Nettotransport over den simulerede 1-års periode	10
Figur 4-2	Fordelingen af nettotransport over linje 1.	11
Figur 4-3	Fordelingen af nettotransport over linje 2.	12
Figur 4-4	Fordelingen af nettotransport over linje 3.	13
Figur 4-5	Fordelingen af nettotransport over linje 4.	13
Figur 4-6	Fordelingen af nettotransport over linje 5.	14
Figur 4-7	Fordelingen af nettotransport over linje 6.	14
Figur 4-8	Fordelingen af nettotransport over linje 7.	15
Figur 5-1	Linjer anvendt til analysen af effekt på kysten øst for havnen.....	17
Figur 5-2	Nettotransporten over beregningsåret (2021) for linje 7.....	18

Tabeller

Tabel 4-1	Nettotransport over udvalgte linjestykker for eksisterende og udvidede havn samt ændringen (ny-eksisterende)	10
Tabel 5-1	Netto sedimenttransport over udvalgte linjer for den eksisterende og nye havn.	17
Tabel 6-1	Opsummering af effekten af moleforlængelsen på sedimentbudgettet og kystlinjen / vegetationslinjen.....	19

Bilag

Bilag A	Transport igennem linjer
----------------	---------------------------------

1 Indledning

Hirtshals Havn planlægger at forlænge den eksisterende vestmole for at forbedre indsejlingsforholdene til havnen. I den forbindelse har havnen bedt DHI A/S om at beregne effekten af den forlængede vestmole på sedimentbudgettet omkring havnen og herunder effekten på kysten øst for havnen.

De undersøgelser, der præsenteres i denne rapport, er udført i forlængelse af et tidligere studie /1/ hvori DHI etablerede et opdateret sedimentbudget for området omkring havnen samt vurderede effekten af en større havneudvidelse på dette. Vurderingen blev udført på basis af simuleringer af sandtransport og bundændringer over en 1-årsperiode. Nærværende studie er udført som en forlængelse af det tidligere studie /1/ og benytter således samme metoder og beregningsmodeller, blot med en ændret udformning af den fremtidige havn.

2 Sammenfatning

2.1 Effekten af moleforlængelsen på sedimentbudget

Beregningerne af effekten af moleforlængelsen på sedimentbudgettet indikerer, at moleforlængelsen på sigt ikke vil påvirke erosionen nedstrøms havnen såfremt den hidtidige bypass / klappingspraksis, hvor en stor del af det oprensede sediment klappes på den kystnære bypass plads øst for havnen, opretholdes efter moleforlængelsen.

Både vest for havnen og langs den østlige bølgebryder vil havbunden dog skulle tilpasse sig de nye forhold forårsaget af moleforlængelsen. Der vil således være en overgangsperiode fra udvidelsen implementeres til en ny ligevægt har indstillet sig. Denne overgangsperiode forventes at strække sig over mere end 30 år, hvor morfologien (havbunden) omkring havnen gradvist tilpasser sig den nye havneudformning. I tilpasningsperioden vil erosionen i området øst for havnen øges i forhold til de nuværende forhold idet tilførslen af sediment fra vest midlertidigt mindskes.

Tidligere studier har estimeret tidsskalaen for hvornår morfologiske ændringer omkring havnen (som følge af havneudvidelser eller ændringer i praksis for det oprensede sediment) kan ses på kysten 4 km øst for havnen er omkring 30 år. Da havnekonstruktionerne og praksis for håndtering af oprenset sediment har ændret sig oftere end hvert 30. år, er det i praksis meget svært at se en direkte sammenhæng mellem de forskellige udvidelser / ændringer og udviklingen af kysten øst for havnen. Tilsvarende forventes det at blive svært på kort sigt at observere effekten af den foreslåede forlængelse af vestmolen.

2.2 Effekten af havneudvidelsen på kyst- og vegetationslinje

Den øgede erosion, som moleforlængelsen forårsager, i området øst for havnen vil i tilpasningsperioden ca. svare til den historiske erosion i området, dvs. omkring 1 m/år og vil dermed betyde en samlet erosion på omkring 2 m/år i området mellem 1 km og 4 km øst for den østlige bølgebryder. For at modvirke den øgede erosion anbefales det at by-passe hele sedimentvolumenet, der oprenses fra havneindsejlingen. Det meste kan klappes på den eksisterende bypass plads, men det anbefales at klappe en delmængde på omkring 100,000 m³/år på lavere vanddybde så det kan modvirke erosionen på kysten og vegetationslinjen.

Såfremt det i en periode ønskes at nyttiggøre en delmængde af det oprensede sediment, anbefales det at der som minimum klappes 100,000 m³/år kystnært for at modvirke erosionen på kystlinjen og vegetationslinjen.

Den nyttiggjorte mængde vil føre til øget erosion øst for havnen, men udelukkende på større vanddybder (større end 7 m), hvor der er masser af sediment. Det vurderes dermed at store mængder sand kan nyttiggøres uden konsekvenser for kysten og vegetationslinjen så længe den kystnære sandfodring på omkring 100,000 m³/år opretholdes, eventuelt kan den kystnære sandfodring øges i perioder hvor der nyttiggøres materiale.

3 Sedimentbudget for den eksisterende havn

Vurderinger af den forlængede vestmoles påvirkning på sandtransport og morfologi udføres med udgangspunkt i det nyeste sedimentbudget for området omkring havnen, der blev opstillet i /1/. I dette afsnit præsenteres sedimentbudgettet kort. Se /1/ for en fuld beskrivelse af sedimentbudgettet og hvordan dette er opstillet.

Figur 3-1 viser et geografisk overblik over sedimentbudgettet. Budgettet betragtes som repræsentativt for perioden fra omkring 1980 frem til 2019, hvor størstedelen af sedimentet, der blev gravet op af sejlrenden, blev klappet på klappladsen.

Budgettet er opstillet med den grundantagelse at den gennemsnitlige årlige tilførsel af sand til havnen fra kysten længere mod sydvest er på 900,000 m³. jf. /2/. Dette tal er estimeret af Kystdirektoratet /2/ baseret på den observerede erosion længere mod syd.

