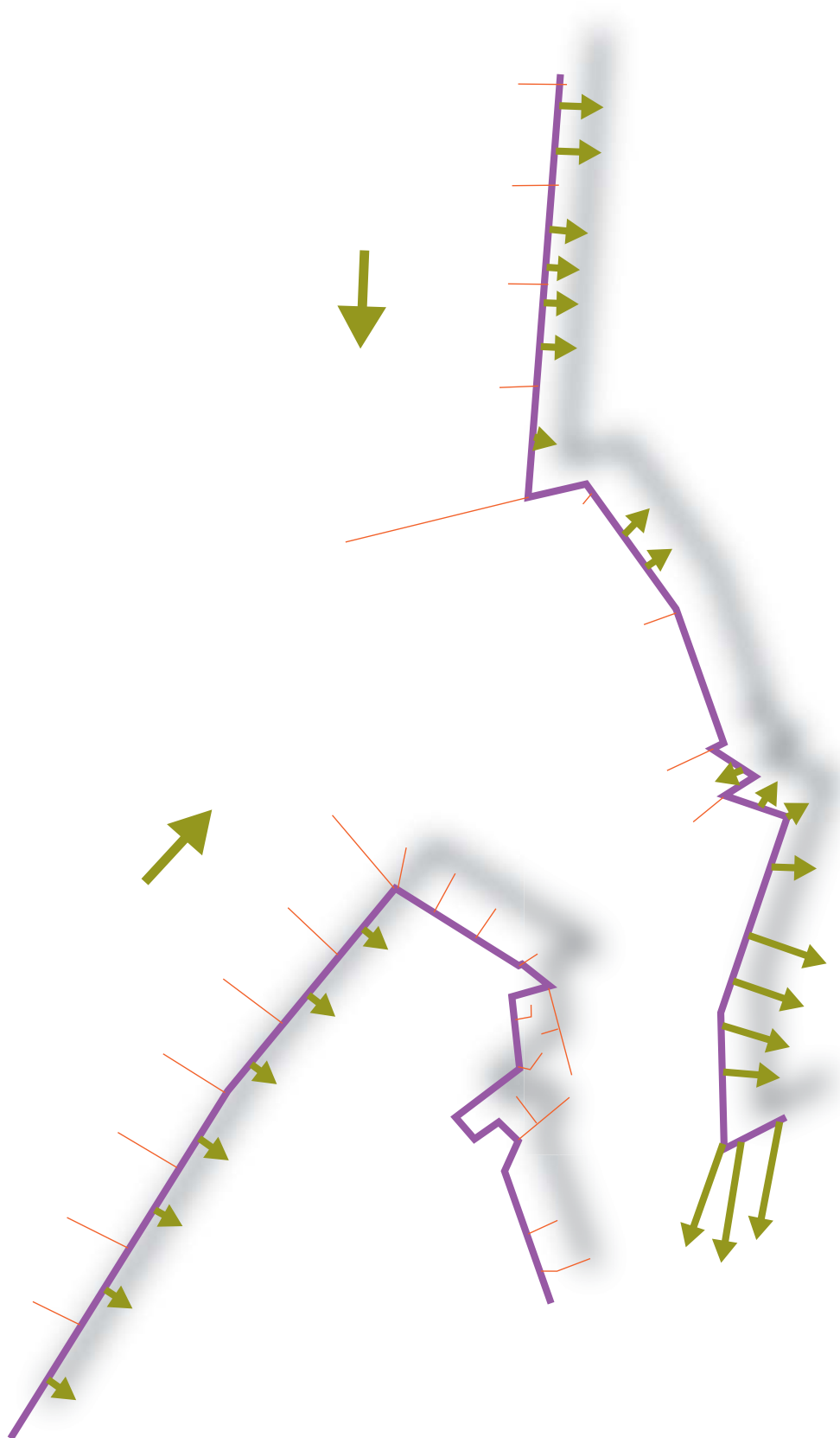


Thyborøn Kanal og Vestlige Limfjord



August 2012

Revisionsoplysninger

Projekt	Undersøgelse af Infrastruktur for vestlige Limfjord
Startdato	06.01.2010
Slutdato	31.08.2012
Projektansvarlig (PA)	Carl-Christian Munk-Nielsen
Projektleder (PL)	Signe Marie Ingvarsdén
Projektmedarbejder (PM)	Søren Bjerre Knudsen Holger Toxvig Carlo Sass Sørensen Carl Bisgaard Irene Andersen
Timeregistrering	10027001
Kontering	10027001
Godkendt den 31.08.2012	

Rapport	Thyborøn Kanal og Vestlige Limfjord
Forfattere	Signe Marie Ingvarsdén, Søren Bjerre Knudsen, Holger Toxvig, Carlo Sass Sørensen, Carl Bisgaard
Nøgleord	Thyborøn Kanal, Limfjorden, Ekstremvandstand, Løsninger, Uddybning, Kystbeskyttelse, Oversvøm- melsesrisiko, Høfder
Distribution	www.kyst.dk , Transportministeriet, www.dab.dk/anmeld.asp
Refereres som	Ingvarsdén, S.M., Knudsen, S., Toxvig H., Sørensen C. og Bisgaard C.. 2012, Kystdirektoratet, 2012. Thyborøn Kanal og Vestlige Limfjord, Teknisk rap- port, Kystdirektoratet, Danmark.

Resumé

Thyborøn Kanal og den vestlige Limfjord

Ingvarsdén, S.M., Knudsen, S., Toxvig H., Sørensen C. og Bisgaard C.. 2012, Kystdirektoratet, 2012. Thyborøn Kanal og Vestlige Limfjord, Teknisk rapport, Kystdirektoratet, Danmark.

Thyborøn Kanal har siden åbningen til Nordsøen i 1825 været genstand for diskussion. En af de vigtigste udfordringer i Thyborøn Kanal og den vestlige Limfjord er stigningen i stormflodsvandstanden. Vandstandsudviklingen fra 1958 til 2060 er beskrevet, herunder en beregnet 50 års MT-vandstand der fremgår af figur 4. De forhold, der betyder mest for stigningen af stormflodsvandstandene i den vestlige del af Limfjorden, er analyseret, og det har vist sig at være mindstetværsnittet i Thyborøn Kanal og den fremtidige havspejlstigning.

Der er mere end en enkelt udfordring i Thyborøn Kanal og den vestlige Limfjord. Der er taget udgangspunkt i den stigende vandstand, der medfører et større skadespotentiale som følge af oversvømmelse i den vestlige del af Limfjorden under stormflod, hvis den hidtidige udvikling fortsætter. Herudover har Thyborøn Havn et ønske om 10 meters besejlingsdybde i forhold til de nuværende 8 meters besejlingsdybde. Alle løsninger er derfor til slut behandlet med og uden uddybning. I takt med at Thyborøn Kanal er flyttet længere mod NØ, er oprensningen i indsejlingen blevet en større og større økonomisk udfordring. Samtidigt er der opstået problemer med bølgeuro i Thyborøn Havn, og erosionen på NØ-siden af kanalen er vokset. En dominerende udgift i alle løsninger er udgiften til kystforing af Limfjordstangerne. Posten udgør ved de nuværende forhold ca. 20 mio. kr. pr. år.

Efter en beskrivelse af de enkelte udfordringer er de enkelte løsninger analyseret. For at kunne sammenligne løsningerne er anlægsudgiften til kystbeskyttelse i den vestlige Limfjord og på kanalens NØ-side, samt fodringsudgiften på Limfjordstangerne prissat i en 50-årig periode. Endvidere er udgifterne til oprensning og anlægsudgiften til den valgte løsning prissat i samme periode. Resultatet er opgjort ekskl. og inkl. havspejlsstigning. Det samlede resultat fremgår af tabel 22. Det skal bemærkes, at en del af forudsætningerne for de anvendte løsninger hviler på antagelser og skøn, og beregningerne er baseret på simple formeludtryk. De skønnede udgifter skal derfor ses som et forsøg på at kvantificere udgifterne, så de kan sammenlignes på tværs af løsningerne og er ikke nøjagtige tal, der kan benyttes til udbud eller bevilling.

Under beskrivelsen af hver løsning er det beskrevet, hvorledes løsningen tager hånd om de enkelte udfordringer. Løsningen af de enkelte udfordringer diskuteres, og det konkluderes, at en højvandsbarriere imellem hofde 63 og 68 er den dyreste løsning, der tager mest effektivt hånd om stigningen i stormflodsvandstandene, men at denne løsning ikke tager hånd om de andre udfordringer. Den løsning, der tager hånd om flest af udfordringerne, og som kan løse stigningen i stormflodsvandstanden frem til 2060, er en udbygning af hofde 58 eller 59. Dog kræver denne løsning en lang uddybning af sejlrenden, hvis Thyborøn Havn skal have en besejlingsdybde på 10 meter. Det er endvidere konkluderet, at fjernelsen af sandpuden hjælper på bølgeuroen i Thyborøn Havn, men at fjernelsen har en uheldig effekt på stormflodsvandstanden i hele den vestlige Limfjord og især for Thyborøn Havn og by.



