

Vurdering af rentabilitet for genåbning af Sønderho Havn

Sedimentologisk modellering og vurdering



Vurdering af rentabilitet for genåbning af Sønderho Havn

Agern Allé 5
2970 Hørsholm

Tlf: 4516 9200
Fax: 4516 9292
dhi@dhigroup.com
www.dhigroup.com

September 2010

Klient		Klientens repræsentant			
Foreningen Sønderho Havn		Anders Bjerrum			
Projekt		Projekt nr.			
Vurdering af rentabilitet for genåbning af Sønderho Havn		11805931			
Forfattere		Dato			
Ulrik Lumborg Mads Madsen		1. oktober 2010			
		Godkendt af			
		Mads Madsen			
0	Rapport	ULU	MM	MM	01.10.2010
Revision	Beskrivelse	Udført	Kontrolleret	Godkendt	Dato
Nøgleord		Klassifikation			
Danish Wadden Sea, hydrodynamic modelling Sønderho		<input type="checkbox"/> Åben <input type="checkbox"/> Intern <input checked="" type="checkbox"/> Tilhører klienten			
Distribution		Antal kopier			
Foreningen Sønderho Havn DHI:		Anders Bjerrum KLB;MM;Bibliotek			
		pdf pdf			



INDHOLDSFORTEGNELSE

1	KONKLUSIONER OG ANBEFALINGER	1-1
2	INDLEDNING OG BAGGRUND	2-1
3	BAGGRUND OG GENEREL BESKRIVELSE AF OMRÅDET	3-1
4	METODE.....	4-1
5	VURDERING AF KANALER I DE INTERTIDALE OMRÅDER.....	5-1
5.1	Modellen	5-1
5.2	Inputdata – bathymetri og hydrografi	5-1
5.3	Inputdata – sedimentologi	5-3
5.4	Modelresultater hydrodynamik	5-1
5.5	Modelresultater sedimentologi.....	5-3
6	VURDERING AF DE EKSPONEREDE OMRÅDER	6-1
7	VURDERING AF UDLEDNING AF OPGALET SEDIMENT	7-1
8	KONKLUSIONER OG ANBEFALINGER.....	8-1
9	REFERENCER	9-1



1 **KONKLUSIONER OG ANBEFALINGER**

- 1) DHI kan ikke anbefale at anlægge kanaler fra hønen igennem Keldsand og ud til Knudedyb. Ved land vil Krumodden fortsætte sin vandring mod syd og dermed tilbagefylde enhver kanal som søges anlagt her. Længere sydpå vil den normale sediment transport skabe en tilbagefyldning som vil nødvendiggøre oprensninger i kanalen op til flere gange årligt.
- 2) Såfremt det, besluttes at uddybe renden mellem Hønen og Galgedyb anbefales det at pejle vanddybden, da denne strækning vil være meget udsat for tilsanding i stormvejr. Hvis der observeres begyndende tilsanding bør der foretages efterfølgende oprensning af sand, således at gennemstrømningen sikres i hele Sønderho Tidevandsrende.
- 3) På strækningen imellem Hønen og Lundvig løb vil der forekomme sedimentation af fint materiale hvorfor der må påregnes årlig oprensning på udsatte steder. Deponeringen vurderes at være af størrelsesordenen ca. 7000 - 25000 m³/år. Tallene er behæftet med en betydelig usikkerhed. Såfremt der uddybes i renden mellem Hønen og Galgedyb vil der forekomme en vis forbedring i sedimentationsforholdene ud for Sønderho Havn dog vil der stadig forekomme sedimentation tæt ved Lundvig Løb.
- 4) Det vurderes at det opgravede materiale kan udledes til Knudedybet uden at det giver anledning til væsentlig påvirkning af miljøet Det kræver dog at der er tale om en løbende udledning.
- 5) For at mindske usikkerheden på vurderingen af nødvendig oprensning kan det anbefales at gennemføre en prøvegravning, som monitoreres nøje, forud for evt. videre studier.
- 6) Det anbefales at foretage supplerende modellering af depositions mængderne ved evt. udledning af en del af det opgravede materiale til Lundvig Løb. Modelleringen bør dog understøttes med prøve gravning (punkt 5)



2 INDLEDNING OG BAGGRUND

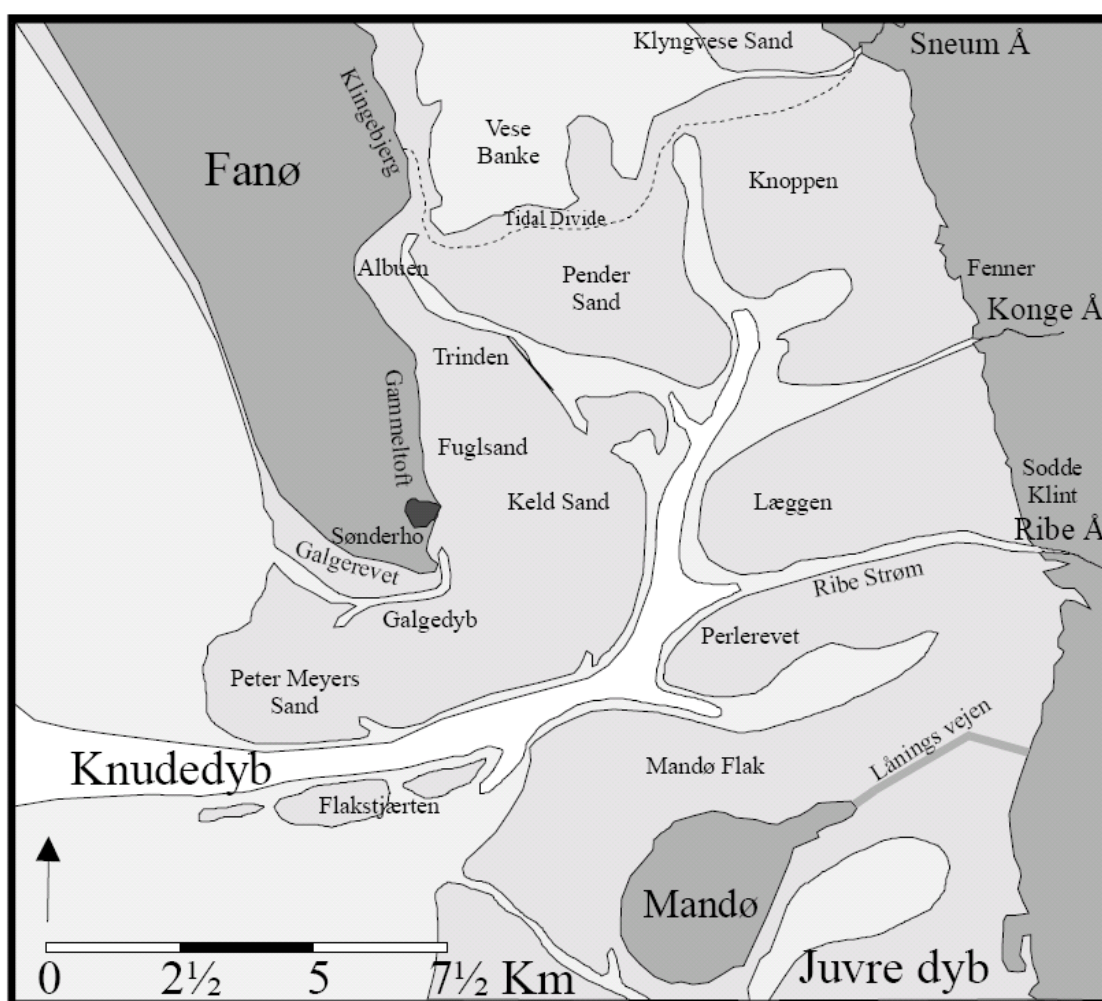
Foreningen Sønderho Havn ved Anders Bjerrum har anmodet om en fortsættelse af den modelopgave, der udførtes for foreningen i 2008. Nærværende rapport beskriver modelleringen af sedimentdynamik som følge af en ændring af topografien opfattet som en uddybning af en rende fra Knudedyb til Sønderho. Modellen er en videreførelse af den hydrodynamiske del, der blev lavet i 2008 og dækker således samme periode, vandstandsforhold etc.

Det bemærkes, at dele af rapporten er identisk med den tidligere rapport. De identiske dele er den generelle områdebeskrivelse og dele af den hydrodynamiske opsætning. Delene er medtaget for fuldstændighedens skyld.

3 BAGGRUND OG GENEREL BESKRIVELSE AF OMRÅDET

Området er beliggende i det Danske Vadehav, der er den nordligste del af det Europæiske Vadehav. Et oversigtskort over Fanøs sydlige del og omliggende havområder er vist i Figur 3.1. Området er forbundet til Nordsøen gennem Knudedyb, og det nordlige tidevandskel er beliggende fra Sneum Ås udløb til Klingebjerg/Albuen. Det sydlige vandskel er beliggende ved Låningsvejen mod Mandø.

Området er domineret af halvdøgnet tidevand med et middel på ca. 1,5 m. Tidevandsprismet, dvs. forskellen i vandvolumen ved lavvande og højvande, er ca. $175 \times 10^6 \text{ m}^3$ (Ref. /1/). Typiske maksimumshastigheder i Knudedyb er $1\text{--}1,5 \text{ m s}^{-1}$. Over de indre tidevandsflader kommer hastighederne sjældent over $0,15 \text{ m s}^{-1}$.