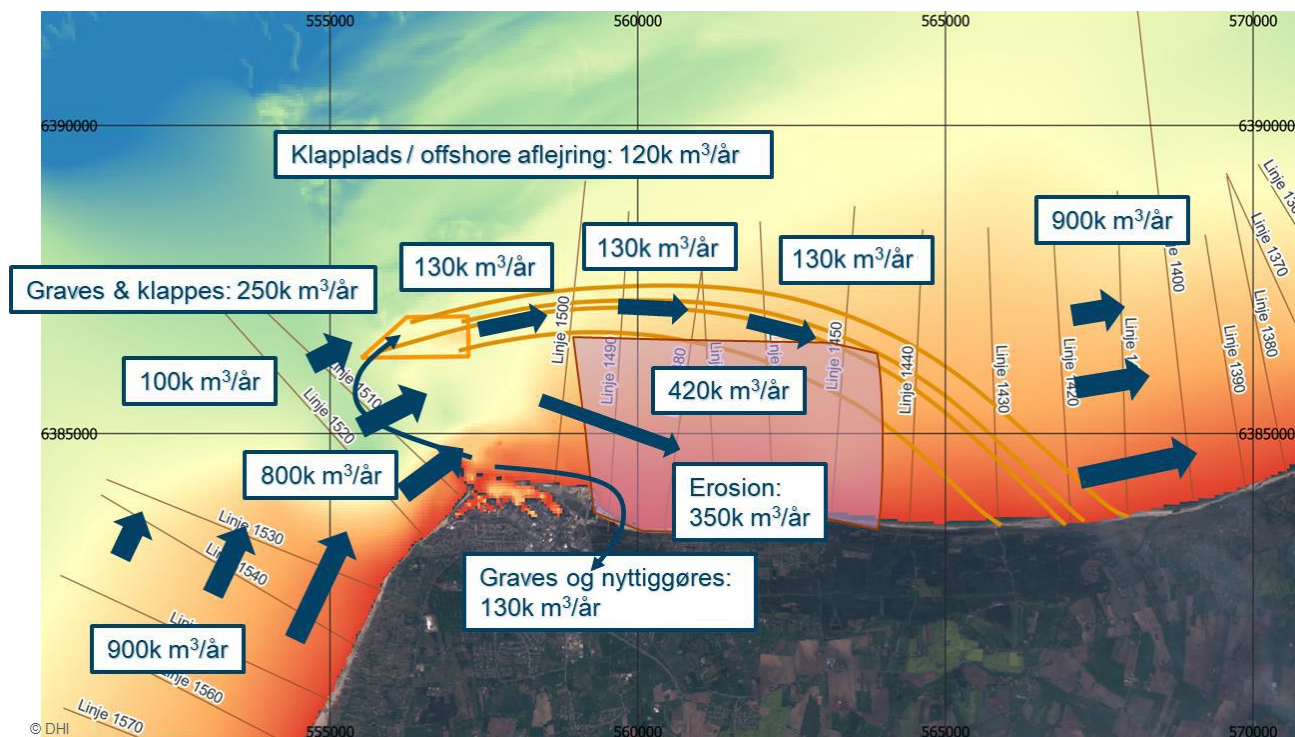
Undersøgelserne udført i /1/ har vist at ud af de 900,000 m³/år, så passerer 420,000 forbi havnen indenfor klappladsen. Derudover ender ca. 380,000 m³/år i sejlrenden, hvor der graves materiale op for at sikre besejlingsdybden til havnen, og endelig aflejres der omkring 100,000 m³/år omkring den gamle klapplads.

Et stykke øst for havnen vurderes transporten at være omkring 900,000 m³/år. Denne transport fødes af tre bidrag;

- ca. 130,000 m³/år der transporteres forbi havnen fra området tæt på klappladsen
- ca. 420,000 m³/år der transporteres kystnært forbi havnen
- ca. 350,000 m³/år der eroderes fra kysten 0-5 km øst for havnen.

Det vurderes at det kun er ca. 35,000 m³/år af det eroderede volumen, der kan relateres direkte til tilbagerykning af kysten (ca. 1 m/år i gennemsnit). Resten af det eroderede volumen relateres til en gradvis sænkning af bundniveauerne et stykke fra kysten.

Erosionen øst for havnen modvirkes delvist ved årligt at nyttiggøre 130,000 m³ af det sand, der oprenses fra indsejlingen.



Figur 3-1 Sedimentbudget for området omkring Hirtshals Havn (kilde: /1/)
 Klapppladsen er angivet som en orange polygon nord for havnen.
 Den viste figur er tilpasset fra /1/ for at rette op på en trykfejl i den oprindelige figur.