Motiv: Thyborøn, Harboøre Tange 2007 Foto: Hunderup Luftfoto, Hjørring

Indhold

Resumé	3
1 Indledning og formål	6
2 Beskrivelse af vandstandsproblematikken	9
Vandstandsudviklingen frem til 2005	9
Vandstandsudviklingen i fremtiden	12
Klimaændringer	12
Thyborøn Kanal	14
3 Beskrivelse af de enkelte udfordringer	16
Fortsættelse af den hidtidig udvikling	16
Større skadespotentialer i Limfjorden vest for Aggersund	16
Truet infrastruktur samt arealer	17
Vandmiljøet i fjorden i 2060	18
Sammenfatning	18
Ønske om større vanddybde i Thyborøn Kanal	19
Alternativer	19
Sammenfatning	19
Tilsanding/oprensning	20
Forøget tilsanding i indsejlingskorridoren til Thyborøn Havn	20
Tilsanding i fyrlinien	20
Forøget bølgekoncentration ved indsejlingen til Thyborøn Havn	20
Erosion på NØ-siden af kanalen (Agger Tange)	20
Kystbeskyttelse af Limfjordstangerne	23
4 Løsninger på de enkelte udfordringer	24
Større skadespotentialer i den vestlige Limfjord ved fortsættelse af hidtidig udvikling	24
Strategi 1: Udbygning af kystbeskyttelsen	24
Klimaeffekt i 2060	25
Sammenfatning	25
Strategi 2: Begrænsning af indstrømningen	25
Indsnævring mellem hofde 58/59 og hofde 72 i takt med udviklingen	25
Indsnævring mellem hofde 63 og hofde 68	27
Forlængelse af hofder på NØ-siden	29
Fremrykning af havneindsejlingen	31

Stenrev på fjordgrundene	33
Dæmning med skibsfartssluse inkl. forlængelse af hofde 58/59.	35
Højvandsbarriere - Lukning af kanalen under stormfloder.	37
5 Ønske om større vanddybde i Thyborøn Kanal	39
Uddybningen sammen med en fortsættelse af hidtidig udvikling indtil 2060	39
Hvis uddybningen kombineres med de undersøgte løsninger:	39
Indsnævring af Thyborøn Kanal ved hofde 58/59 og 72.	39
Indsnævring af Thyborøn kanal ved hofde 63 og 68.	40
Indsnævring af Thyborøn Kanal ved udbygning af hofder på Agger Tange (NØ-siden).	40
Stenrev på fjordgrundene	40
Dæmning med skibsfartssluse og gennemstrømningssluse samt indsnævring af Thyborøn Kanal ved hofde 58/59 og 72	40
Højvandsbarriere – lukning af kanalen under stormflod	41
Sammenfatning.	41
6 Diskussion	42
7 Referencer	45
Bilag	46
Tegninger	47



Motiv: Stemningsbilled fra Limfjorden 2010 Foto: Carlo Sørensen, KDI

Indledning og formål

Thyborøn Kanal har siden åbningen til Nordsøen i 1825 været genstand for diskussion. Et gennemgående tema har været fastholdelse af Limfjordstangerne og indsejlingen.

I bemærkningerne til lov nr. 477 af 9. december 1970, der ophæver Thyborønloven (LOV nr. 454 af 14/08/1946), blev der indstillet til ministeren "... at vandbygningsvæsenet holder den fortsatte udvikling under observation og viderefører de fornødne sikringsarbejder, samt på længere sigt fortsætter allerede påbegyndte overvejelser for i givet fald at kunne anviser løsning af Thyborøn-spørgsmålet i overensstemmelse med 1946-lovens principper gennem andre og billigere tekniske løsninger." (KI, 1975).

Kystdirektoratet har igennem de sidste 50 år foretaget flere undersøgelser. Denne undersøgelse skal ses som en forlængelse af disse og sætter fokus på, hvordan udfordringerne løses set i et helhedsperspektiv for hele den vestlige del af Limfjorden. Det er vurderingen, at en sådan omfattende undersøgelse er forudsætningen for, at man finder en holdbar og langsigtet løsningsmodel for hele området.

Undersøgelsens formål er at belyse virkningerne af de ændringer, der er sket med Thyborøn Kanal de sidste 50 år (Knudsen et al., 2011), samt at belyse virkningen af de ændringer, der forventes at ske de næste 50 år.

På denne baggrund skal der tages stilling til løsningsforslag og gennemføres de nødvendige konsekvensvurderinger, således at der foreligger et fuldt oplyst beslutningsgrundlag for en helhedsorienteret og fremtidssikret løsning for Thyborøn Kanal og den vestlige Limfjord.

Formålet med dette notat er at beskrive problematikken i Thyborøn Kanal og i den vestlige Limfjord. Hvad er udfordringerne, og hvilke løsningsmuligheder er der på udfordringerne?

Notatet gennemgår først forholdene omkring vandstanden i den vestlige Limfjord. I forbindelse med denne undersøgelse er der foretaget en analyse af højvandsstatistikkerne i 1956, 2005 og 2060. Det undersøges, om der er sket ændringer i højvandsstatistikken frem til i dag, og på grundlag heraf forsøges det at forudsige, hvordan højvandsstatistikken udvikler sig i fremtiden. Der er kort set på klimaændringernes betydning, og hvordan en fortsættelse af den hidtidige udvikling, fjernelse af sandpuden samt en eventuel uddybning kan påvirke vandstandene i fremtiden i den vestlige del af Limfjorden.

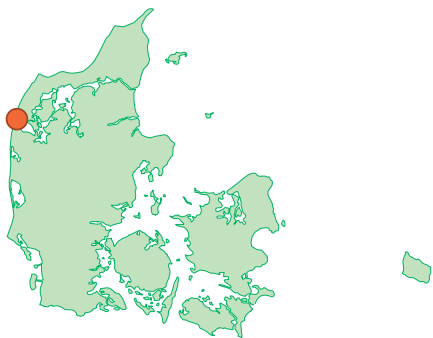
I beskrivelsen af de enkelte udfordringer, herunder kystbeskyttelsen på Limfjordstangerne, høfderne på NØ-siden af kanalen, oprensningen og forholdene omkring Thyborøn Havn i form af bølgeuro og besejlingsforhold samt ønske om større vanddybde til havnen, er der taget udgangspunkt i fortsættelse af den hidtidige udvikling. Der er undersøgt, hvilke værdier der beskyttes, og hvornår disse værdier er i fare i den vestlige Limfjord.

Thyborøn Havn, figurene 1 og 2, der i dag er en af Danmarks største fiskerihavne, har fået undersøgt årsagerne til forværringer omkring bølgeuro (Sloth et al., 2010). Det blev konkluderet, at en af årsagerne var den såkaldte sandpude. Det er i denne forbindelse undersøgt ved hjælp af bølgeanalyse, om fjernelse af sandpuden har en positiv effekt på bølgeuroen.

Som noget nyt er der i de seneste år opstået behov for oprensning i sejlrenden ind til Thyborøn Havn. Årsagen og mængderne bliver gennemgået i notatet. Endvidere er det undersøgt, hvorledes kanalens udvikling har andre konsekvenser såsom et øget pres på NØ-siden af kanalen.

En af de store udgifter i området går til sikring af Limfjordstangerne. I notatet er det undersøgt, hvor meget sand der benyttes i dag, og hvor meget der skal bruges i fremtiden.

Efter en beskrivelse af de enkelte udfordringer er løsningerne på de enkelte udfordringer gennemgået en efter en. Løsningerne er opdelt i to strategier. Første strategi undersøger konsekvensen af at fortsætte den hidtidige udvikling. Den anden strategi handler om at begrænse indstrømningen af vand under stormlavtryk. Der er foretaget en kvantitativ bestemmelse af de parametre, hvor det har været muligt. De øvrige parametre er bedømt kvalitativt.

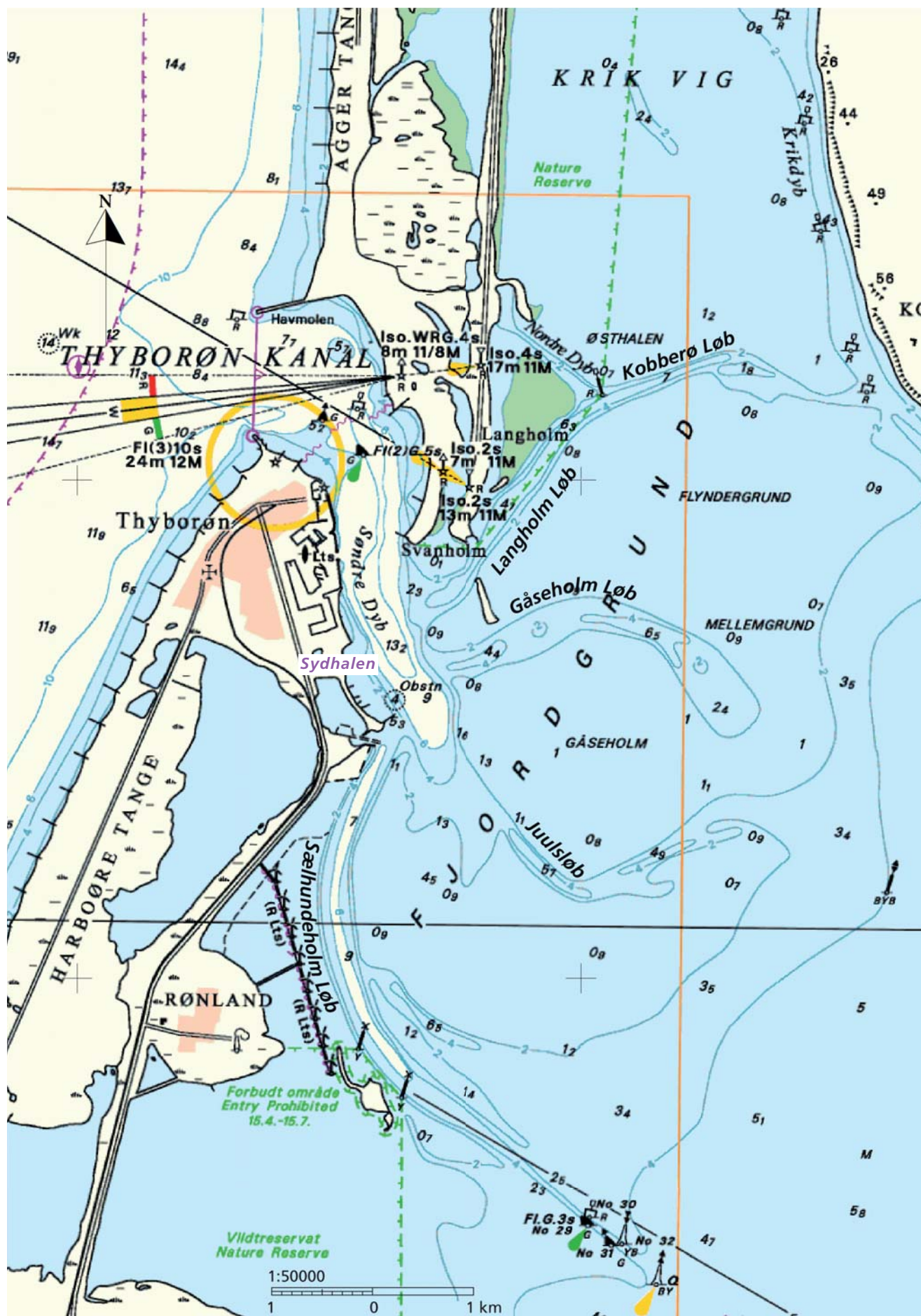


Figur 1: Ortofoto fra 2010 af Thyborøn Kanal og fjordgrundene. Copyright. DDO®, copyright COWI.