Figur 3.1 Oversigtskort over den sydlige del af Fanø samt omringliggende havområde. Figuren er adapteret fra (Ref. /2/).

Sedimentologisk set er området domineret af intertidale flader, der tørlægges ved normalt lavvande. Dette område dækker omkring 67%. Fordelingen af sedimenttyper i området fremgår af Tabel 3-1.

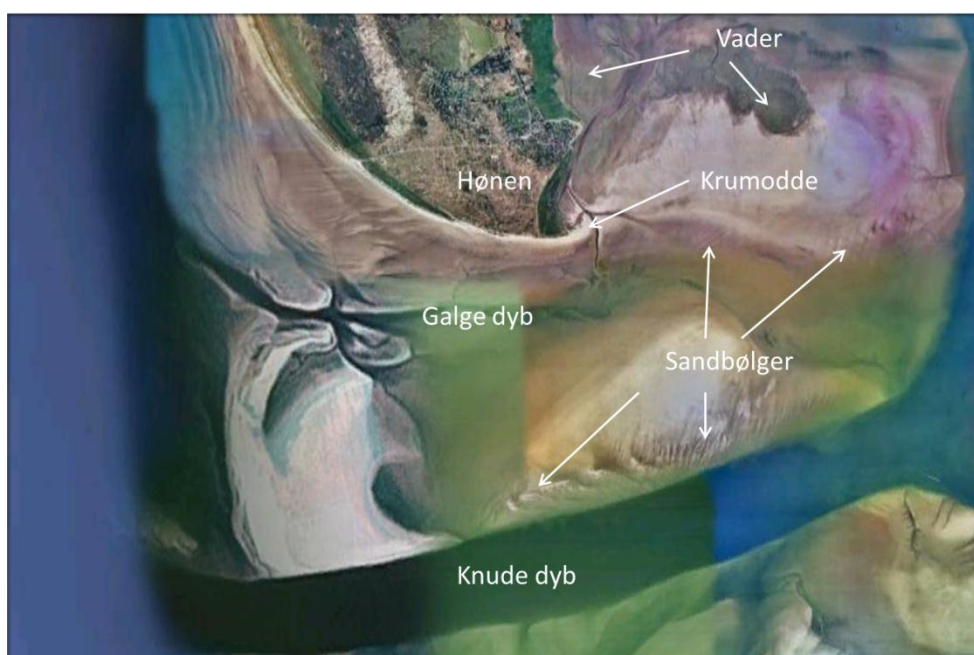
Tabel 3-1 Oversigt over sedimenttyper i Knudedybs tidevandsområde.

Sedimenttype	Andel af område i %
Finkonet materiale (ler- og siltindhold > 70%)	5%
Blandet sediment (ler- og siltindhold mellem 30% og 70%)	11%
Sand (ler- og siltindhold < 30%)	51%

Sedimentdynamikken i et Vadehavsmiljø er kompleks både i kraft af den store spredning i sedimenttyper (kornstørrelser) og af den skiftende påvirkning i strømhastigheder og retninger. Bølgepåvirkningen spiller også en stor rolle.

Generelt transporteres en ganske stor mængde sediment ind fra Nordsøen gennem Knudedyb. Koncentrationen i vandet er som regel lille, i størrelsesordenen 5 mg l^{-1} . Da det på den anden side er store vandmængder, der flyttes, betyder det, at meget store mængder sediment tilføres området i hver tidevandsperiode. Tidligere studier har vist, at en lille andel (omkring 4–5%) af det tilførte sediment aflejres inde i området (Ref. /3/, /4/). Denne delikate balance betyder, at der årligt aflejres ganske store mængder i de indre områder af Vadehavet. Det totale årlige input til Knudedybs tidevandsområde er angivet til 38.500 tons pr. år. Heraf stammer 20% fra de tilløbende åer, 24% fra primærproduktion og 51% fra Nordsøen. De resterende 5% stammer fra kyst- og marskerosion samt atmosfærisk aflejring (Ref. /2/).

Området fra Hønen over Keld sand og ud til galgedyb består af store sandområder, som domineres af forskellige morfologiske formationer. Fra østsiden af Galgerevet starter en Krumodde som vandrer imod øst. På ydersiden af Galgerevet løber Galgedyb, som er en dyb tidevandsrende med lavvandede sandformationer på begge sider. Udenfor Galgedyb ligger Keldsand, som er et stort lavvandet sandområde, som langs kanterne er dækket af sandbølger. På toppen forefindes rent sand uden begroning, hvilket indikerer en hyppig omflytning af sandet. Nordfor Krumodden op imod Hønen ligger et sandet område som historisk set langsomt er siltet op i takt med Krumoddens langsomme fremrykning imod øst. I Figur 3.2 er givet en oversigt over de morfologiske formationer.



Figur 3.2 Oversigt over morfologiske formationer.



4 METODE

Denne rapport falder i to tempi. Dette skyldes, at området ud for Sønderho kan opdeles i to morfologisk forskellige områder. En beskyttet (intertidal) del, hvor man har vader og tidevandskanaler men ingen større bølger. Dette findes typisk i området øst og nordøst for Sønderho. Og en eksponeret del, hvor man har de store kanaler ind fra Nordsøen samt de store bølger. Dette findes i området fra Sønderho og sydpå.

Analysen af de intertidale områder bygger på opsætning af en numerisk hydrodynamisk model samt en vurdering af mulighederne for et rentabelt projekt. Den numeriske model (MIKE 21 FM HD) er opstillet for perioden 1. marts 2008 – 1. april 2008 og dækker området fra Ho Bugt i nord til Mandø Ebbevej i syd. Desuden er et stykke af Nordsøen medtaget for at beskrive tidevandet korrekt. Modellen er opstillet for at få en korrekt repræsentation af strømningerne omkring den sydlige del af Fanø. Arealer beliggende langt væk fra dette er ikke nødvendigvis korrekt repræsenteret i modellen. Modellen er opstillet således, at der beregnes hydrodynamik og sedimentdynamik i samme afvikling. Dvs., at modelresultatet udover at indeholde vandstande og strømhastigheder nu også indeholder sedimentkoncentrationer og ændringer i bundniveau/masse. Modellen forholder sig alene til sedimentation med finkornet materiale. Den del af kanalen som forløber syd for Hønen vurderes ikke med denne model, idet området her er morfologisk meget forskelligt fra de intertidale områder. Analysen af de eksponerede områder foretages ud fra historiske satellitfotos.

Yderligere vurderes en udledning af sediment i Knudedyb for at anskueliggøre effekten af at pumpe det opgravede sediment ud her. Dette gøres ved en kvantitativ vurdering af de udledte mængder i forhold til de naturlige mængder i systemet.

Der vurderes tre scenarier:

1. Grundscenarie: Modellering af hele strækningen inkl. Nordkanal (Lundvig Løb fra Kalvekrog til Lundvig Dyb, se Figur 4.1 . Bredde 30 m, dybde 2 m (dybden beregnet fra middelvandstand)
2. Variation 1: Modellering uden Nordkanal. Bredde 30 m, dybde 2m
3. Variation 2: Som grundscenarie men kun 15 m bredde

I Figur 4.1 findes en oversigt over de anvendte stednavne.



Figur 4.1 Oversigt over sejltreder m.m. ved Sønderho Havn.