4 Ændringer omkring havnen

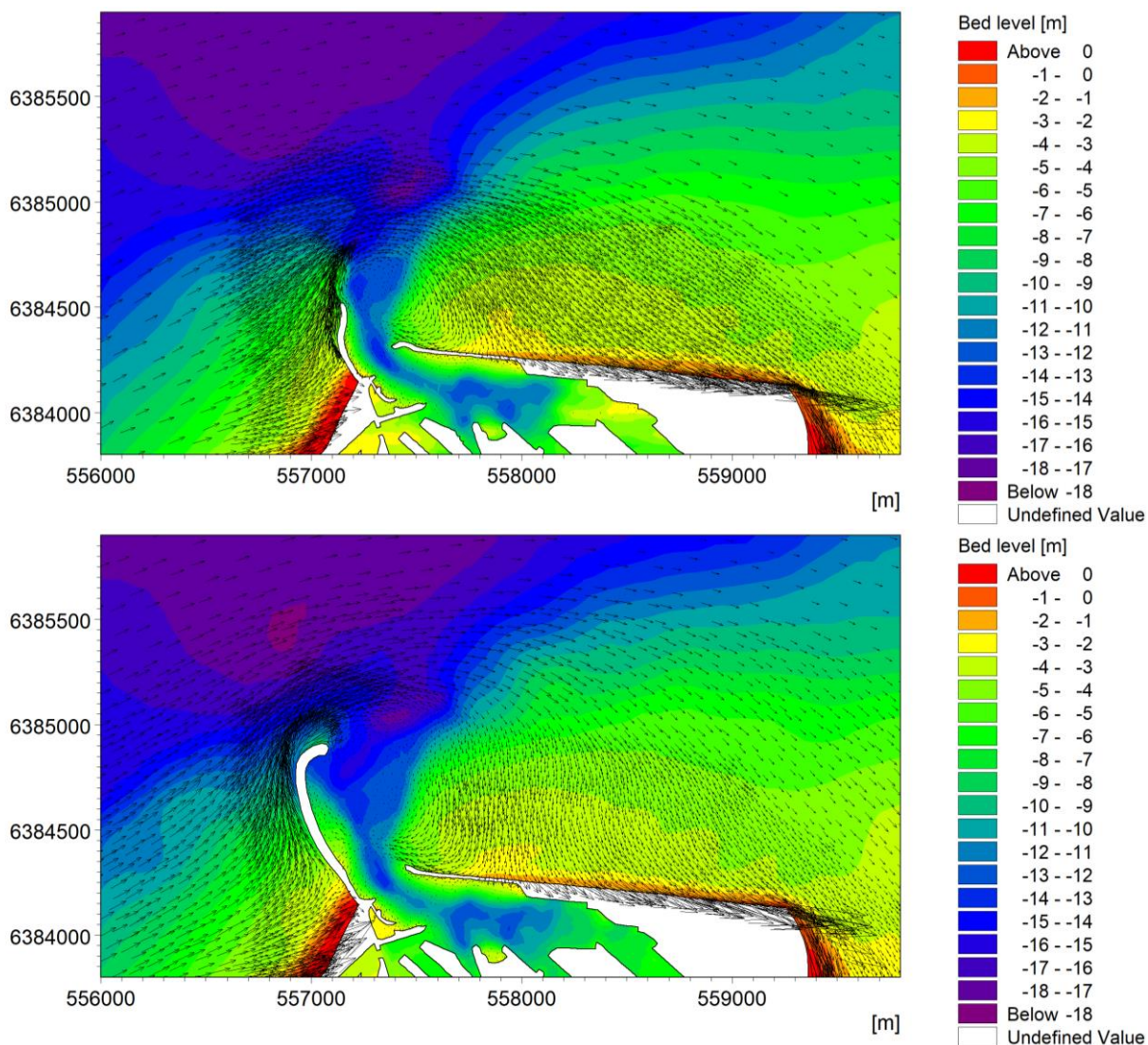
4.1 Beregningsmodel

Sandtransporten omkring havnen er beregnet med den samme model som blev anvendt i det tidligere DHI studie /1/. Denne model beregner bølge- og strømforholdene omkring havnen samt den resulterende sandtransport og bundændringer over en periode på 1 år (kalenderåret 2021).

4.2 Ændringer i sandtransport og morfologi

Den akkumulerede sandtransport i området omkring havnen er vist i Figur 4-1 for både den eksisterende og fremtidige havn. Det generelle mønster for transporten er meget ens for de to udformninger af havnen. Dog gør den forlængede vestmole, at transporten forbi vestmolen foregår længere fra land og i et smallere område ud for molen. I læ-området øst for den forlængede vestmole er transporten generelt reduceret og har en mere sydlig retning end i den nuværende situation.

For at kunne kvantificere ændringerne i sandtransporten er sandtransporten gennem 7 kontrollinjer beregnet for begge udformninger af havnen. Den samlede transport igennem disse linjer er opgjort i Tabel 4-1 for begge udformninger af havnen. I det følgende analyseres transporten igennem de enkelte linjer.



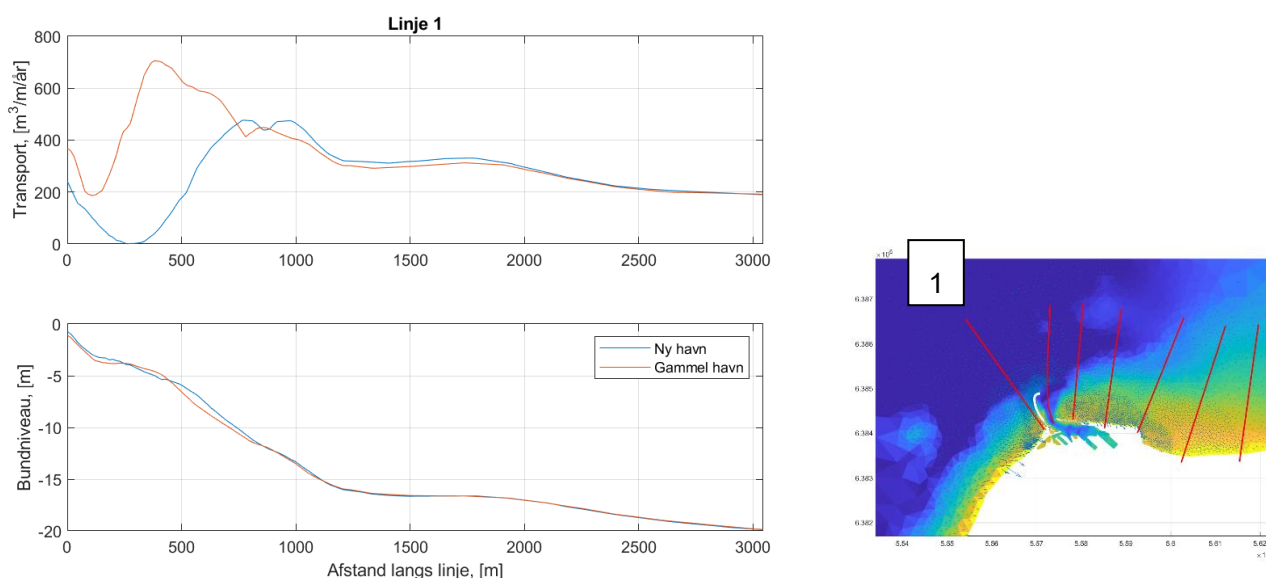
Figur 4-1 **Nettotransport over den simulerede 1-års periode**
 Øverst: Eksisterende havn.
 Nederst: Fremtidig havn.

Tabel 4-1 **Nettotransport over udvalgte linjestykker for eksisterende og udvidede havn samt ændringen (ny-eksisterende)**

Linje	Eksisterende havn	Fremtidig havn	Ændring
1	1,017,000	807,000	-210,000 (-21%)
2	564,000	594,000	30,000 (5%)
3	740,000	551,000	-189,000 (-26%)
4	746,000	514,000	-232,000 (-31%)
5	632,000	495,000	-137,000 (-22%)
6	627,000	544,000	-83,000 (-13%)
7	531,000	485,000	-46,000 (-9%)

Linje 1

I den nuværende situation foregår en stor del af transporten af sand til havnen tæt på kysten umiddelbart vest for havnen (Figur 4-2). Hovedparten af denne transport vil blive blokeret af den forlængede vestmole. Eftersom tilførslen af sand fra kysten længere mod syd vil være uændret vil blokeringen af den kystnære transport give anledning til aflejring af sand i hjørnet vest for havnen og dermed også en fremrykning af kysten. Denne aflejring vil fortsætte indtil kysten er rykket så langt frem at den kystnære transport er af samme størrelse som i den nuværende situation.