Under hver løsning er der foretaget en vurdering af behov for kystbeskyttelse i den vestlige Limfjord, i Thyborøn Kanal og på Limfjordstangerne. Endvidere er der foretaget et skøn over det fremtidige oprensningsbehov. Alle vurderingsparametrene er forsøgt prissat således, at de kan sammenlignes på tværs. Endvidere er der under hver løsning vurderet, hvordan løsningen tager hånd om de identificerede udfordringer. Der behandles i alt 8 forskellige løsninger.

Herefter analyseres Thyborøn Havns ønske om at få en større vanddybde ind til havneindsejlingen.

Til slut foretages en diskussion af de behandlede udfordringer og løsninger.

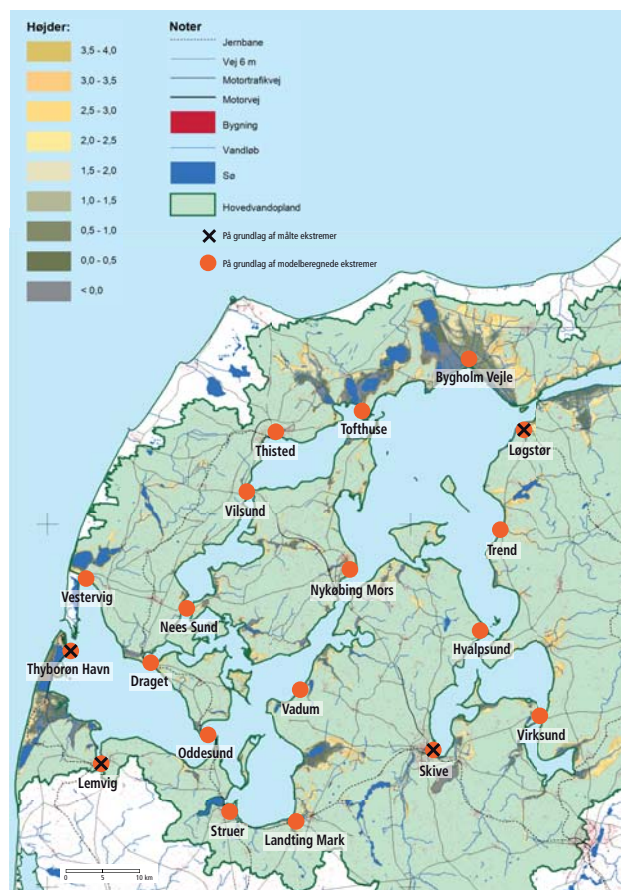


Figur 2: Oversigtskort over Thyborøn Kanal. Copyright DTK Kort & Matrikelstyrelsen

Beskrivelse af vandstandsproblematikken

Vandstandsudviklingen frem til 2005

I den tekniske rapport "Thyborøn Kanal 2009" (Knudsen et al, 2011) er der redegjort for, hvorledes vandstanden i den vestlige Limfjord er steget gennem de sidste 50 år. Der er ikke foretaget en egentlig analyse af havspejlsstigningen, men konklusionen er, at der er stigningsrater af middelvandstanden i Thyborøn Havn på mellem 0,2 og 0,8 cm/år.



Figur 3: De 20 stationer i den Vestlige Limfjord hvor der er foretaget beregning af en ny højvandsstatistik på baggrund af målte og modelerede data.

Christensen (2011a,b) har i "Stormflodsundersøgelse i Limfjorden" undersøgt stormflodsvandstande i år 1958, 2005 og 2060 og konkluderer:

"Modelleringen af de seks referencestorme på den historiske og næsten nutidige bathymetri har vist, at den gradvise udvikling af Thyborøn Kanal fra 1958 til 2005 i form af øgede dybder og strømningstværsnit i kanalen og løbene i Nissum Bredning influerer markant på maksimal vandstandenes niveau i den vestlige del af Limfjorden. Forøgelsen af maksimalvande er mest markant i Nissum Bredning, men påvirker også forholdene i den centrale del.

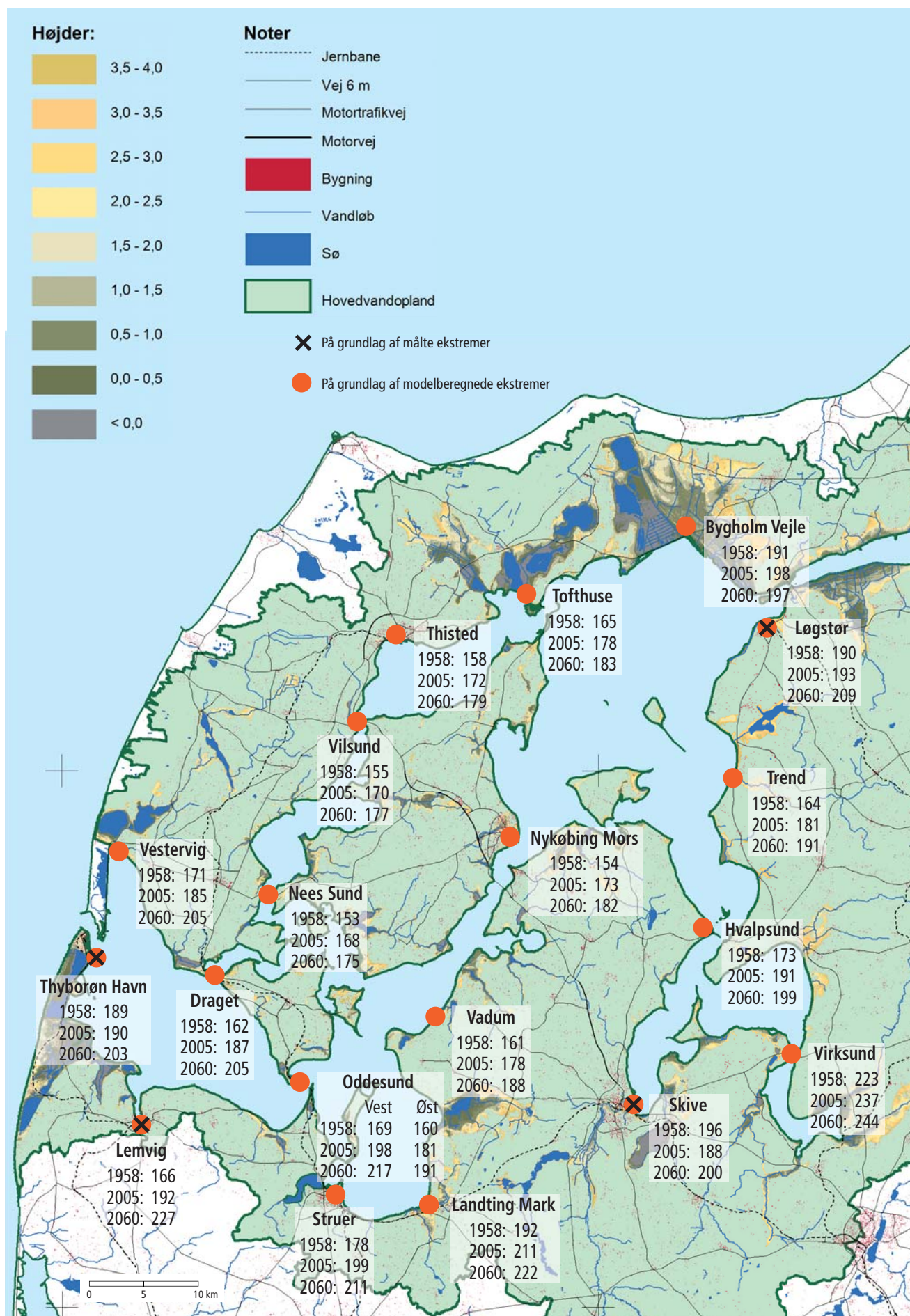
For Lemvig blev der for seks storme fundet forøgelse af maksimal vandstanden varierende fra 21-40 cm, med en middelværdi på hele 31 cm. Ved Løgstør varierede forøgelsen med 6-19 cm og ved Skive med 7-19 cm. Middelværdien af maksimal vandstandsforøgelsen er begge steder fundet til 14 cm. De her angivne værdier angiver den rene effekt hidrørende fra udviklingen af Thyborøn Kanal. I perioden fra 1958 til 2005 har der været en havspejlsstigning på omkring 5 cm, som skal adderes til de angivne værdier for at få den totale effekt. Det ses derfor, at udviklingen af Thyborøn Kanal i perioden 1958 til 2005 har en markant større indvirkning på forøgelsen af maksimal vandstanden end havspejlsstigningen."

Middeltidshændelsen (MT-vandstand) er den vandstand, der statistisk set forventes at indtræffe eller blive overgået inden for en vis tidsperiode (f.eks. hvert 20., 50. eller 100. år). Resultater for beregning af MT-vandstandene for 20 lokaliteter i den vestlige Limfjord (der er beregnet statistik både for Oddesund vest og øst) ses af Figur 4.