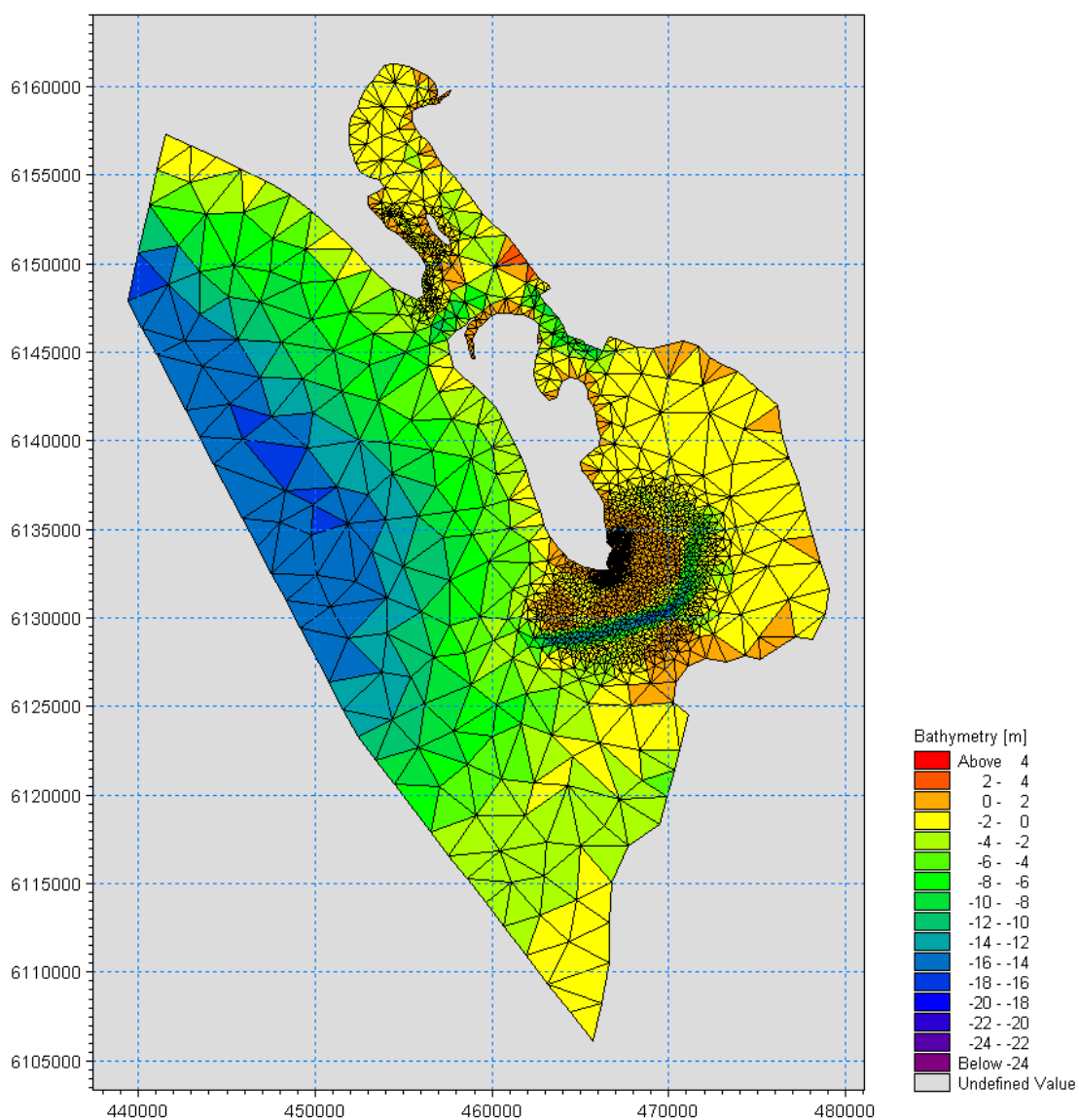
5 VURDERING AF KANALER I DE INTERTIDALE OMRÅDER

5.1 Modellen

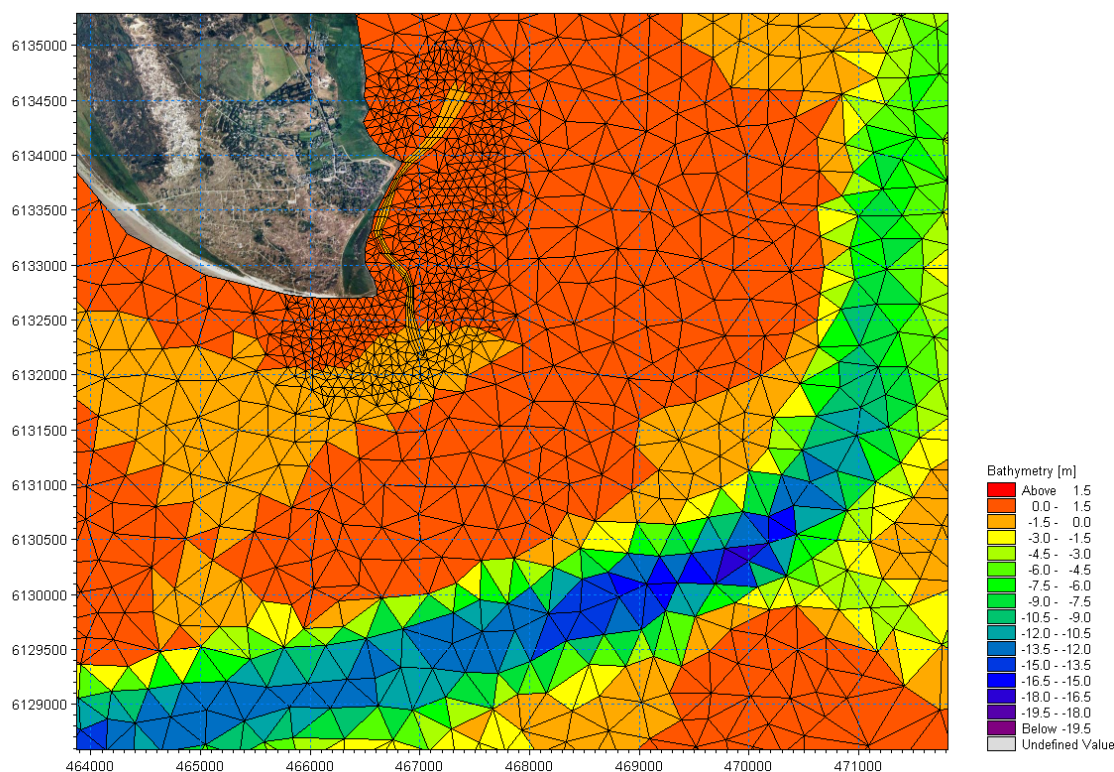
Den numeriske model MIKE 21 FM HD er udviklet af DHI. Modellens udvikling startede i begyndelsen af 1980'erne, og modellen er under stadig udvikling. MIKE 21 FM HD er en hydrodynamisk model der er baseret på et såkaldt fleksibelt net, hvilket vil sige, at nettet er opbygget af trekanter og firkanter af forskellig størrelse. Dette muliggør en meget detaljeret model i interesseområdet, samtidig med at beregningstiden (CPU-tiden) holdes på et rimeligt niveau. Modellen beskriver som udgangspunkt vandstand samt strømhastighed og –retning i samtlige punkter. Den tidslige opløsning justeres løbende for at opnå en stabil model, men resultatet er gemt med en tidslig opløsning på 15 minutter. Modellen er en 2D model, dvs. at vandsøjlen er repræsenteret som en dybdemidling. Bunden er korrekt beskrevet ved en eksakt dybde i hvert af de enkelte beregningspunkter.

5.2 Inputdata – bathymetri og hydrografi

Modellens bathymetriske grundlag (dybdeinformation) stammer fra et antal opmålinger, bl.a. informationer fra elektroniske søkort samt en større opmåling foretaget af Kystdirektoratet i 2002. De bathymetriske rådata er ret detaljerede. Der er således benyttet mere end 500.000 punkter fordelt over modelområdet. Disse data er interpoleret til et beregningsnet bestående af omkring 4000 elementer af varierende størrelse. Der er altså tale om en vis forsimpning af informationen. Dette er dog påkrævet, da beregningstiden ellers ville være alt for lang. I nærområdet omkring Sønderho Havn er der valgt den fineste opløsning med ca. 10 m mellem beregningspunkter. I Figur 5.1 er vist et oversigtskort over bathymetrien for hele området, mens et zoom på interesseområdet er vist i Figur 5.2.



Figur 5.1 Modelbathymetri for hele modelområdet. Det ses, at der er anvendt store trekanter langt fra interesseområdet og mindre elementer i området omkring Sønderho.



Figur 5.2 Modelbathymetri for interesseområdet omkring Sønderho. Den smalle kanal er opløst som firkanter for at simulere strømningerne igennem så korrekt som muligt.

Modellen drives af astronomisk forudsagt tidevand, som er påført modellens åbne rande. Igen er der tale om en forsimpning af virkeligheden, idet meteorologisk inducerede vandstandsændringer ikke er medtaget. Det vurderes dog, at modellen er tilstrækkelig valid til det foreliggende formål.

5.3 Inputdata – sedimentologi

Den sedimentologiske model er anvendt, så den er tilpasset finkornet sediment, som er den sedimenttype, der er den vigtigste at undersøge på lokaliteten ved Sønderho. Modellen anvender de kornstørrelser, som er målt på lokaliteten (modtaget fra Klienten, Rapportnummer: R-10-486A). Erosion- og aflejringsparametre er ikke målt på lokaliteten, men værdier fra andre studier i det danske Vadehav er anvendt (Ref. /3/). De mest almindelige værdier er:

- Kritisk forskydningsspænding for deposition: $0,07 \text{ N/m}^2$
- Kritisk forskydningsspænding for erosion: $0,25 \text{ N/m}^2$
- Faldhastighed: $0,5 \text{ mm/s}$
- Bølger inkluderet

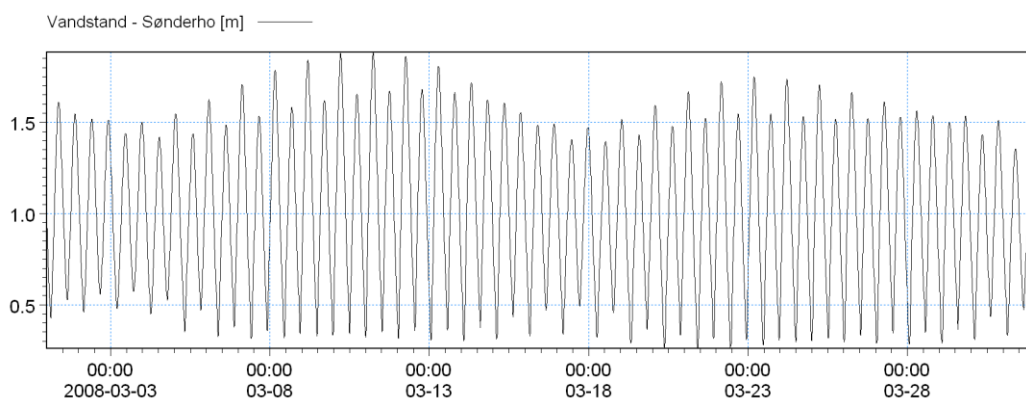
Sedimentkoncentrationen på de åbne rande i Nordsøen er sat til 5 mg/l . Dette er den målte gennemsnitskoncentration i Nordsøen, når man kommer tilstrækkeligt langt fra land (Ref. /3/).