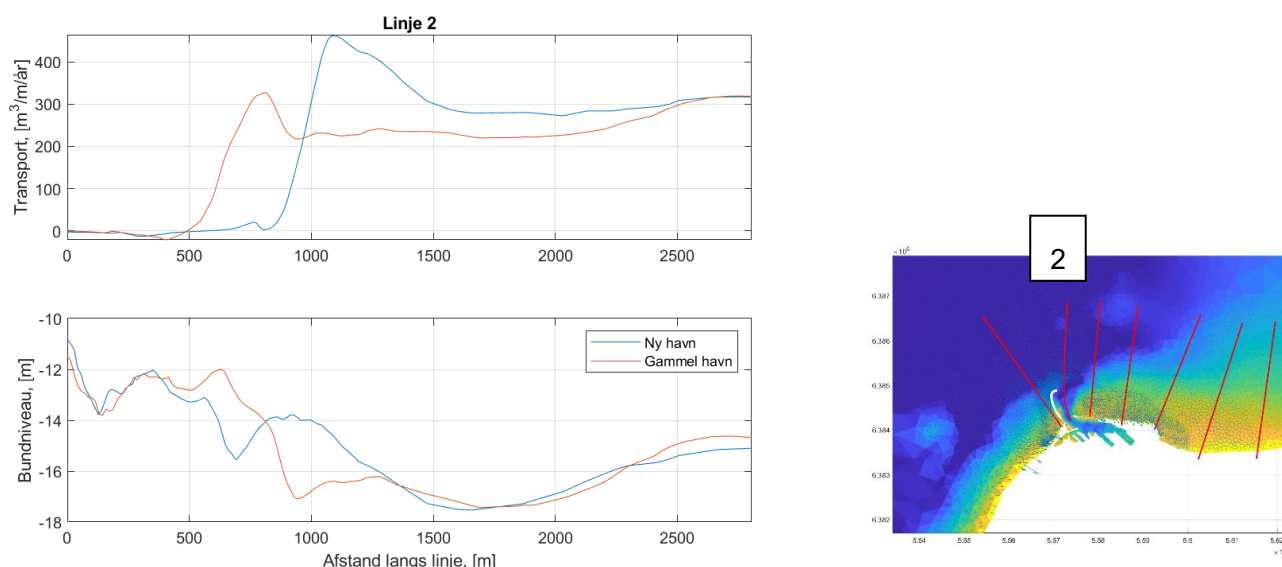


Figur 4-2 Fordelingen af nettotransport over linje 1.

Linje 2

Transporten igennem linje 2 repræsenterer transporten forbi indsejlingen (se Figur 4-3). Som vist i Tabel 4-1 er den beregnede transport igennem linjen en anelse større i den fremtidige situation end i den nuværende. Forskellen er dog så lille at den faktiske bypass forbi indsejlingen forventes at være uændret. Derfor kan det på sigt forventes at oprensningmængderne i havneindsejlingen vil være ca. de samme med den forlængede vestmole som for den eksisterende havn.

Fordi transporten forbi indsejlingen vil være uændret men tilførslen af sand til området vil blive reduceret må det forventes at der kan forekomme midlertidig erosion i området vest for indsejlingen. Denne tendens til erosion vil sandsynligvis blive vendt til aflejring når den kystnære transport vest for havnen er blevet genetableret.



Figur 4-3 Fordelingen af nettotransport over linje 2.

Bemærk at placeringen af linje 2 er en anelse forskellig i de to udformninger af havnen fordi udformningerne af indsejlingsområdet er forskellige. Dette bevirker at bundniveauerne langs linjen er forskellig i de to udformninger.

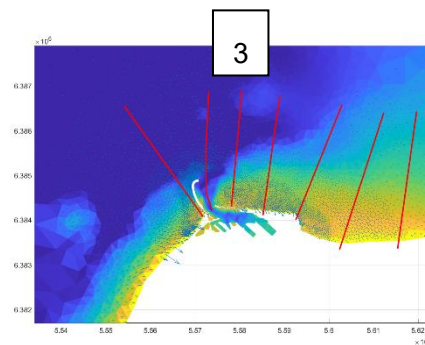
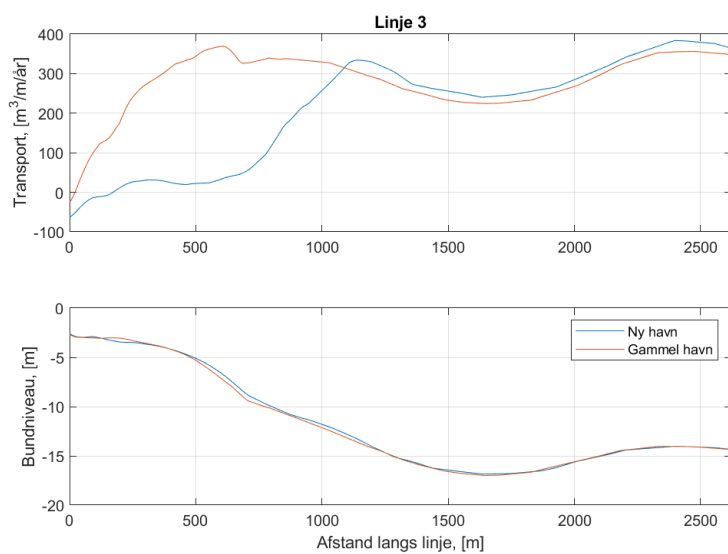
Linje 3, 4 og 5

Linje 3 til 5 beskriver transporten langs nordmolen (se Figur 4-4, Figur 4-5 og Figur 4-6). I alle 3 profiler reduceres transporten markant på grund af den øgede læ-effekt fra den forlængede vestmole (ses for x-værdier 0-1000 m i profil plots). Reduktionen i transporten aftager med afstanden til vestmolen således at transporten igennem Linje 3 og 4 reduceres med omkring 200,000 m³/år medens reduktionen i Linje 5 kun er på omkring 140,000 m³/år.

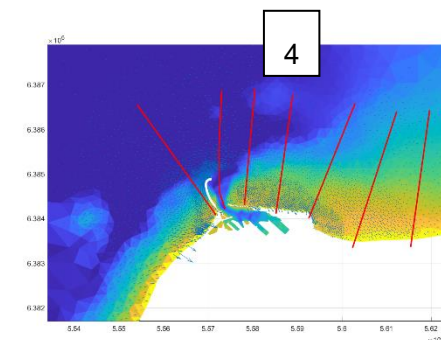
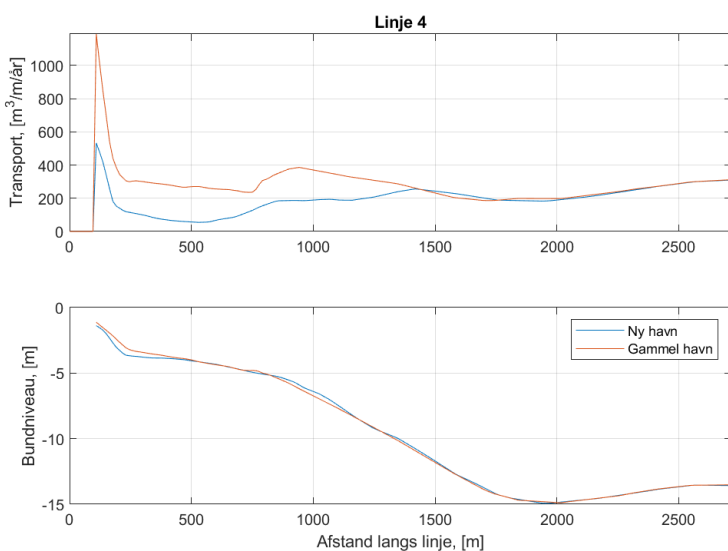
Fordi transporten forbi indsejlingen forventes at være uændret samtidig med at transporten langs den midterste og vestlige del af nordmolen (Linje 3 og 4) vil falde markant forventes der at ske en gradvis ophobning af sand i dette område.