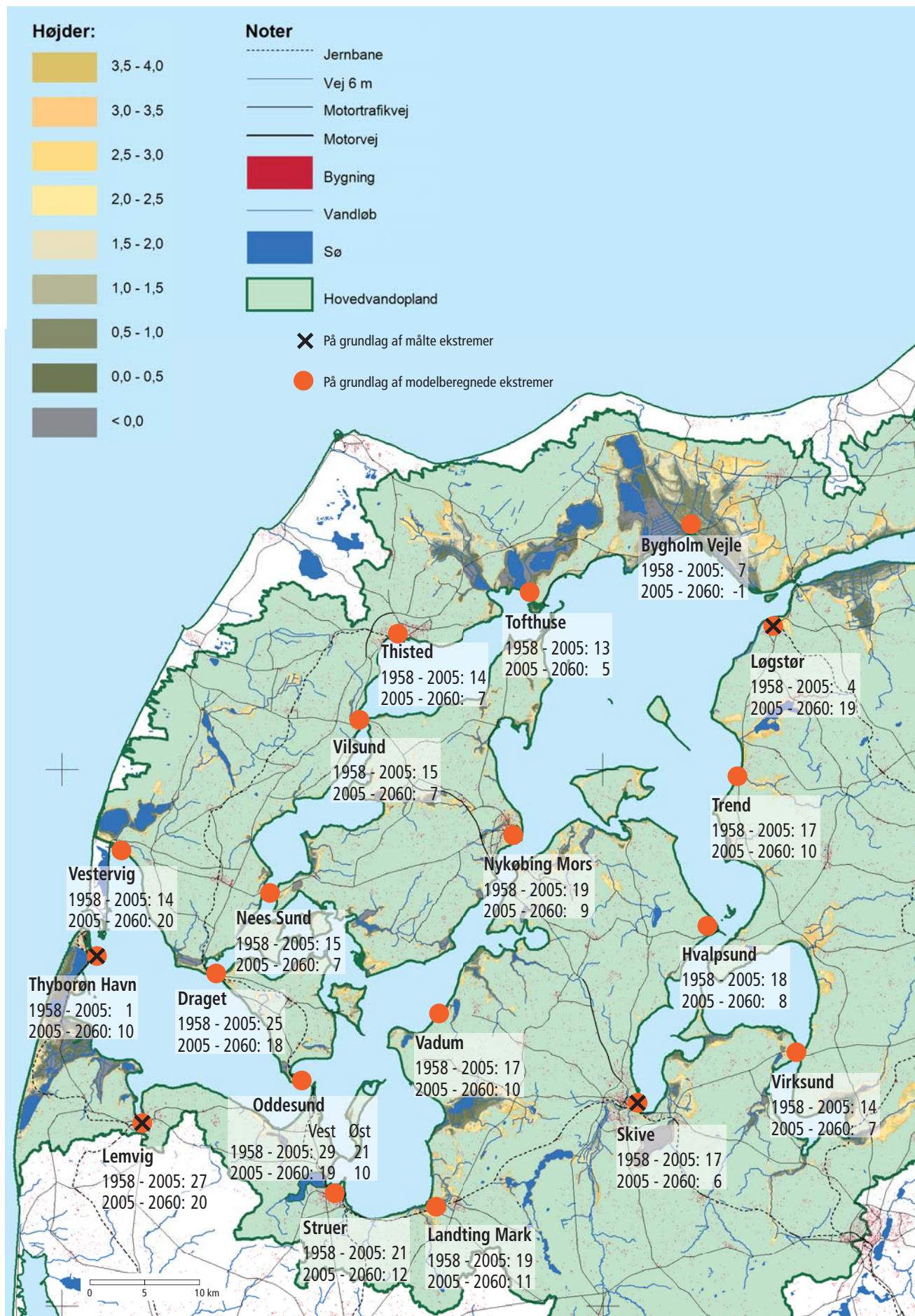
Vest for Oddesund er 50 års MT-vandstanden for de 5 stationer i år 1958 beregnet til mellem 162 cm og 189 cm DVR90, se Figur 4. I 2005 er 50 års MT-vandstanden beregnet til mellem 185 og 198 cm DVR90. Sammenlignes stationerne enkeltvis ses, at 50 års MT-vandstanden maksimalt er steget med 29 cm, hvis MT-vandstanden sammenlignes ved hjælp af trendfri MT-vandstande, se Figur 5. Medtages havspejlsstigningen i den mellemliggende periode, er forskellen 35 cm, se Figur 6.

Øst for Oddesund er tilsvarende beregninger foretaget. Vandet skal gennem den snævre åbning ved Oddesund, hvorfor der må forventes en dæmpning af effekten. 50 års MT-vandstanden ved de 15 stationer er i 1958 beregnet til mellem 153 og 223 cm DVR90, mens 50 års MT-vandstanden i 2005 er beregnet til mellem 168 og 237 cm DVR90, se Figur 4.

Hovedtræk i udviklingen af Thyborøn Kanal er en tilbagerykning af høfderne i kanalen på Agger Tange-siden, at Svanholm er forsvundet, og at det mindste kanal tværsnit er forøget. Samtidig er der sket en fremrykning af Harbøre Tange mod nord med den konsekvens, at Thyborøn Kanal (sejlløbet) er flyttet 300 m mod øst, samt at der er aflejret store mængder sand på sandpuden og foran indsejlingen til Thyborøn Havn. En detaljeret gennemgang af udviklingen gives i (Knudsen et al., 2011). Konsekvenser af udviklingen og fremtidige udfordringer gennemgås i kapitlet 'Beskrivelse af de enkelte udfordringer'.



Figur 4: Ny beregnet højvandsstatistik for den vestlige Limfjord. 50 års MT-vandstanden for 20 stationer. Bemærk at der er to stationer ved Odde-sund, en vest for broen og en øst for broen.



Figur 5: Ny beregnet højvandsstatistik for den vestlige Limfjord. Forskellen i 50 års MT-vandstanden for 20 stationer. Bemærk at der er to stationer ved Odde Sund, en vest for broen og en øst for broen.

Vandstandsudviklingen i fremtiden

Der er overordnet to forhold, der er bestemmende for vandstanden i den vestlige Limfjord i fremtiden. Det ene er en klimabetinget global og lokal havspejlsstigning, lokale landændringer og potentielt flere og kraftigere storme. Det andet er morfologiske ændringer i Thyborøn Kanal, enten som følge af en naturlige udvikling eller den valgte strategi for kystbeskyttelsen i Thyborøn Kanal, der indebærer, at større eller mindre vandmængder vil strømme ind i Limfjorden under storm i forhold til i dag.

Klimaændringer

Effekten af klimaændringer indtil år 2060 er vurderet i overensstemmelse med (Miljøministeriet og Transportministeriet, 2011):

“En vurdering af betydningen af klimaændringer for oversvømmelser fra hav og fjorde i Danmark er foretaget med udgangspunkt i prognoserne fra FN's Klimapanel's fjerde hovedrapport (IPCC, 2007), vurderinger i forbindelse med regeringens strategi for tilpasning til klimaændringer (Regeringen, 2008) samt fra DMI's (Danmarks Meteorologiske Institut) seneste vurdering om fremtidens havniveau udmeldt på Danmarks nationale Klimatilpasningsportal, www.klimatilpasning.dk, i maj 2010 (Klima- og Energiministeriet, 2010).

Konsekvenser af klimaændringerne op gennem dette århundrede i Danmark forventes at være en generel havspejlsstigning, flere ekstreme nedbørshændelser med kraftigere regnskyl og øget vintermedbør.

Fra DMI forventes en generel havspejlsstigning på 10 – 120 cm frem til år 2100. Heri indgår dels et bidrag ud fra den nyeste viden om dynamiske processer i iskapperne, som ikke var inkluderet i prognoserne i FN's Klimapanel's rapport, og dels er der taget hensyn til regionale forskelle og lokale forhold som landhævning.

Hertil kommer en mindre stigning i middelvinden (1-4 %) og i de maksimale vindhastigheder/stormstyrker (1-10 %) samt mulige ændrede meteorologiske strømningsmønstre. Modelleringer af vindforhold foretaget af DMI viser, at især den jyske vestkyst kan blive berørt af mere ekstreme stormflodsvandstande, mens der ikke kan udledes en entydig effekt ved de indre kyster, udover den påvirkning et generelt stigende havspejl medfører i forhold til ekstreme vandstande.

I screeningen for potentielle fremtidige oversvømmelser kvantificeres klimaændringerne udelukkende i forhold til en generel havspejlsstigning, dvs. uden potentielle tillæg for flere og kraftigere storme. De fremtidige ekstremvandstande tillægges et bidrag svarende til den generelle havspejlsstigning. Vindbidragene medregnes ikke, idet de er små, og der ikke for alle farvande er entydige resultater, der peger i en bestemt retning i påvirkningen af ekstremvandstandene [indtil år 2060].

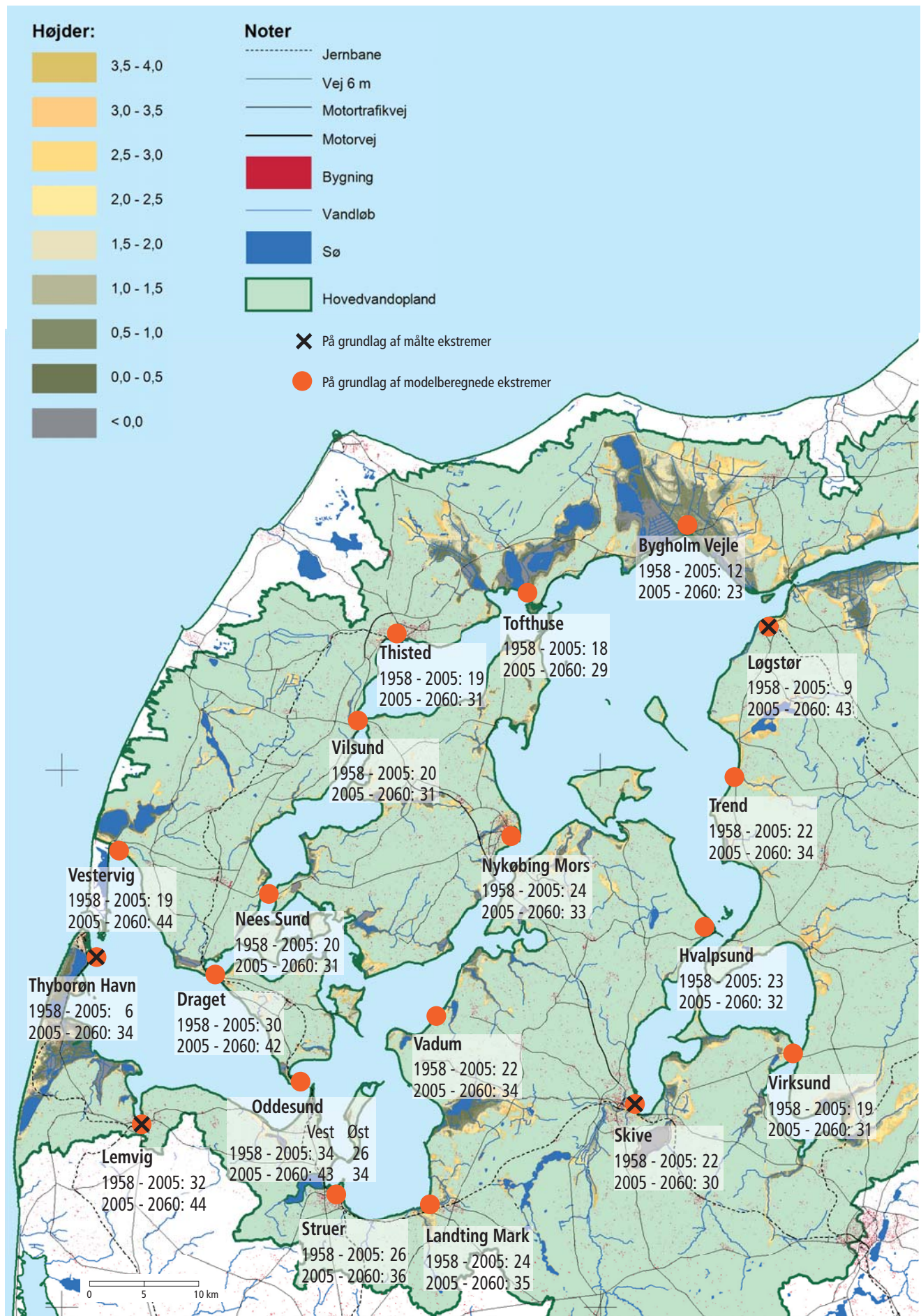
For at perspektivere effekten af en havspejlsstigning til en gennemsnitlig levetidsbetragtning, er denne vurderet i et 50-årigt perspektiv, dvs. frem til år 2060. Til brug for screeningen er der anvendt en generel havspejlsstigning på 30 cm, der forventes at indtræffe i et tidsinterval omkring år 2060, f.eks. år 2055-2065. Indførslen af et tidsinterval er foretaget for at signalere usikkerheden på den fremtidige havspejlsstigning. En 30 cm stigning synes dog ud fra den nuværende udvikling at være sandsynlig i dette århundrede.