5.4 Modelresultater hydrodynamik

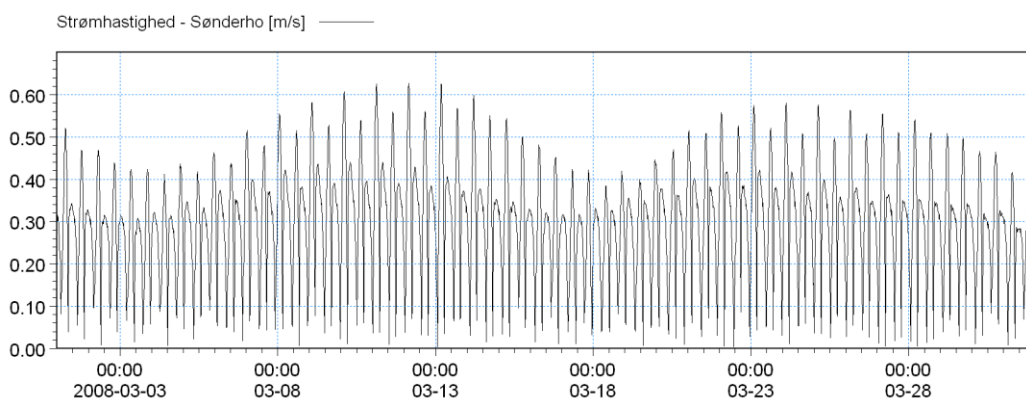
Modellens resultater består grundlæggende af vandstande og strømhastigheder i alle modelpunkter. Resultaterne er gemt hvert kvarter gennem modelleringsperioden (1. marts 2008 til 1. april 2008). Derudover er der som et afledt resultat beregnet bundforskydningsspændinger, som er den variabel, der er afgørende for mulighederne for erosion og aflejring.

Afsnittet er fokuseret på området omkring Sønderho Havn.

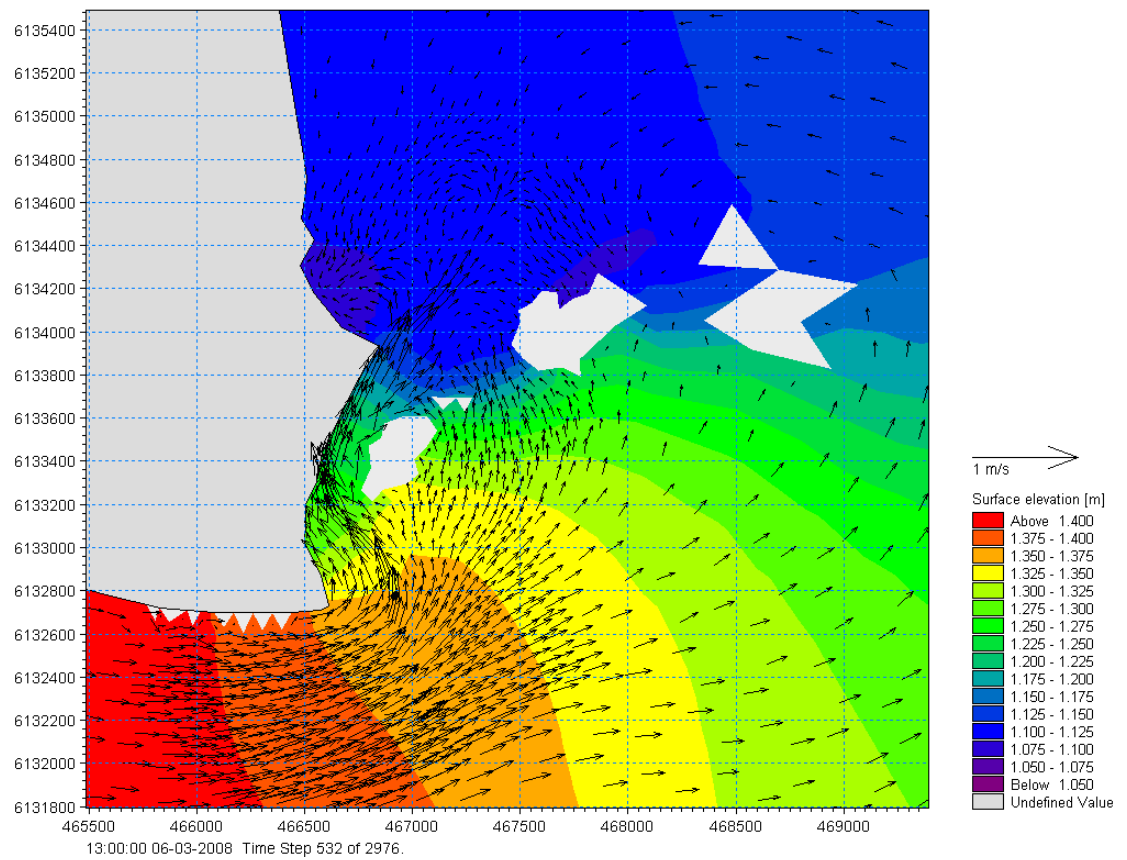
I Figur 5.3 til Figur 5.6 er vist modellerede vandstande og strømhastigheder.



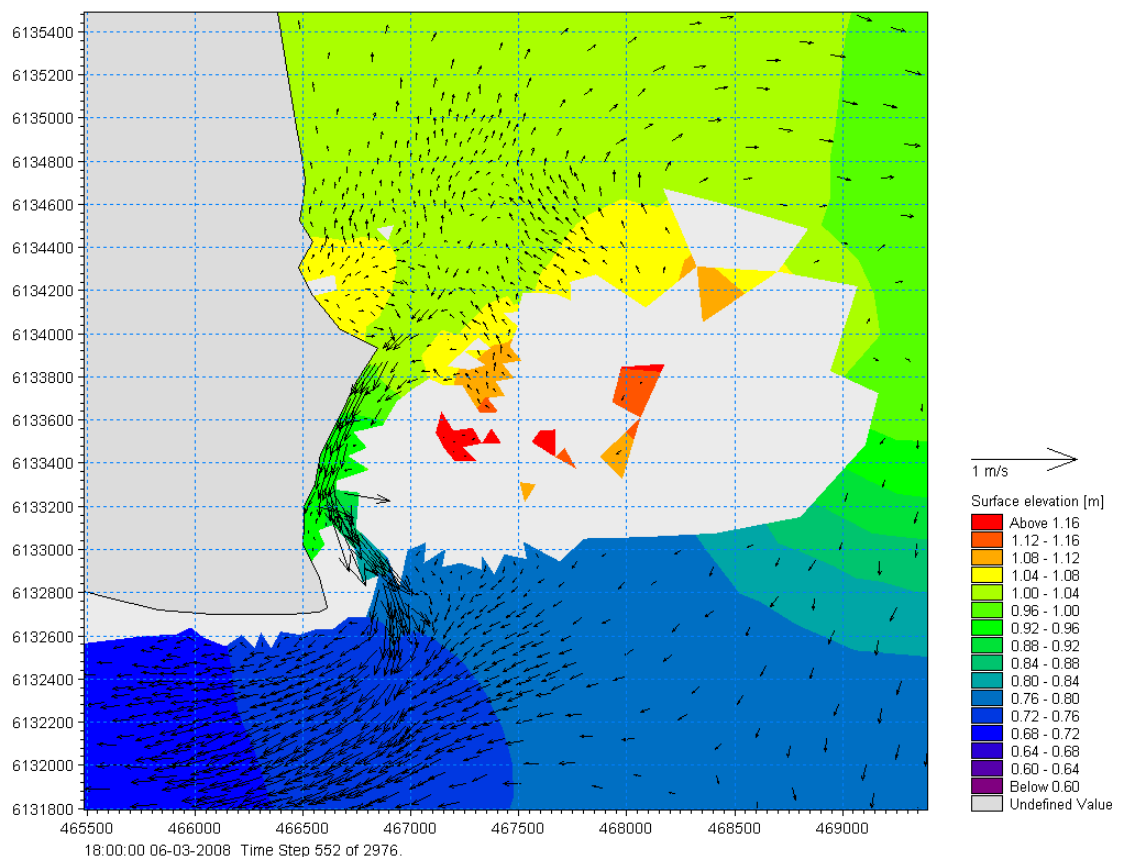
Figur 5.3 Modelleret vandstand [m] ud for Sønderho igennem modelperioden (relativ til CD).



Figur 5.4 Modellerede strømhastigheder [m/s] ud for Sønderho igennem modelperioden.