Det faktum, at den beregnede transport igennem Linje 5 reduceres mindre end i Linje 3 og 4, indikerer, at der i perioden efter, at vestmolen er forlænget, kan forekomme erosion langs den østlige del af nordmolen. Denne tendens til erosion vil dog blive vendt til aflejring når havbunden omkring linje 3 og 4 er bygget tilstrækkelig meget op til at genetablere den nuværende transport. Aflejringen vil stoppe når havbunden omkring linje 5 er bygget op til at genetablere den nuværende transport.

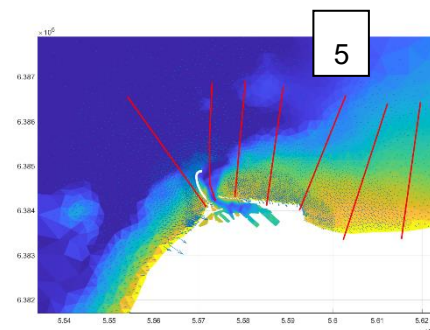
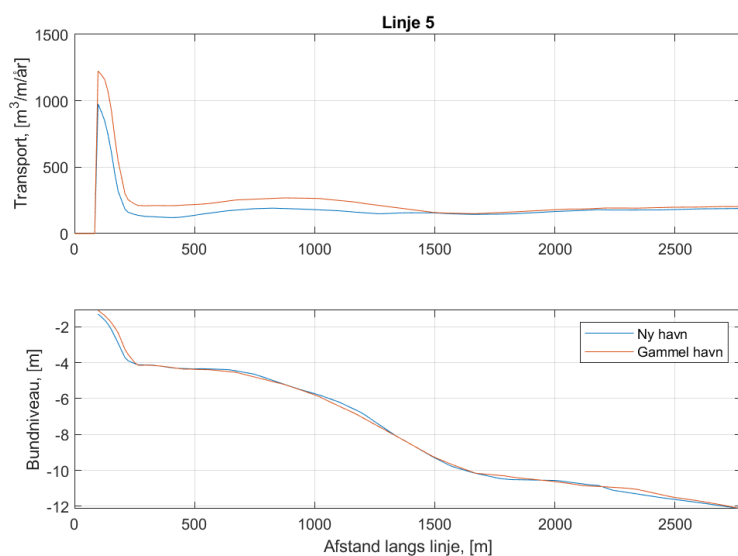
Disse beregninger af sandtransporten gennem linje 3 til 5 indikerer at forlængelsen af vestmolen vil påvirke sedimentbudgettet således at tilførslen af sand til kysten umiddelbart øst for havnen reduceres. Denne reduktion forventes i runde tal at være omkring 200,000 m³/år. Efterhånden som havbunden langs nordmolen bygges op forventes tilførslen af sand til kysten at vende tilbage til den nuværende størrelse (420,000 m³/år).



Figur 4-4 Fordelingen af nettotransport over linje 3.



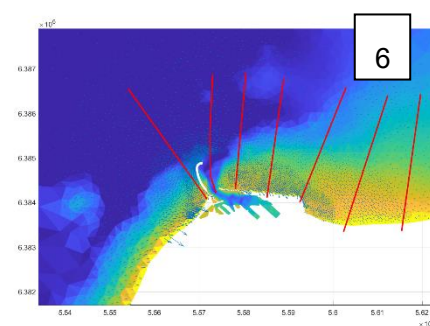
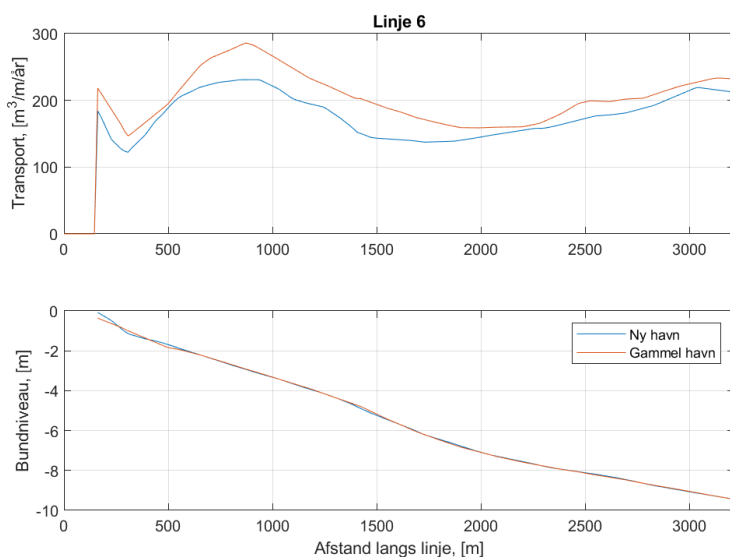
Figur 4-5 Fordelingen af nettotransport over linje 4.