For nemheds skyld, og for at kunne vurdere betydningen af landhævning, refereres denne vandstandsstigning til år 2060.

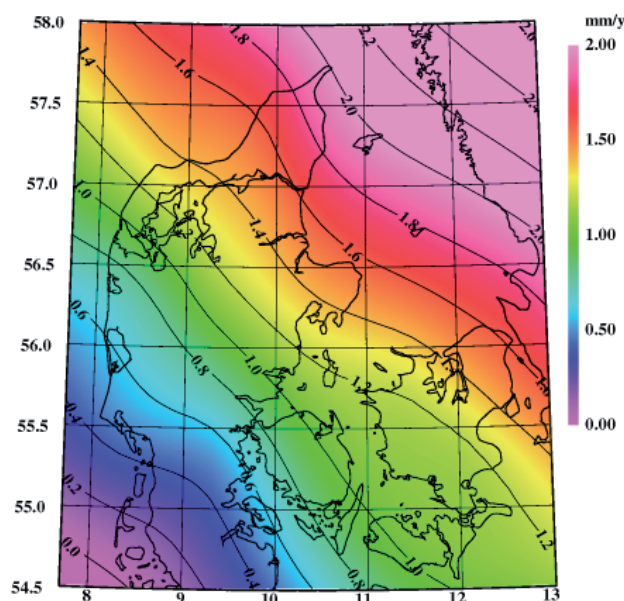
Havspejlsstigningen er udregnet ud fra DMI's vurdering om fremtidens havniveau (www.klimatilpasning.dk), hvor der forudses en stigning på 30 – 100 cm frem til år 2100 (heri er ikke indregnet øget vindbidrag og landhævning, i modsætning til ovenfor nævnte interval på 10 - 120 cm). Ud fra en omregning til år 2060 af DMI's forudsete stigningsinterval i år 2100 og afsættelse af intervallets 2/3-dels punkt fås stigningen på 30 cm frem til år 2060. I den videre screening for potentielle fremtidige oversvømmelser fra hav og fjorde, og kombinerede oversvømmelser fra hav og vandløb, indregnes et geografisk midlet bidrag fra landhævning indenfor hvert hovedvandopland, hvilket medfører, at den reelle klimabetingede vandstandsstigning bliver lidt mindre (22 – 28 cm)”.

Havspejlsstigningen indtil år 2060 for vestlige Limfjord er beregnet som en generel havspejlsstigning på 30 cm med et fradrag for landhævning. Lokale sætninger af havnearealer er generelt ikke medtaget, jf. (Piontkowitz og Sørensen, 2011).

De absolutte rater for landhævning i vestlige Limfjord er på mellem 0,8 og 1,4 mm/år, Figur 7. I gennemsnit svarer dette til 12 cm på 100 år og dermed 6 cm frem til år 2060. Havspejlsstigningen i den vestlige Limfjord frem til 2060 vurderes således til +24 cm i forhold til vandstanden i 2010.



Figur 6: Ny beregnet højvandsstatistik for den vestlige Limfjord. Forskellen i 50 års MT-vandstanden for 20 stationer inkl. havspejlsstigning på 5 cm fra 1958 til 2005 og 24 cm fra 2005 til 2060. Bemærk, at der er to stationer ved Oddesund, en vest for broen og en øst for broen.



Figur 7: Absolutte rater for landhævning i mm/år, © DTU-Space, (Vognsen et al, 2011).

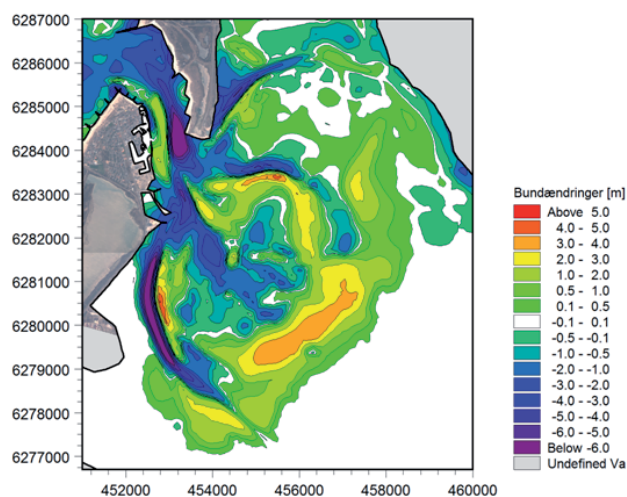
Thyborøn Kanal

Ud over klimaændringerne er der flere forhold i Thyborøn Kanal, der i fremtiden vil påvirke vandstanden i vestlige Limfjord. I det følgende vil der blive givet en kort beskrivelse af de øvrige bidrag til stigninger i ekstremvandstandene under stormlavtryk.

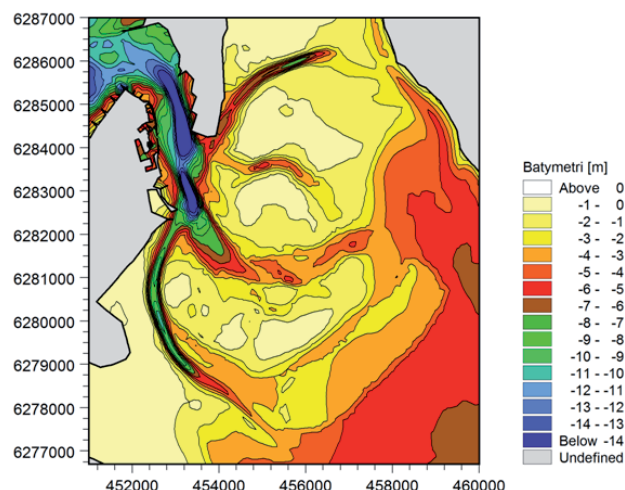
Fortsættelse af hidtidig udvikling i Thyborøn Kanal

Der vil ske en forøgelse af Thyborøn Kanals mindste tværsnit og dermed en forhøjelse af stormflodsvandstandene.

Hvordan udviklingen af Thyborøn Kanal, løbene og grundene vil blive i fremtiden er vanskeligt at forudsige. Til brug for en vurdering af udviklingen er en bathymetri for 2060 konstrueret ud fra en kvalitativ vurdering og antagelse af, at den hidtidige udvikling (1958-2005) vil fortsætte. I perioden 1958 til 2005, jf. Figur 8, er der sket erosion i Thyborøn Kanal og i Sælhundeholmløbet med op til 6 meter. Erosionen skyldes, at Thyborøn Kanal er vandret mod øst, mens erosionen i Sælhundeholmløbet skyldes en forskydning af løbet mod vest. Der iagttages endvidere stor aflejring foran havneindsejlingen samt på fjordgrundenes sydøstlige del.



Figur 8: Bathymetriske ændringer i perioden 1958 til 2005. Positive værdier indikerer aflejring, mens negative værdier indikerer erosion (Christensen, 2011a).



Figur 9: Konstrueret 2060bathymetri baseret på en fortsat udvikling af Thyborøn Kanal (Christensen, 2011a).

I den fremskrevne bathymetri for 2060, Figur 9, ses en formodet fortsættelse af udviklingen 1958 til 2005. Hidtidige erosionsområder vil også opleve erosion de næste 50 år. En forudsigelse af løbenes placering om 50 år har ikke været muligt, hvorfor der er fokuseret på volumen i stedet. Hermed sikres, at den forudsagte vandmængde kommer ind og ud gennem Thyborøn Kanal, selv om løbenes placering ikke bliver i overensstemmelse med den forudsagte bathymetri.

Fremskrivning af højvandsstatistikker er foretaget for 2060 på baggrund af den konstruerede bathymetri (Christensen, 2011a). Vest for Odesund viser resultaterne en fremtidig stigning i den trendfri 50 års MT-vandstand for de 5 stationer, se Figur 4, på omkring 20 cm. Hvis havspejlsstigningen lægges til, bliver 50 års MT-vandstanden over 40 cm højere i 2060 end i 2005. Det vil sige, at halvdelen af stigningen i 50 års MT-vandstanden frem til 2060 forklares ved en fortsættelse af den hidtidige udvikling af Thyborøn Kanal, mens den anden halvdel tilskrives havspejlsstigningen, se Figur 5 og 6.

50 års MT-vandstanden ved de 15 stationer øst for Odesund er beregnet til mellem 153 og 223 cm DVR90 i 1958. I 2005 var 50 års MT-vandstanden mellem 168 og 237 cm DVR90, og et estimat for 50 års MT-vandstanden i 2060 er på 175 til 244 cm DVR90. Sammenlignes stationerne enkeltvis ses, at de trendfri 50 års MT-vandstande er steget med maksimalt ca. 20 cm, se Figur 5. I gennemsnit for alle stationer er stigningen i 50 års MT-vandstanden fra 2005 til 2060 beregnet til 8,5 cm øst for Odesund. Havspejlsstigningen mellem 1958 og 2005 er på +5 cm og skal fratrækkes 1958-vandstandene, hvis havspejlsstigningen skal medtages, se Figur 4.