Figur 5.5 Typisk fordeling af strømhastigheder for flodperioden.



Figur 5.6 Typisk fordeling af strømhastigheder for ebbeperioden.

5.5 Modelresultater sedimentologi

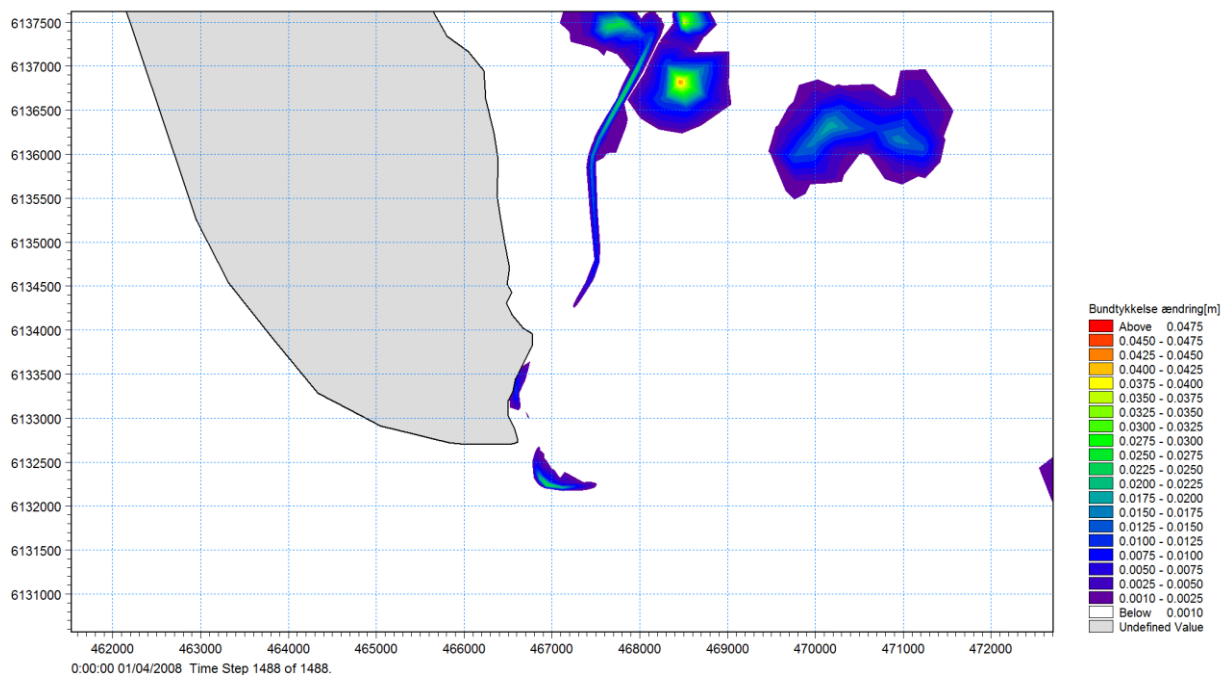
Modellen er sat op, så den beregner erosion, transport og aflejring af sedimentet i området. Modellen er for så vidt dynamisk, at den er massebevarende og hele tiden holder styr på, hvor i systemet sedimentet befinder sig. Modellen er anvendt, så den laver morfologiske opdateringer, og de hydrodynamiske modelleringer afhænger således af, om der på en given lokalitet er signifikant erosion eller aflejring.

I Figur 5.7 til Figur 5.9 er vist bundniveauændringer efter en måneds simulering for de tre scenarier

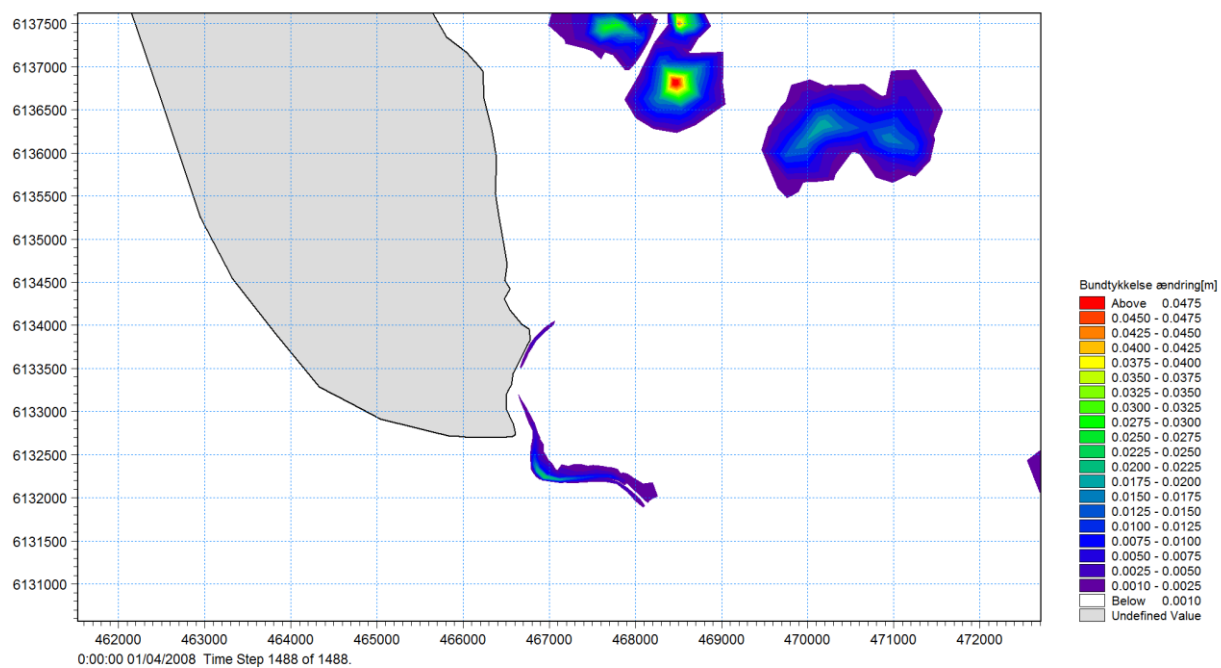
I Figur 5.10 til Figur 5.12 er vist tidsserier af bundniveauændringerne i fire punkter. De fire punkter er valgt, så de repræsenterer udvalgte dele af den planlagte ændring. Punkterne er fordelt som vist i Tabel 5-1:

Tabel 5-1 Fordeling af fire udtrækspunkter

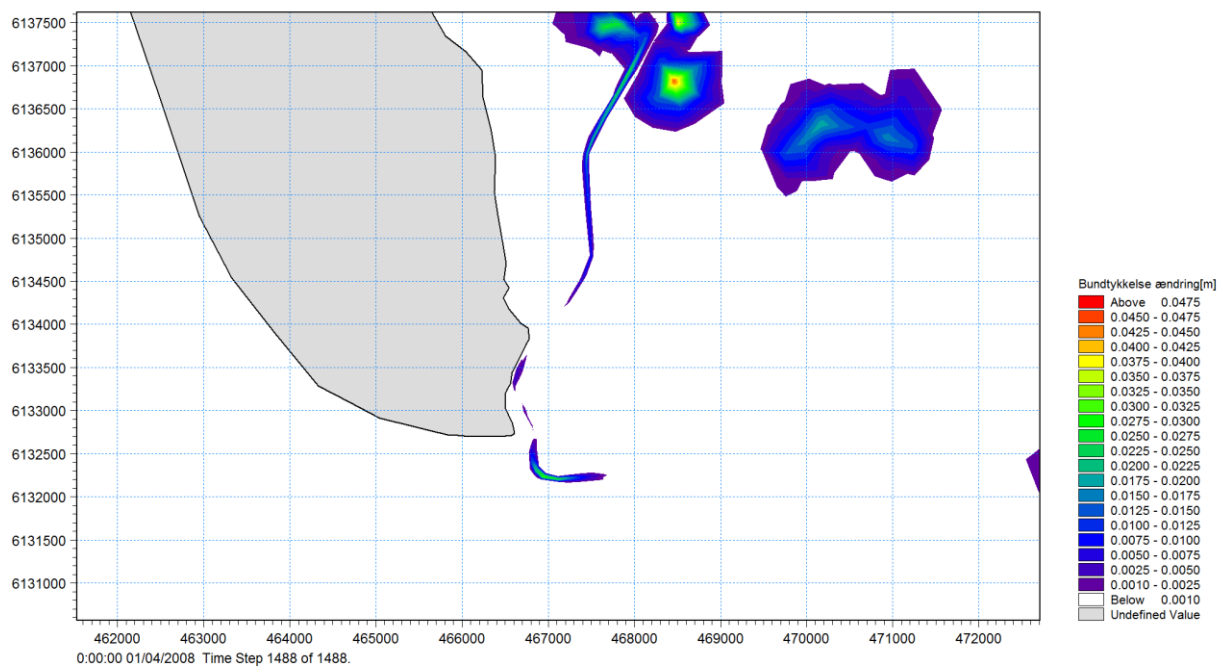
	Easting	Northing	Beskrivelse
Punkt 1	468120	6131917	Yderste del af den sydlige rende
Punkt 2	466842	6132623	Omtrent midt mellem Knudedyb og Sønderho
Punkt 3	466752	6133730	Ud for Sønderho
Punkt 4	467486	6135950	I den nordlige rende (punktet er også medtaget i Variation 1, hvor der ikke er kanal på dette punkt)