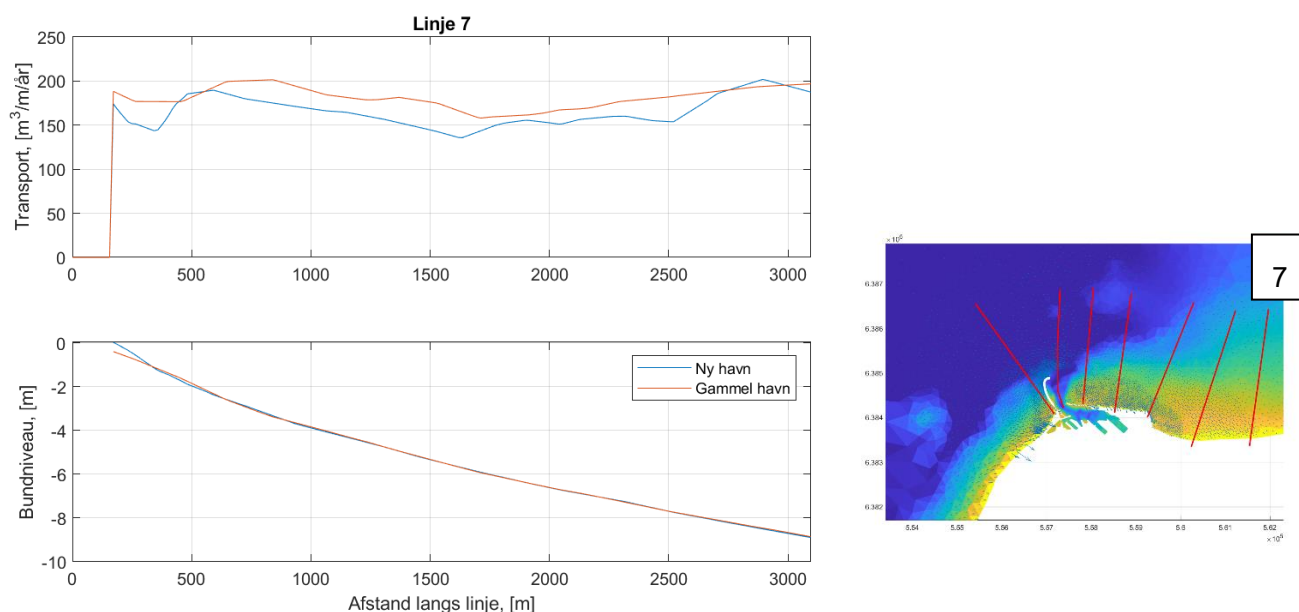
Figur 4-6 Fordelingen af nettotransport over linje 5.

Linje 6 og 7

Øst for havnen (linje 6 og 7) er effekten af havneudvidelsen på sandtransporten (se Figur 4-7 og Figur 4-8) mindre da disse profiler ligger længere væk fra den forlængede vestmole. Model-opløsningen i dette område er reduceret i forhold til fokusområdet omkring havnen og usikkerheden på resultaterne i dette område er derfor større end for de andre profiler. En mere detaljeret beregning af transporten langs kysten øst for havnen er præsenteret i afsnit 5.



Figur 4-7 Fordelingen af nettotransport over linje 6.



Figur 4-8 Fordelingen af nettotransport over linje 7.

4.3 Tidsskalaer for opbygning af havbunden omkring den fremtidige havn

I forbindelse med studiet /1/ at den tidligere betragtede havneudvidelse blev der lavet vurderinger af den fremtidige opbygning af havbunden omkring havnen. Denne ligevægtsbatymetri blev bestemt ved at ændre på havbunden omkring havnen indtil transporten igennem de 7 linjer, der betragtes i afsnit 4.2, var den samme som i den nuværende situation. Ved at sammenholde det aflejrede sandvolumen med forskelle i transportrater mellem linjerne blev der desuden givet et estimat af hvor lang tid det ville tage før ligevægtsbatymetrien blev etableret. Det blev således vurderet at de ville tage omkring 12 år for kysten vest for havnen at nå sin ligevægt. Ligeledes blev det vurderet at det ville tage omkring 30 år for havbunden omkring nordmolen at etablere sin ligevægt.

Ud fra bevægelsen af sandbølger langs nordmolen blev det i /1/ desuden estimeret at tidsskalaen for hvornår morfologiske ændringer omkring havnen (som følge af havneudvidelser eller ændringer i praksis for det oprensede sediment) kan ses på kysten øst for havnen er 20-35 år.

Vurdering af den fremtidige ligevægtsbatymetri ligger ud over omfanget af nærværende studie og dermed er det ikke muligt at vurdere tidsskalaer for etablering af ligevægtsbatymetrien specifikt for den forlængede vestmole.

Eftersom den her betragtede forlængede vestmole er meget lig den, der blev betragtet i det tidligere studie, kan det med rimelig forventes at de to udformninger af havnen vil give samme aflejring vest for havnen. Dermed forventes estimatet på omkring 12 år for etablering af ligevægtsbatymetri vest for havnen også at være et rimeligt estimat for den her betragtede havneudformning.

Den tidligere betragtede havneudvidelse og den her betragtede forlængelse af vestmolen er meget forskellige hvad angår området langs den nuværende nordmole. Det tidligere estimat for etablering af ligevægtsbatymetri langs nordmolen kan derfor ikke benyttes for den her betragtede forlængelse af vestmolen. Den estimerede tidsskala for, hvor lang tid det tager morfologiske ændringer omkring indsejlingen at forplante sig til kysten øst for havnen, giver dog en indikation af den tid der som minimum kræves for etablering af en ny ligevægtsbatymetri. Det forventes dermed at det vil tage minimum 20 år før den nye ligevægtsbatymetri er etableret.

5 Ændringer langs kysten øst for havnen

5.1 Beregningsmodel

Den model, der er anvendt til at beregne moleforlængelsens betydning øst for havnen, er identisk med den model, der er anvendt i afsnit 4 på nær to aspekter.

Modellen for området øst for havnen anvender et beregningsnet der har samme udstrækning som den oprindelige model men er forfinet specielt tæt på kysten. Dette er nødvendigt for at sikre en ordentlig beskrivelse af sandtransporten i brydningszonen tæt på kysten.