Der er udover en modellering af højvandsstatistikker for 20 stationer, foretaget en højvandsstatistik baseret på korrektion af målinger for højvandsstatistikkerne for Thyborøn Havn, Lemvig, Løgstør og Skive. Som det fremgår af tabel 1, vil en stormflodsvandstand i Lemvig øges fra 192 cm til 227 cm DVR90 i perioden 2005-2060. Den samlede stigning kan opdeles i 2 bidrag – selve stormens styrke – altså de 192 cm, hvortil der i 2060 vil komme et ekstra bidrag fra kanaludviklingen på 35 cm. Herudover vil en formodet havspejlsstigning bidrage med 24 cm. Det betyder, at 50-års stormflodsvandstanden i år 2060 vil øges med op til 59 cm i forhold til 2005 i Lemvig.

Højvandsstatistik	Metode	Station			
		Thyborøn	Lemvig	Løgstør	Skive
Med 1958 kanaltværsnit	Modellering	189	166	190	196
Nuværende statistik, 2007	Statistik	184	177	181	184
Med 2005 kanaltværsnit	Korrigeret statistik	190	192	193	188
Med år 2060 kanaltværsnit	Korrigeret statistik	203	227	209	200

Tabel 1: Resultatet af analysen af stormflodsvandstandene og efterfølgende beregnet højvandsstatistik, se figur 3 for stedsangivelse. Tallene er vist i cm DVR90 som 50 års middeltidsvandstand. Til sammenligning er vist den nuværende højvandsstatistik fra 2007. I anden kolonne er metode for statistikken angivet. 1958 er resultatet af en ren modellering, 2005 og 2006 er en korrigeret statistik.

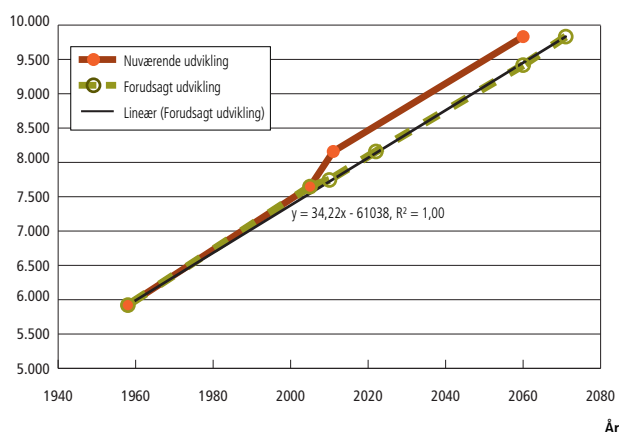
Fjernelse af sandpuden

I de senere år har Thyborøn Havn oplevet en forværring af besejlingsforholdene med tilsanding i Thyborøn Kanal, og i perioden fra 2004 til 2009 har havnen endvidere oplevet en forværring af bølgeuroen i Thyborøn Havn. Specielt i indsejlingsområdet er der observeret større dønninger. Dønningerne giver problemer ved havnens dækværker i form af voldsomme overskyl over specielt søndre mole og medfører endvidere bølgeuro i havnen (Sloth et al., 2010).

Sloth et al. (2010) fandt, at aflejring af sand ud for Thyborøn var en medvirkende årsag. I 2010 blev den såkaldte sandpude fjernet. Bilag 1 indeholder et teknisk notat, der gennemgår fjernelse af sandpuden og betydningen for bølgeuroen.

Christensen (2011b) har foretaget beregninger med 3 storme til belysning af effekten af fjernelse af sandpuden. Beregningerne viser, at fjernelsen af sandpuden betyder stigninger på op til 3,5 cm på stormvandstandene vest for Oddesund, 1 cm øst for Oddesund og 4 cm i Thyborøn Havn.

Tværsnit hofde 63-68 (m²)



Figur 10. Udvikling i mindste tværsnit mellem hofde 63 og 69. Den grønne linje viser den forudsagte udvikling, og den orange viser udviklingen efter 2011.

Christensen (2011a) har foretaget et skøn for udviklingen af det mindste tværsnit. Resultatet viser, at tværsnittet i 2010 skulle være 7.744 m². Da sandpuden var fjernet, og der efterfølgende blev pejlet, var tværsnittet vokset med 415 m². En fremskrivning viser, at tværsnittet i 2010 nu passer til en forudsagt udvikling i 2022, Figur 10. En tilbagevendende fjernelse af sandpuden vil medføre at tværsnittet, der var skønnet til at forekomme i 2060, nu er fremrykket til 2046. I 2060 vil det mindste tværsnit være vokset til 9.417 m², hvis Thyborøn Kanal får lov til at udvikle sig. Dette ligger meget tæt på det tværsnit, der er i ligevægt med tidevandsprismet for Nissum Bredning. Derfor må man forvente, at udviklingen vil gå langsommere herefter.

Uddybning

I Havnepakke II er der afsat 1 mio. kr. til at undersøge, om kanalen kan uddybes til en besejlingsdybde på 10 meter. Kystdirektoratet har vurderet udgifterne ved at etablere og opretholde en vanddybde på 10 meter i Thyborøn Kanal fra Nordsøen og frem til Thyborøn Havn, jf. næste kapitel samt i bilag 2. Udgangspunktet er, at der til enhver tid skal være mindst 10 meter (kote -10 m DVR90) overalt i indsejlingen til Thyborøn Havn. Et resultat af undersøgelsen foretaget af Christensen (2011a,b) er, at et øget tværprofil i kanalen har indflydelse på sandsynligheden for forhøjet vandstand i den vestlige Limfjorden. Christensen (2011b) påviser, at stormflodsvandstanden i Limfjorden vil blive forøget med 1-2 cm, hvis besejlingsdybden øges til 10 m DVR90, dvs. at der uddybes til 12,5 m DVR90. Den højeste stigning vil ske i Thyborøn Havn.

Beskrivelse af de enkelte udfordringer

I forbindelse med udviklingen af Thyborøn Kanal er der en lang række udfordringer, der griber ind i hinanden. Udfordringerne spænder over en kanal, der udvider sig med flere konsekvenser som erosion langs NØ- siden af Thyborøn Kanal (langs Agger Tanges høfder) og et øget oprensings- og fodringsbehov, til stigende maksimalvandstande og dermed et højere skadespotentiale i den vestlige Limfjord. Endvidere skaber forholdene i kanalen bølgeuro og påvirker sejladsikkerheden.

Fortsættelse af den hidtidig udvikling

Gennem tiden har der været flere forskellige strategier og praksis som har ændret sig i takt med at der er ind samlet mere og mere viden. En fortsættelse af hidtidig praksis og strategi i Thyborøn Kanal betyder, at høfderne på Agger Tange afkortes i takt med erosionen. Nuværende praksis er gennemført ud fra en strategi besluttet i 1995 (Kystinspektoratet, 1995), hvor der konkluderedes, at en kontrolleret tilbagerykning kunne fortsætte i de næste 10 år uden risiko for vejdamning og færgeløje. Som konsekvens af den mellemliggende periodes udvikling og ovenstående strategi er der udført afkortning af høfderne i kanalen på Agger Tange (NØ-siden), og Svanholm er forsvundet, se Tegning 1. Endvidere viser de seneste besigtigelser af høfderne på NØ-siden, at høfde 65 skal afkortes yderligere eller repareres, hvilket senest skete i 2005.

Udviklingen har endvidere medført, at der er sket en fremrykning på Harboøre Tange-siden med den konsekvens, at Thyborøn Kanals løb er flyttet 300 m mod øst, samtidig med at der er sket en kraftig forøgelse af Thyborøn Kanals mindste tværsnit og dermed en forhøjelse af stormflodvandstandene. Flytningen af løbet har tillige medført, at der sker tilsanding ved indsejlingen til Thyborøn Havn. Den forringede dybde er medvirkende årsag til, at havnen i de senere år har oplevet stigende bølgeuro.

Større skadespotentiale i Limfjorden vest for Aggersund

Fastholdes den hidtidige udvikling, vil der ske en øget indstrømning af vand under passage af kraftige stormlavtryk. Årsagen er, at Thyborøn Kanal vil fortsætte med at udvide sig. Samtidig forventes der en klimabetinget havspejlsstigning, se foregående kapitel. Dette medfører et øget skadespotentiale i Limfjorden vest for Aggersund.

Der er foretaget en analyse af skadespotentialet i den vestlige Limfjord for 5 forskellige vandstande (S1 til S5): S1 - 190 cm DVR90, S2 - 205 cm DVR90, S3 - 214 cm DVR90, S4 - 229 cm DVR90 og S5 - 253 cm DVR90.

Vandstandene er valgt ud fra historiske hændelser (S1 og S2), der er tillagt en klimabetinget havspejlsstigning frem til år 2060 (S3 og S4). Endvidere er valgt et ekstremt scenarie (S5).

Piontkowitz og Sørensen (2011) beskriver følgende gældende for Limfjorden om oversvømmelsespotentialer ved vandstandene S1-S4, jf. kilde for yderligere information om metode:

"Der vil ikke ske oversvømmelse langs den Jyske Vestkyst, f.eks. grundet overløb på klitter og skråningsbeskyttelse [ud fra screenings ved vandstandene] 316 cm DVR90 og 340 cm DVR90. Under stormflod er der normalt en kraftig gradient i vandstanden fra vestkysten ind igennem kanalen til Thyborøn by. Kajer og havneområder oversvømmes ved S1 (190 cm), og oversvømmelsen kan potentielt brede sig til en del beboelsesejendomme ved S2 (205 cm) og S4 (229 cm), og hvor der muligvis er en lav tærskel for oversvømmelse.

Der er etableret et dige rundt om virksomheden Cheminova på Rønland, der skulle være dimensioneret til forekommende ekstremvandstande. Diget er muligvis ikke dimensioneret til screeningsvandstandene S2-S4. Ligeledes er der diger mod fjorden til beskyttelse af Harboøre, hvorfor oversvømmelsen er svær at vurdere, da åbne sluser i [havoversvømmelses]modellen oversvømmer store områder allerede ved lave vandstande.