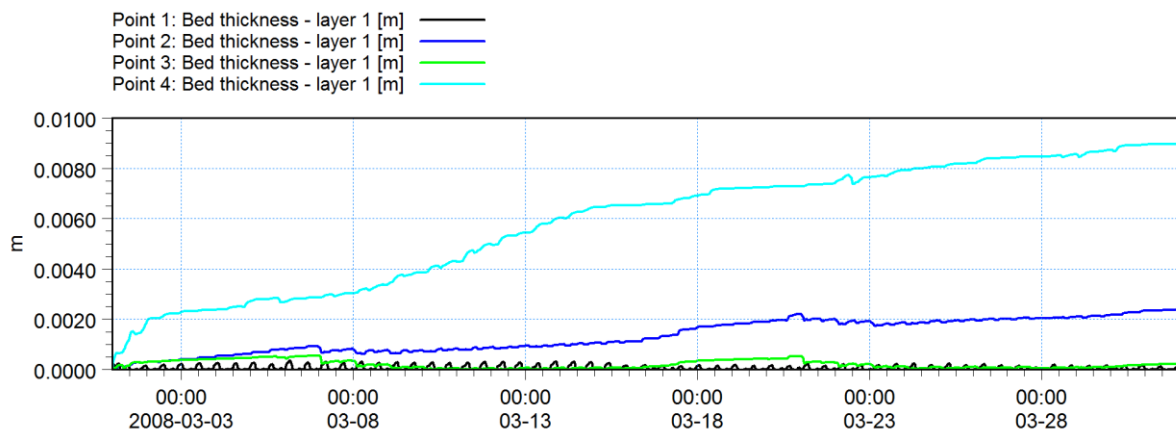
Figur 5.7 Bundniveauændring efter en måneds simulering, Grundscenarie.



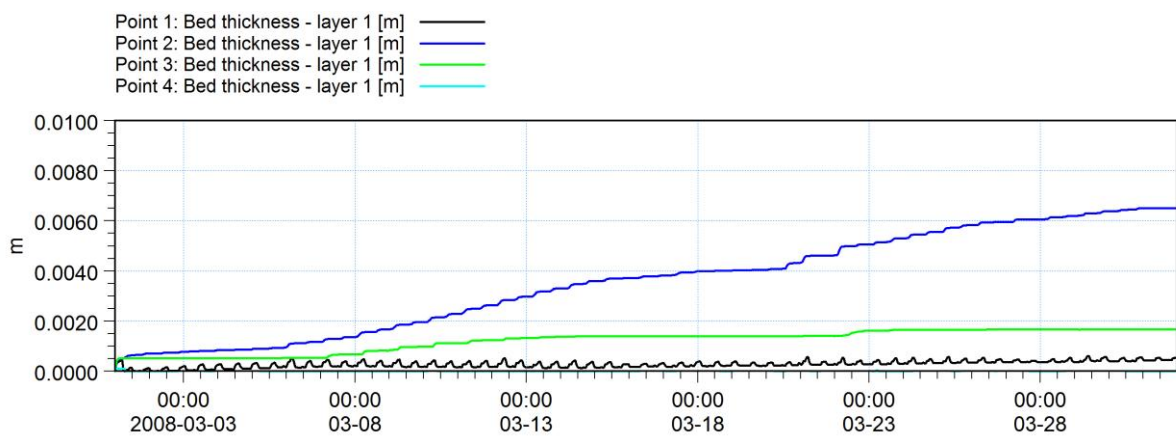
Figur 5.8 Bundniveauændring efter en måneds simulering, Variation 1.



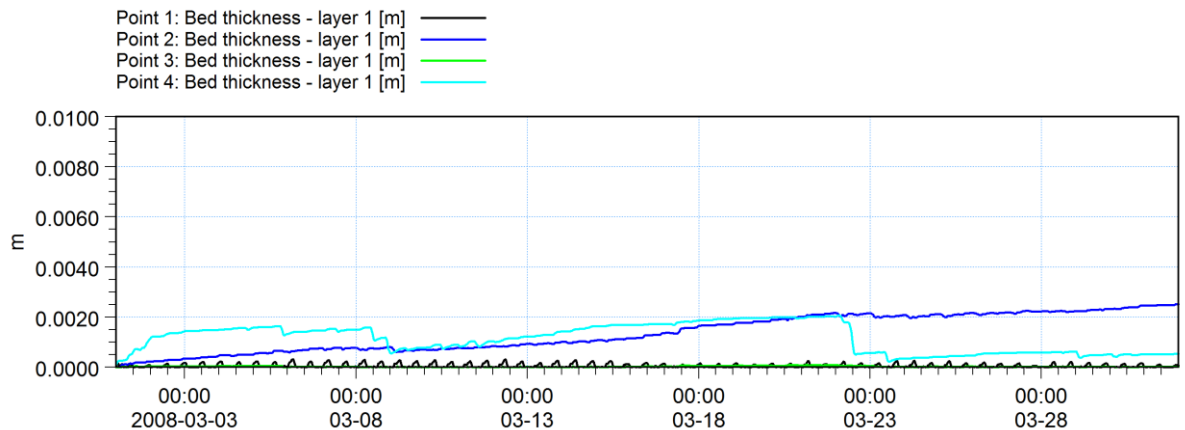
Figur 5.9 Bundniveauændring efter en måneds simulering, Variation 2.



Figur 5.10 Tidsserie af bundniveauændringer, Grundscenarie. For punkternes lokaliteter, se tekst.



Figur 5.11 Tidsserie af bundniveauændringer, Variation 1. For punkternes lokaliteter, se tekst.



Figur 5.12 Tidsserie af bundniveauændringer, Variation 2. For punkternes lokaliteter, se tekst.

Som det ses, er der stor forskel på, hvor i renden man ser på bundniveauændringerne. I grundscenariet og i variation 2 ses der større aflejringer i den nordlige del af kanalen samt svagere aflejringer ved Sønderho havn, hvorimod aflejringerne forekommer længere sydpå ved Sønderho i variant 1. Det sidste er konsistent med, at kanalen er lukket og langsomt silter op. I grundscenariet og variant 2 ses det, at området ved Sønderho havn kun oplever relativt lidt sedimentation. Dette skyldes de højere strømhastigheder, som den gennemgående kanal har skabt. Det ses endvidere også, at den smallere kanal i variant 2 bevirker en højere hastighed i kanalen, hvilket gør, at mindre sediment kan lægge sig. Det skal dog bemærkes, at forskellen imellem grundscenariet og variant 2 er klart indenfor usikkerheden på de indgående parametre, hvorfor resultatet skal tolkes indikativt. Man kan således konkludere, at variant 2 har lidt mindre potentiale for deposition end grundscenariet.

Modelresultaterne viser en langsom tilbagefyldning i dele af kanalen. Størrelsesordenen er svær at udtale sig præcist om, da den afhænger af baggrundskoncentrationen, faldhastighederne og styrkeparametrene. Allesammen ting som man kan kalibrere/validere, hvis man har data til rådighed. Baggrundskoncentrationen og styrkeparametrene er årstidsafhængige, idet de afhænger af biologien. Faldhastigheden afhænger af koncentrationen, og hvor meget organisk materiale der findes i vandsøjlen. Den er derfor også årstidsafhængig. Man vil også se år til år variationer. Resultaterne skal derfor regnes som usikre, idet der ikke er foretaget en kalibrering af modellen. For den periode som undersøges er det DHI's vurdering, at der lokalt på udsatte steder skal oprenses små mængder hvert år. I størrelsesordenen 7000 m³ til 25000 m³ per år. Det anbefales i en senere fase at lave et mere præcist skøn på dette. Det skal nævnes, at DHI alene forholder sig til tilbagefyldning med fint materiale. DHI har ikke vurderet en eventuel tilbagefyldning med sand i den indre del.

Sammenligner man de tre fremlagte alternativer, er der ikke signifikante forskelle i sedimentationen imellem de to layouts, hvor kanalen føres helt igennem til dybt vand på den nordlige side af Sønderho. Lukker man kanalen ved Sønderho, er sedimentationsraten ca. 3 gange mindre, end den er, når kanalen føres helt igennem. Det skyldes at der i grundscenariet og i variant 2 deponeres en del materiale i den nordlige del af kanalen. Ser man bort fra dette ses det at der i området ved Sønderho Havn sedimenteres relativt mindre materiale i variant 1 i forhold til grundscenariet og variant 2. Forskellen er dog ikke markant. Hvis man kigger på tidsserierne af sedimentation kan man se at der i grundscenariet og i variant 2 optræder perioder hvor deponeringen i den nordlige del er



væsentligt højere end den er ved afslutningen af perioden. Dette viser at der jævnligt optræder så høje strømhastigheder at dele af det deponerede sediment fjernes igen. Dette indikerer at kanalen i dette område naturligt vil kunne fjerne en del af det sedimenterede sediment. Det er på nærværende datagrundlag ikke muligt at sige hvor meget men under storme og andre meteorologiske forhold som giver høje strømhastigheder vil en del af det sedimenterede materiale kunne eroderes igen. Det skal understreges, at der er tale om usikre estimater baseret på skøn over de lokale forhold og en enkelt måneds data, som bør underbygges i en senere fase.