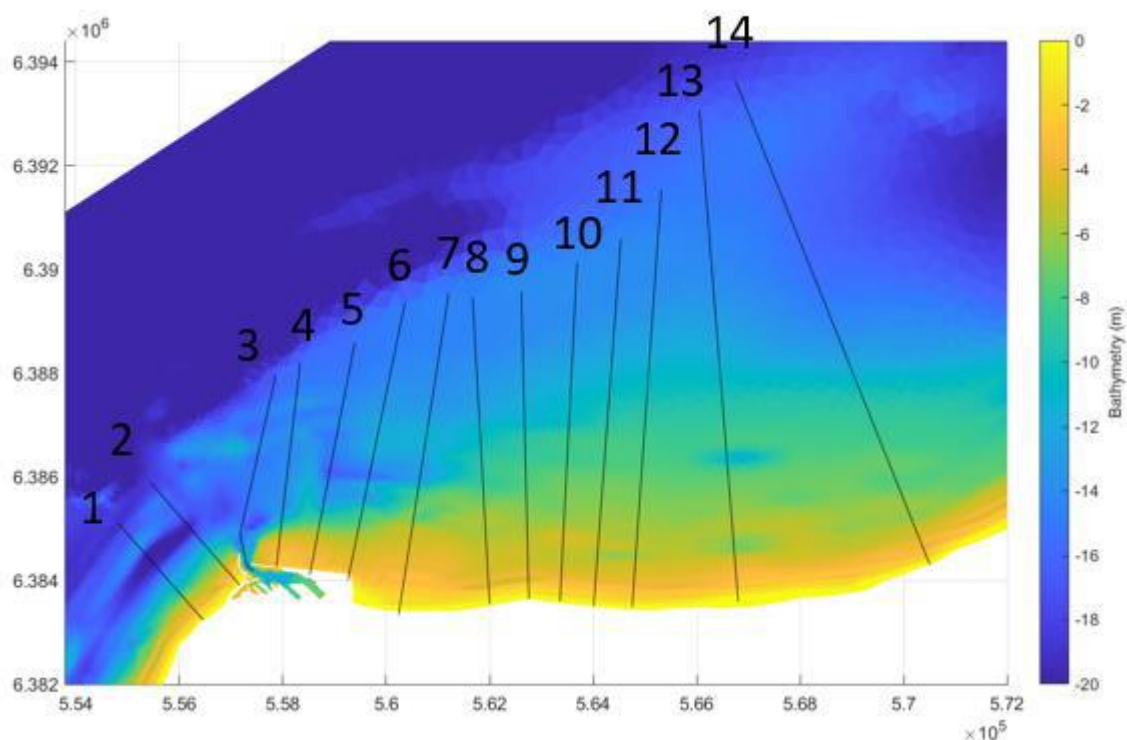
Modellen for området øst for havnen benytter ikke løbende opdatering af bunden (ikke morfologisk model). Dette er nødvendigt, idet den morfologiske model ikke kan beskrive udviklingen af kystprofilen i kystzonen korrekt over lange simuleringer. Desuden er formålet med modellen at få klarlagt hvor langt mod øst skyggeeffekten af havneudvidelsen påvirker sedimenttransporten og til dette formål er bundopdateringer ikke nødvendige.

5.2 Analyse af ændringer

Ligesom effekten på området omkring havnen analyseres effekten på området længere østpå ved at se på den beregnede transport igennem et antal linjer placeret vinkelret på kysten. De linjer der er anvendt til at vurdere påvirkningen på kysten øst for havnen er vist i Figur 5-1. Linjerne er valgt så de alle går ud til ca. samme dybde omkring 15 m.

I Tabel 5-1 er vist en opgørelse over den akkumulerede transport igennem alle profiler for både den nuværende og fremtidige havn.

Fordelingen af nettotransporten over samtlige udvalgte profiler er vist i Bilag A sammen med fordelingen af forskellen i den beregnede transport mellem havneudvidelsen og den eksisterende havn.



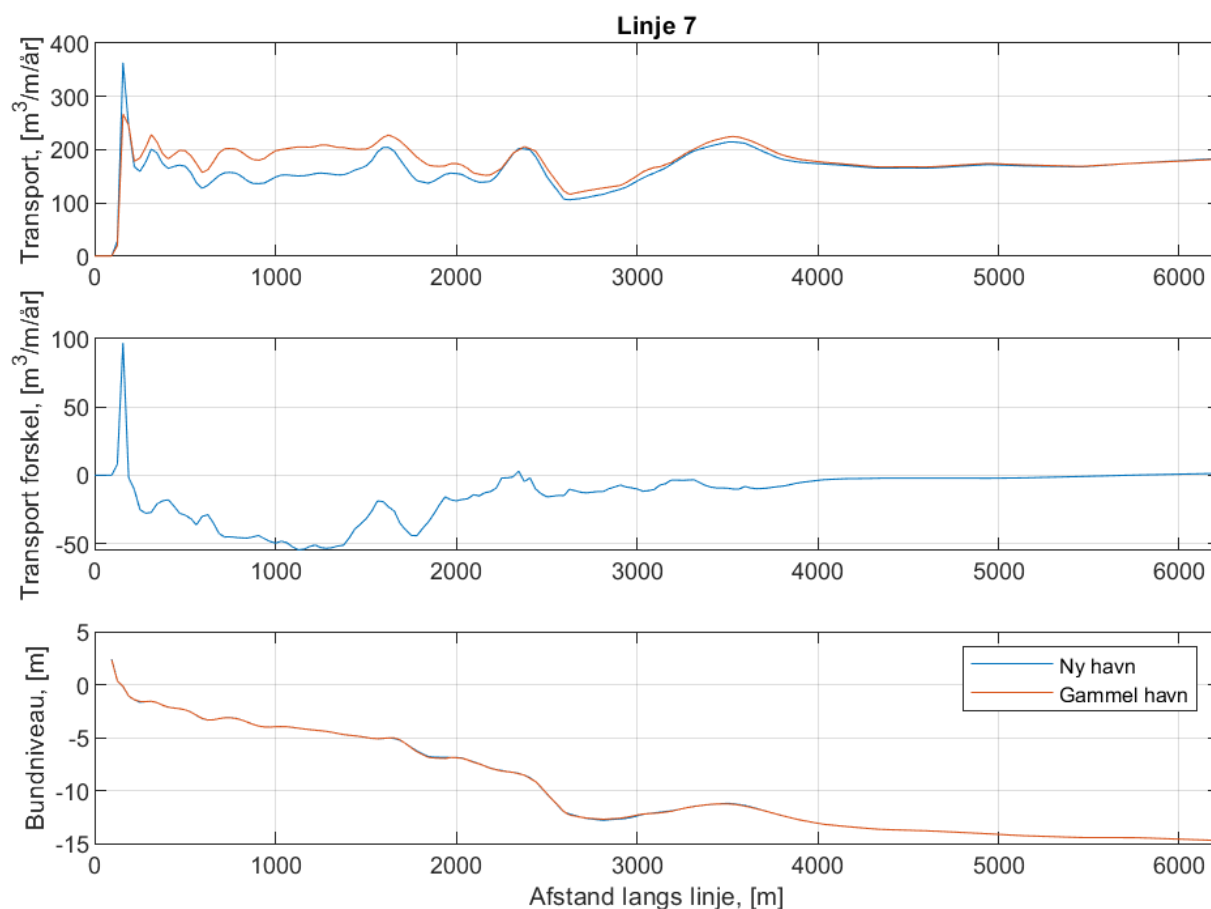
Figur 5-1 Linjer anvendt til analysen af effekt på kysten øst for havnen.

Tabel 5-1 Netto sedimenttransport over udvalgte linjer for den eksisterende og nye havn.