Oversvømmelse af de yderste rækker sommerhuse mod Gjeller Sø på Gjellerodde og af marina og feriecenter ved Nørrevinkel (S1-S4).

Oversvømmelser i Lemvig. Oversvømmelsesomfanget er dog usikkert grundet eksisterende højvandsbeskyttelse på havnen, hvor skot lukkes i tilfælde af stormflod. Ved S4 oversvømmes området mellem havnen og Vestergade/Torvet, og der er via Enghaven forbindelse til Lemvig Sø, hvor ejendomme på begge sider af vejen oversvømmes tillige med en del kolonihaver ned til søen.

Oversvømmelse ved Krik og ved Helligsø Drag (S1/S2), der udvides ved S3/S4, hvor også sommerhusområde ved Oddesund oversvømmes.

Oversvømmelse af lystbådehavn og kajer i erhvervshavn i Struer (S1). Ved S4 oversvømmes dele af Fiskergade, Østergade og Bredgade. I Skive oversvømmes lystbådehavn og erhvervsområde ved S1. Der kan være en oversvømmelsesproblematik i forbindelse med udløbet af Karup Å og i forbindelse med boligområde mellem Ågade og Englyst. I Thisted oversvømmes ved S2 kajer, havn og ejendomme nord for Østerbakken. Ved S4 udvider oversvømmelsen sig til vest for Thisted Kystvej og Østerbakken.

I Nykøbing Mors oversvømmes en stor del af byen ved S2 og S4. Der sker oversvømmelse af boligejendomme på begge sider af Nørrebro og N. A. Christiansensvej, i området vest for den gamle bydel af Provst Schades Alle og Klingenbergsgade såvel som ved golfbanen. I Løgstør oversvømmes bydelen nær havnen ved S2.

De analyser, der er foretaget her, omhandler det potentielle oversvømmelsesområde og ikke det rent faktiske. Det vil sige, at alle kort og analyser er meget konservative. I tilfælde af stormflod

optræder de højeste vandstande normalt relativt kortvarigt. Vandet strømmer ind i og udbreder sig ud over et givent område i et vist tidsrum. Områder beliggende bag diger og længere inde i land vil derfor ikke nødvendigvis opleve oversvømmelse, når vandstanden ved kystlinjen overstiger terrænhøjden længere inde i land. Omvendt kan områder, der ikke fremgår af analysen oversvømmes ved f.eks. digebrud.

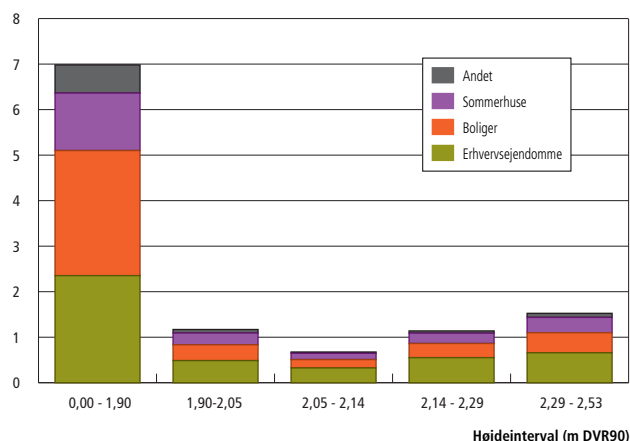
Truet infrastruktur samt arealer.

Ud fra OIS-databasen¹ er der foretaget en sammentælling af de ejendomme, der har en tildelt ejendomsværdi, og som ligger i de potentielle oversvømmelsesområder. Endvidere er benyttet Naturstyrelsens MAPINFO-lag over Naturområder, samt KMS's TOP10 DK – MAPINFO-lag over bygninger, veje, jernbaner m.m.

I vurderingen af, hvor megen infrastruktur og hvor store arealer der er truet af oversvømmelse, er der foretaget en analyse af området imellem 0 og 2,53 m DVR90. I analysen er benyttet et gennemsnitstal for 50 års MT-vandstanden, som dækker hele den vestlige Limfjord. Gennemsnittet for 50 års vandstanden for alle 20 stationer er beregnet til 2,0 meter DVR90 i 2060. Tillægget for havspejlsstigningen er 24 cm og medfører, at gennemsnittet i 50 års MT-vandstanden inklusiv havspejlsstigning bliver 2,24 m DVR90 i 2060.

De oversvømmelsestruede bygninger er de bygninger, der ligger under koten svarende til 50 års MT-vandstanden i 2060. Hvis en bygning oversvømmes, vil bygning og indbo tage skade. Skaden afhænger af vandstanden over gulvniveau. Ifølge (Toxvig et al., 2006) vil en vandstand på 0,5 m over gulvniveau betyde en skade på gennemsnitligt 0,67 mio. kr. for helårshuse, gennemsnitligt 0,685 mio. kr. for erhvervsjendomme (primært landbrug) og gennemsnitligt 0,443 mio. kr. for sommerhuse.

Ejendomsværdi (Mia. kr.)



Figur 11: Opgørelse i 5 højdeintervaller over ejendomsværdien i 2011 for alle bygninger, der kan oversvømmes.

Det maksimale skadespotentiale under en 50 års MT-vandstand på 1,9 m DVR90 i 2005 vil være på 3,0 mia. kr., hvis det antages, at alle ejendomme under 1,9 - 0,5 m = 1,4 m DVR90 får en skade svarende til ovenstående afsnit. I 2060 er 50 års MT-vandstanden i gennemsnit beregnet til at stige til 2 m DVR90 i hele vestlige Limfjord. Her bliver den beregnede "skade"-vandstand 1,5 m DVR90. Antages det, at der ikke sker ændringer i ejendomsmassen, vil det maksimale skadespotentiale være 3,2 mia. kr. Medregnes havspejlsstigningen vil 50 års MT-vandstanden være 2,24 m DVR90 (sokkel kote på: 1,74 m DVR90), og det maksimale skadespotentiale vil stige til 3,7 mia. kr. Alle priser er 2011-priser.

Opgøres ejendomsværdien for intervallerne vist i Tabel 2, ses resultatet af Figur 11. I alt kan der berøres ejendomsværdier til et beløb på 11 mia. kr.

Bygninger/ejendomme:

Ejendomstype \ Højdeinterval	0,00 - 1,90 [m DVR90]	1,90-2,05 [m DVR90]	2,05 - 2,14 [m DVR90]	2,14 - 2,29 [m DVR90]	2,29 - 2,53 [m DVR90]	Total
Erhvervsjendomme	893	189	109	173	208	1.572
Boliger	3.118	394	208	352	499	4.571
Sommerhuse	1.500	303	158	262	390	2.613
Andet	392	58	20	37	66	575
I alt	5.903	944	495	824	1.163	9.331

Tabel 2. Antal erhvervsjendomme, boligejendomme, sommerhusejendomme og andre ejendomme (herunder alle offentlige bygninger), der potentielt bliver berørt af en oversvømmelse i den vestlige del af Limfjorden.

¹ Den Offentlige Informationsserver, OIS, er en statslig database, der samler en række oplysninger vedrørende ejendomme i Danmark.

Veje:

I den vestlige del af Limfjorden vil der være risiko for, at der vil kunne oversvømmes 730 km veje under en 50 års stormflod. Dette vil medføre en ukendt, men beskeden udgift til fjernelse af flodskarn og udbedring af skader. Endvidere kan der samfundsmæssigt være tale om mistet produktion på grund af lukkede veje.

Jernbaner:

17 km jernbanestrækning vil kunne blive oversvømmet under en 50 års stormflod. Dette vil medføre en ukendt, men beskeden udgift til fjernelse af flodskarn og udbedring af skader. Endvidere kan der samfundsmæssigt være tale om mistet produktion på grund af aflyste tog.

Bymæssige områder:

960 ha bymæssig bebyggelse, herunder haver og gader, kan blive oversvømmet under en 50 års stormflod. Bemærk at bygningsværdier og indbo er medtaget under infrastruktur. Den potentielle skade er beskeden.

Erhvervsområder:

180 ha erhvervsområder kan blive oversvømmet under en 50 års stormflod. Bemærk at bygningsværdier og indbo er medtaget under infrastruktur. Den potentielle skade er beskeden.

Landbrugsarealer:

27.000 ha landbrugsareal kan blive oversvømmet under en 50 års stormflod. Her kan der opstå skader, der medfører tabt indtægt for den enkelte landmand. Tabet er afhængigt af afgrøden og er i (Toxvig et al., 2006) opgjort til mellem 32 og 1542 kr. pr. ha. Et gennemsnit for 12 forskellige afgrøder giver 425 kr./ha, så det potentielle tab pr. stormflod for landbruget kan opgøres til 11,5 mio. kr.

Naturarealer (§ 3 og Natura2000):

En stormflod vil betyde, at der er en risiko for, at 21.000 ha naturarealer vil blive oversvømmet under stormflod. Den potentielle oversvømmelsesskade vurderes til at være tæt på nul.

Vandmiljøet i fjorden i 2060

Vandmiljøet er en vigtig parameter i vurderingen af konsekvenserne for de enkelte løsninger. Der er derfor i denne rapport foretaget en kvalitativ analyse, som indikerer, om de enkelte parametre forværres eller forbedres, Tabel 3.

Sammenfatning

I bilag 3 – Tabel 1 er vist, hvorledes de fysiske forhold ændres frem mod 2060, hvis den hidtidige udvikling fortsætter.