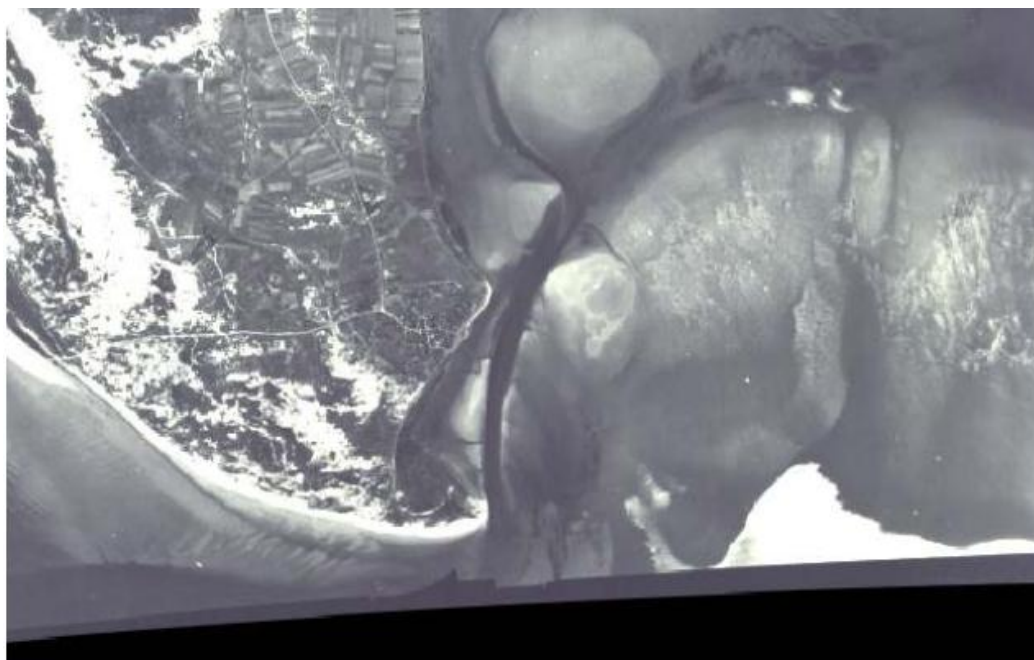
Den totale aflejring i renden over en måneds simulering er angivet i Tabel 5-2.

Tabel 5-2 Årlige oprensningmængder for de tre scenarier.

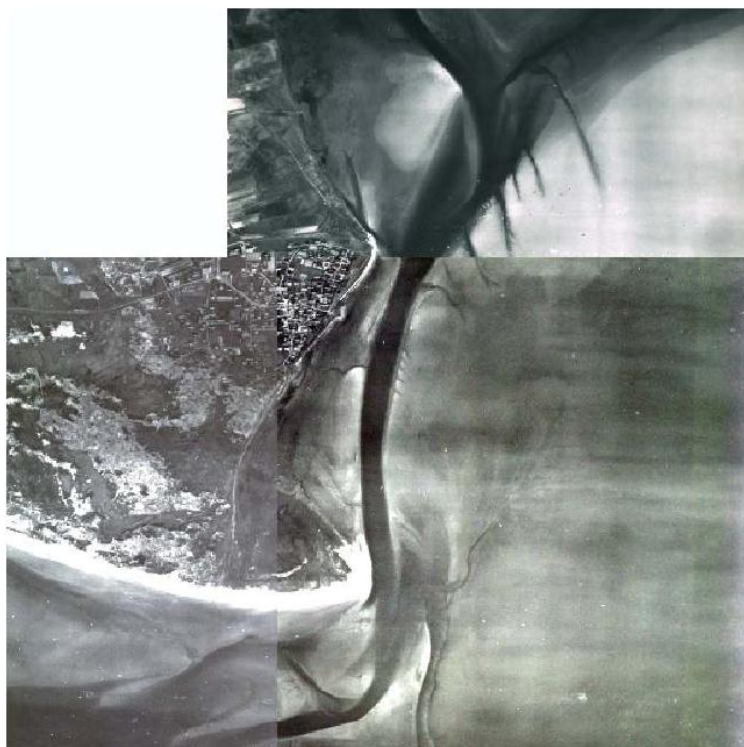
	Månedlig aflejring [m³]	Årlig aflejring [m³]
Grundscenarie	2100	25160
Variation 1	647	7760
Variation 2	1680	20160

6 VURDERING AF DE EKSPONEREDE OMRÅDER

Området syd for Hønen består hovedsageligt af sand. Sandtransporten i dette område er syret af de fremherskende bølge- og strømforhold. Historiske data, satellitfotos og lokale observationer viser, at området er særdeles morfologisk aktivt. Dette understøttes af, at området stort set ikke er begroet med bundvegetation, samt at der findes forskellige former for bundformer som krumodder og sandbanker. I Figur 6.1 til Figur 6.11 er satellitfotos fra 1945 til 2011 vist.



Figur 6.1 Satellit foto fra 1945



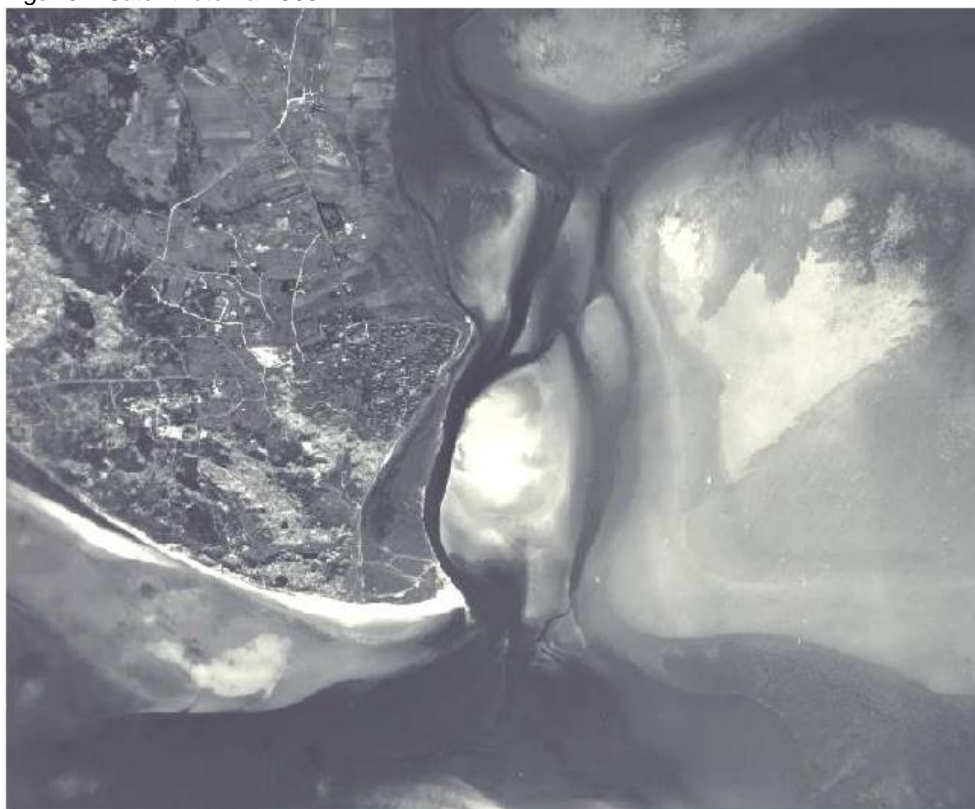
Figur 6.2 Satellitfoto fra 1954.



Figur 6.3 Satellit foto fra 1964.