Linje	Eksisterende havn	Fremtidig havn	Ændring
1	845,000	825,000	-20,000 (-2%)
2	829,000	672,000	-157,000 (-19%)
3	915,000	950,000	35,000 (4%)
4	1,148,000	899,000	-249,000 (-22%)
5	987,000	769,000	-218,000 (-22%)
6	1,117,000	988,000	-129,000 (-12%)
7	1,097,000	1,014,000	-83,000 (-8%)
8	889,000	846,000	-43,000 (-5%)
9	906,000	875,000	-31,000 (-3%)
10	918,000	894,000	-24,000 (-3%)
11	883,000	864,000	-19,000 (-2%)
12	896,000	879,000	-17,000 (-2%)
13	916,000	910,000	-6,000 (-1%)
14	611,000	606,000	-5,000 (-1%)

På Figur 5-2 er vist fordelingen af nettotransporten over linje 7, der er placeret umiddelbart øst for havnen. Det ses at forskellen i nettotransport generelt er negativ mellem afstand 0 og 4000 m idet moleforlængelsen skygger for bølgerne og dermed reducerer transporten mod øst. Der er et lille område tæt på land hvor modellen viser større transport i den fremtidige situation, men dette forventes at være en usikkerhed der skyldes små forskelle i beregningsnettet.

Der ses både en reduktion helt tæt på kysten (inden for 5 m dybde) og længere ude, ud til omkring 13 m dybde (ca. 4000 m fra kysten). Skyggeeffekten af havneudvidelsen vil således også påvirke havbunden længere ude. Her vil havbunden på sigt også hæve sig for at genoprette nettotransporten i området.



Figur 5-2 Nettotransporten over beregningsåret (2021) for linje 7.

Øverst: Fordelingen af nettotransporten over profilet.

Mellem: Forskellen i nettotransport med og uden havneudvidelse.

Nederst: Bundniveauet langs profilet.

I linje 8 er billedet det samme, dog med en mindre effekt af havneudvidelsen hvilket også ses af at ændringen i den samlede transport gennem linjen kun er på 5%.

For linje 9 til 14 er ændringerne i transporten på mindre end 5%. Påvirkningen øst for linje 8 vurderes derfor at være så lille at den vil være umulig at observere via målinger af positionen af kystlinjen eller vegetationslinjen, idet de naturlige variationer er meget større end den mulige påvirkning fra havneudvidelsen i dette område.

Dermed vurderes det at skyggeeffekten af havneudvidelsen vil kunne påvirke kysten signifikant fra den østlige bølgebryder og øst på til linje 9, dvs. over en afstand på ca. 3.5 km.

6 Konklusion

Nærværende studie har til formål at beskrive de ændringer i sandtransport og morfologi omkring Hirtshals havn der vil ske som resultat af den foreslåede forlængelse af havnens vestmole. Studiet er en udvidelse af et tidligere studie /1/, som havde til formål at opstille et sedimentbudget for området og vurdere effekten af en større havneudvidelse.

I det nedenstående beskrives de konklusioner, der er uddraget af nærværende studie og som kun relaterer sig til den her betragtede forlængelse af vestmolen. For konklusioner vedrørende den nuværende situation henvises til /1/.

6.1 Effekt af moleforlængelsen på sedimentbudgettet

Forlængelsen af vestmolen vil føre til en midlertidig reduktion af sandtransporten forbi havnen. Denne reduktion vil være gældende i en tilpasningsperiode, hvor morfologien (havbunden) omkring havnen gradvist tilpasser sig den nye havneudformning. I denne periode vurderes tilførslen af sand til kysten øst for havnen at blive reduceret med omkring 200,000 m³/år.

I tilpasningsperioden vil erosionen i området øst for havnen øges i forhold til de nuværende forhold idet tilførslen af sediment fra vest midlertidigt mindskes. Dette vil føre til en øgning af den nuværende erosion i området øst for havnen, som siden 1995 har været på 350,000 m³/år og som dermed vil blive omkring 550,000 m³/år. Denne erosion kan modvirkes ved at klappe oprenset sediment kystnært øst for havnen.

6.2 Effekt af moleforlængelsen på kysten og vegetationslinjen øst for havnen

Tabel 4-1 opsummerer effekten af havneudvidelsen på sedimentbalancen og kystudviklingen øst for havnen.

Tabel 6-1 Opsummering af effekten af moleforlængelsen på sedimentbudgettet og kystlinjen / vegetationslinjen.

Scenarie	Beskrivelse	Sedimentunderskud 0-5 km øst for havnen	Erosion på kysten / vegetationslinjen
0	Eksisterende situation	350.000 m ³ /år	1 m/år
1	Forlænget vestmole + status quo	550.000 m ³ /år	2 m/år
2	Forlænget vestmole + bypass og kystnær fodring	350.000 m ³ /år	0 m/år
3	Forlænget vestmole + kystnær fodring	450.000 m ³ /år	0 m/år

Scenarie 0 viser den eksisterende situation.

Scenarie 1 viser effekten af moleforlængelsen: Som diskuteret i forrige afsnit er effekten en øgning i erosionen i området øst for havnen. Det forventes at denne øgning af erosionen i området også vil føre til en øget erosion af kystlinjen og vegetationslinjen på omkring 1 m/år, så den øges til omkring 2 m/år i området op til 4 km øst for den østlige bølgebryder.

Scenarie 2 viser hvorledes effekten af moleforlængelsen kan afværges. Øgningen af erosionen i området øst for havnen kan afværges ved at klappe det sand der i tilpasningsperioden renses op af sejlbunden i området øst for havnen (eksempelvis på den eksisterende bypass plads).

Erosionen af kysten og vegetationslinjen kan afværges ved en kystnær sandfodring af mindst 72,000 m³/år, dvs. en del af det klappede materiale vil skulle klappes mere kystnært eller pumpes helt op på

stranden / klitten. Grundet usikkerhederne på de beregnede tal anbefales det at den kystnære fodringsmængde sættes til omkring 100,000 m³/år.

Det forventes at det oprensede volumen er større end 100,000 m³/år, men hvis det oprensede volumen nogle år mod forventningen er mindre kan man blot kompensere mere i årene derefter.

Endelig viser **Scenarie 3** et scenarie hvor der accepteres en øgning af erosionen i området øst for havnen idet der kun laves en kystnær sandfodring. Dette scenario vil føre til en øget erosion i området øst for havnen i de dybere dele af kystprofilerne i området. Såfremt det kan antages at denne erosion fordeles over 10 km² vil det føre til en øget erosion på ca. 1 cm / år. Hvis det antages at det vil tage 30 år før morfologien har indstillet sig, vil det føre til øget erosion på 0.3 m over hele dette område.

7 Referencer

- /1/ DHI (2024): Sediment budget omkring Hirtshals Havn og effekten af havneudvidelsen.
- /2/ Kystdirektoratet (2001): Sedimentbudget Vestkysten

Bilag A Transport igennem linjer

I dette bilag vises plots af transporten igennem alle de 14 linjer der bruges til at analysere sandtransporten i afsnit 5.2.