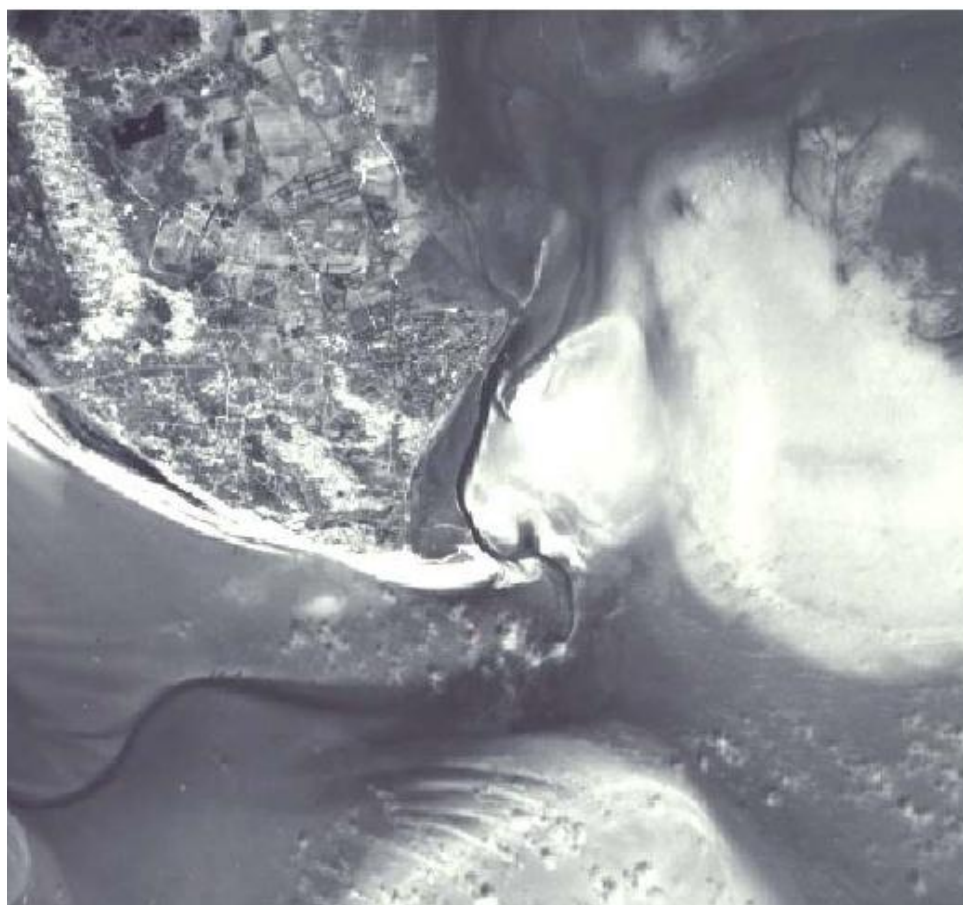
Figur 6.4 Satellit foto fra 1968.



Figur 6.5 Satellit foto fra 1974.



Figur 6.6 Satellit foto fra 1976.



Figur 6.7 Satellit foto fra 1984.



Figur 6.8 Satellit foto fra 1990.



Figur 6.9 Satellit foto fra 1995.



Figur 6.10 Satellit foto fra 2000.



Figur 6.11 Satellit foto fra 2005.



På satellitfotos ses tydeligt, at morfologien i området er meget variabel. Over de sidste 50 år har de forskellige løb flyttet sig mange gange. Krumodden syd for Hønen har flyttet sig imod øst og lukket det oprindelige løb, ligesom der er forsvundet flere tidevandskanaler på Keldsand. Det ses også tydeligt, hvordan bundformationerne flytter sig fra år til år. Det må forventes, at Krumodden vil forsætte sin vandring imod øst, ligesom det må forventes, at de observerede sandbanker og de skiftende lokaliteter for små og mellemstore tidevandskanaler også vil fortsætte. Enhver kanal som føres igennem dette område vil derfor være underlagt betydelige transporter af sediment på tværs af kanalen. På den baggrund vurderes det, at anlæg af en kanal igennem området syd for Hønen vil være forbundet med betydelige omkostninger til oprensning. Grundet den store morfologiske aktivitet og kanalens ringe tværsnitsareal må oprensning af kanalen påregnes at skulle foretages op til flere gange årligt.



7 VURDERING AF UDLEDNING AF OPGRAVET SEDIMENT

Hvis det opgravede materiale udledes kontinuert ved udgående strøm vil det udgøre 2 – 4% af den samlede mængde af fint sediment, som transporteres ind og ud af Knude dyb. Ca. 90% af dette materiale vil være sand som vil falde ned på bunden og indgå i den normale sedimenttransport. Indvirkningen bliver endnu mindre, hvis udledningen sker over hele tidevandsperioden. Det vurderes derfor, at det firkornede sediment ikke vil influere væsentligt på den naturlige balance. Lokalt vil det udledte sand muligvis kunne give sedimentationsproblemer. Især i perioder med små strømhastigheder. Udledningspunktet bør derfor vælges, således at disse minimeres.



8 KONKLUSIONER OG ANBEFALINGER

Formålet med indeværende undersøgelse er at belyse sedimentationsforholdene for en ny kanal til Sønderho Havn. Kanalen skal være 2 m dyb og 15-30m bred. Kanalen kan forløbe fra Sønderho til det dybere område nord for Sønderho eller mod syd til Knude Dyb, eller kombinere de to forløb.

De foreslåede kanaler forløber gennem et meget morfologisk aktivt område specielt fra nord for Hønen og mod sydøst, hvor satellitfotos viser en krummodde og sandbølger og meget skiftende morfologi over tid. Inden for Galgedyb forløber de foreslåede kanaler igennem nuværende tidevandskanaler, som satellitfotos viser er knap så morfologisk aktive. I den ydre, sydøstlige del forventes den primære tilbagefyldning at ske, når der er store bølger og høj vandstand. Tilbagefyldningen her vil være sand. I den indre del, fra havnen og mod nord, forventes tilbagefyldningen at være langsommere og mindre afhængigt af vejret. Det tilbagefyldte materiale forventes hovedsageligt at bestå af mudder og fint sand.

For at belyse tilbagefyldningen af fint materiale i den indre del har DHI opsat en model af det nordlige Vadehav, som strækker sig fra Mandø dæmningen i syd til Ho bugt i nord. Modellen er drevet af vandstandsvariationerne i Nordsøen. Modelperioden er 1. Marts 2008 – 1. April 2008. Perioden er en relativt urolig periode dog uden markante storme. Højeste vindhastighed er 14 m/s. Modellen inkluderer effekter af bølger, strøm og vandstand samt den spatiale fordeling af sediment.

Modelresultaterne viser en langsom tilbagefyldning i den indre del af kanalen ud for Sønderho og i de nordlige dele af kanalen (Grundscenariet og variant 2). Ud for Sønderho er sedimentationen størst for variant 1.

Størrelsesordenen er svær at udtale sig om, da den afhænger af baggrundskoncentrationen. Baggrundskoncentrationen er vejr- og årstidsafhængig. På basis af den periode, som er blevet undersøgt, er det DHI's vurdering, at der lokalt langs den indre kanal skal oprenses små mængder hvert år. Størrelsesordenen $7000 \text{ m}^3 - 25000 \text{ m}^3$ per år. Det anbefales i en senere fase at lave et mere præcist skøn på dette. Det skal nævnes, at DHI alene forholder sig til tilbagefyldning med fint materiale. DHI har ikke vurderet en eventuel tilbagefyldning med sand i den indre del.

Sedimentationen af sand i den ydre sydøstlige del af kanalen er ikke beregnet i ovenstående model. En modellering af dette ligger uden for denne opgave. På baggrund af historiske satellitfotos vurderes det, at tilbagefyldning i dette område typisk vil ske i forbindelse med blæsende vejr fra sydvest og vest, og at området er tilstrækkeligt morfologisk aktivt til at hel eller delvis tilbagefyldning må påregnes op til flere gange årligt.

Hvis det opgravede materiale udledes kontinuert på en position i Knudedyb ved udgående strøm, vil det udgøre 2 – 4% af den samlede mængde af fint sediment som transporteres ind og ud af Knude dyb. Det vurderes, at det firkornede sediment ikke vil influere væsentligt på den naturlige balance. En stor del af det udpumpede materiale vil være sand, som vil falde ned på bunden og indgå i den normale sedimenttransport.



Lokalt vil det udledte sand muligvis kunne give sedimentationsproblemer. Især i perioder med små strømhastigheder. Udledningpunktet bør derfor vælges, således at disse minimeres.

Det anbefales i en senere fase at lave et uddybende studie, som styrker konklusionerne i dette studie. Forud for videre studier anbefales det at lave en prøvegravning i de mest morfologisk aktive områder for at fastslå de reelle tilbagefyldningsmængder mere præcist. Mere konkret vil usikkerheden i estimatet af sedimentationen kunne reduceres betydeligt med en prøvegravning i såvel den indre som den ydre del på de steder, hvor der historisk set har været de største morfologiske ændringer.

På baggrund af ovenstående kan DHI ikke anbefale at udgrave en kanal i de sandede områder syd for Hønen da disse vil blive svære at holde åbne.

På baggrund af ovenstående mener DHI, at en gravet kanal fra Hønen til det dybe område nord for Sønderho alt andet lige vil have større potentiale for at minimere sedimentation af fint materiale, end en kanal som stopper ved Sønderho vil have. Men forskellen imellem de to er ikke større, end at det endelige valg bør baseres på en helhedsvurdering, hvor også anlægsomkostninger indgår.



9 **REFERENCER**

- /1/ Bartholdy, J. and Pejrup, M. (1994): "Holocene evolution of the Danish Wadden Sea", *Senckenbergiana Maritima*, 24(1), 187-209.
- /2/ Pedersen, J. (2004). Fine-grained sediment budgets for the Grådyb, Knudedyb, and Juvredyb tidal areas, the Danish Wadden Sea. Upubliceret prisopgave fra Geografisk Institut, Københavns Universitet
- /3/ Lumborg, U. and Pejrup, M. (2005): "Modelling of cohesive sediment transport in a tidal lagoon – An annual budget", *Marine Geology*, 218(1-4), 1-16.
- /4/ Postma, H. (1981): "Exchange of materials between the North Sea and The Wadden Sea", *Marine Geology*, 40, 199-213.
- /5/ DHI - Water and Environment, *Modelberegning af finkornet sedimenttransport i Grådybs tidevandsområde*, Rapport udarbejdet for Kystdirektoratet, 2005.