Overordnet betyder det, at:

- stormflodsvandstanden stiger med op til 44 cm fra 2005 til 2060
- oprensningen i fyrlijen bortfalder
- oprensningen i indsejlingskorridoren stiger
- erosionen forsat vil stige på Limfjordstangerne
- erosionen på kanalens NØ-side (Agger Tange) fortsætter
- bølgeuroen i havnen fortsætter, hvis ikke sandpuden fjernes oftere og oftere
- besejlingsforholdene bliver generelt forbedret
- skadespotentialet stiger, hvis der ikke anlægges ny kystbeskyttelse

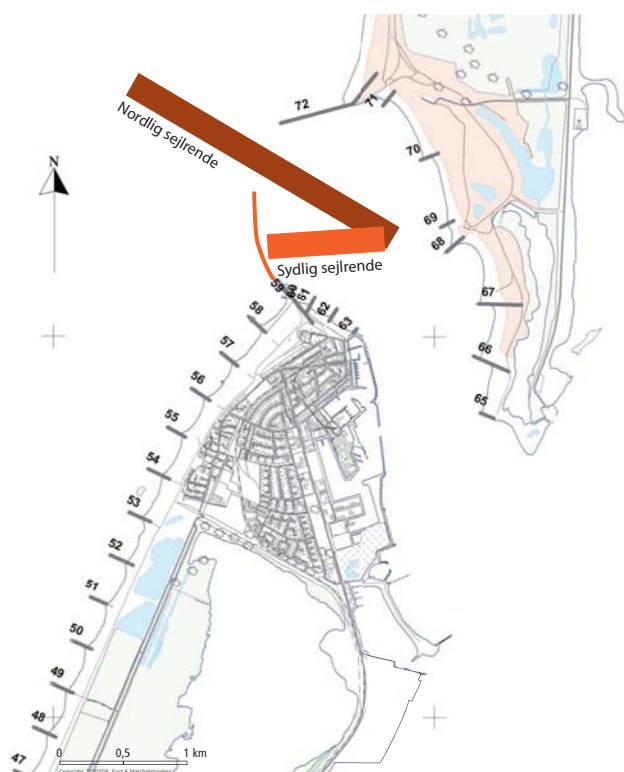
Miljøparameter	Konsekvens
Iltsvind	En forøgelse af saltholdigheden vil alt andet lige forøge risikoen for lagdeling og dermed risikoen for ilt-sænkninger. Tilførsel af mere iltigt vand kan dog dæmpe effekten.
Dyre- og planteliv	Mulighed for længerevarende ilt-sænkninger reducerer bundfaunaens artsantal, diversitet og biomasse.
Eutrofiering	En større tilførsel af Nordsø-vand, der kun har et næringsindhold på ca. en tiendedel af fjordvandet, vil alt andet lige medføre mindre eutrofiering i sommerperioden.
Næringsstofindhold	Mulighed for flere kortvarige ilt-sænkninger udløser frigivelse af næringsstoffer fra bunden.
Temperatur/is	En større saltholdighed vil betyde, at risikoen for isdække bliver mindre. Ved en større tilførsel af det lidt varmere vand fra Den jyske Kyststrøm må det forventes, at temperaturen stiger i vestlige Limfjord om vinteren. Det vil betyde mindre risiko for isdække i dette område. Denne parameter betyder dog mindre end saltholdigheden.
Natura2000	Mulighed for længerevarende ilt-sænkninger reducerer bundfaunaens artsantal, diversitet og biomasse og kan dermed påvirke udpegningsgrundlaget.

Tabel 3: Kvalitativ analyse af de miljømæssige vurderingsparametre og deres konsekvens ved en fortsættelse af hidtidig udvikling.

Ønske om større vanddybde i Thyborøn Kanal

Thyborøn Havn har fremlagt ønske om at forøge besejlingsdybden til 10 m. I "Havnepakke II" blev der stillet 1 mio. kr. til rådighed til forundersøgelser for en forøgelse af besejlingsdybden i kanalen til -10 m DVR90. For til stadighed at kunne garantere en dybde på -10,0 m DVR90 anses det for nødvendigt at uddybe til -12,5 m DVR90 i den ydre del af Thyborøn Kanal. Dette skyldes, at der løbende sker en tilsanding, og der kan i området dannes "sandbølger" på op til to meters højde. I indsejlingen til Thyborøn Havn er der regnet med 2 meters forøgelse af de nuværende dybder. Se bilag 2.

Sloth et al. (2010) har analyseret en uddybning til 10,5 meter. I bilag 2 er analyseret mængden af ler/sand, der skal fjernes ved 4 forskellige udformninger af sejltredeuddybninger. Her er de to placeringer medtaget, der umiddelbart findes mest optimale med hensyn til fremtidige løsninger og økonomi, se Figur 12.



Figur 12: Principskitse af sydlige og nordlige sejltredeuddybning til Thyborøn Havn.

Udgifterne til uddybningen til en besejlingsdybde på -10 m DVR90 ind til indsejlingen til Thyborøn Havn er vurderet til at udgøre henholdsvis 43 mio. eller 124 mio. kr. afhængig af, om der vælges den sydlige eller nordlige sejltrede. Endvidere vil prisen afhænge af, hvilken bortskaffelsesmetode der vælges for det opgravede materiale. Det er i beregningerne forudsat, at materialet sejles 8 sømil ud i Nordsøen. Årsagen til den lange sejlfarstand er mulige besejlingsmæssige vilkår om dybdeforringelser til under 20 meters vanddybde. Et alternativ til klappning i Nordsøen er placering af leret i Thyborøn Kanal. Løsningen er dog omfattet af flere forhindringer: 1) Hovedparten af materialet består af ler, der har en lav vingestyrke. Dette betyder, at leret, alt andet lige, vil erodere med samme hastighed som sand. 2) en stor frigivelse af finkornet materiale skal konsekvensvurderes, da det kan have konsekvenser for flora og fauna i Nissum Bredning. Kan der opnås tilladelse til at placere

leret i Thyborøn Kanal, vil dette mindske prisen med 20 kr. pr m³ sediment. Dette medfører, at den sydlige sejltrede koster 37 mio. kr. og den nordlige koster 104 mio. kr. Da uddybningen sandsynligvis kræver en VVM-redegørelse, vil disse forhold skulle adresseres i redegørelsen.

Den mængde sand, der i dag oprenses i den nuværende fyrlinje, ligger på ca. 20.000 m³ pr. år og koster gennemsnitligt 26 kr. pr m³. De årlige udgifter til at vedligeholde dybden i de nye uddybede sejltreder er vurderet til ca. 8,6 og 27,7 mio. kr. pr. år. for den sydlige henholdsvis den nordlige sejltrede. Nyttiggøres sandet i forbindelse med fællesaftalen, vil merudgiften være henholdsvis 1,4 og 3,7 mio. kr./år for den sydlige og nordlige sejltrede. For at sandet kan nyttiggøres i forhold til fællesaftalen kræver det, at der er et behov for sand på Limfjordstangerne. De skønnede udgifter til vedligeholdelse er forbundet med stor usikkerhed og kan både blive lavere og højere.

Vælges den sydlige sejltrede, der er den billigste både i anlæg og i vedligeholdelse, vil dette bevirke, at en forlængelse af hofde 58 eller hofde 59 med det formål at reducere stormflodsvandstanden i vestlige Limfjord fravælges. Hvis den sydlige placering af sejltreden vælges, kan en sikring mod de forhøjede vandstande kun etableres inde i Thyborøn Kanal eller i Limfjorden, mens den nordlige sejltrede giver mulighed for at indsnævre Thyborøn Kanal ved at forlænge hofde 58/59 og 72, se Figur 12.

Alternativer

Staten garanterer i dag 8 meters dybde i Thyborøn Kanal ind til Thyborøn Havn. For at sikre dette renser Kystdirektoratet op til en væsentlig overdybde, hvor der er behov for det. I store dele af resten af kanalen er den naturlige dybde væsentligt over de 8 meter. I store dele af året kan der findes en rute med 9 - 10 meters dybde gennem kanalen. Indsejlingen fra Thyborøn Kanal til Thyborøn Havn har dog en lille naturlig dybde og kræver jævnlige oprensninger. I 2060 vil der formodentlig naturligt være en vanddybde på 10 - 12 meter i indsejlingen, hvorfor en uddybning ikke er nødvendig til den tid.

Det er klart, at der kan opnås store besparelser på anlægget af sejltreden, hvis staten kun skal tilstræbe en dybde på -10 m DVR90. Hvis der f.eks. kun uddybes til 11 m DVR90, vil anlægsudgifterne reduceres væsentligt, men udgifterne til vedligeholdelse vil stige, da der skal oprenses med kortere intervaller, og der vil være perioder, hvor der ikke er 10 m i sejltreden.

Sammenfatning

I Bilag 3 – Tabel 2 er vist, hvorledes de fysiske forhold ændres i dag, hvis der foretages en uddybning. Vurderingen er foretaget som det ekstra bidrag, der kommer ved at foretage en uddybning i dag.

Overordnet betyder det, at:

- stormflodsvandstanden stiger med op til 1 til 2 cm yderligere fra 2010 til 2060
- oprensningen i fyrlinjen stiger væsentligt
- oprensningen i indsejlingskorridoren stiger 75 %, og bliver altså væsentlig større
- erosionen vil blive ubetydeligt større på Limfjordstangerne

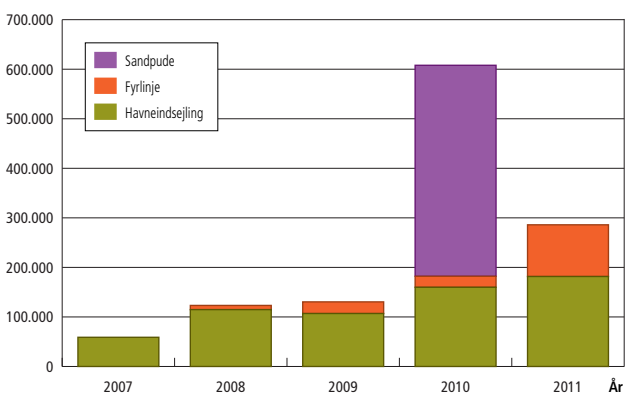
- erosionen på kanalens NØ-side (Agger Tange) vil blive lidt større ved den sydlige sejltrede og uændret i forhold til i dag med den nordlige sejltrede
- bølgeuroen i havnen fortsætter, hvis ikke sandpuden fjernes
- besejlingsforholdene bliver generelt forbedret
- lidt større skadespotentiale ved oversvømmelse i Limfjorden

Tilsanding/oprensning

Forøget tilsanding i indsejlingskorridoren til Thyborøn Havn

Af (Knudsen et al., 2011) fremgår det, at kanalens flytning mod øst har medført, at den naturlige erosion, der var foran Thyborøn Havn, er skiftet til aflejring. Aflejringen er i dag så stor, at oprensning er nødvendig for at bevare den garanterede vanddybde på 8 meter.

Oprensningsmængde (laste-m³)



Figur 13: Udvikling i oprensningsmængderne i Thyborøn Kanal.

Tendensen er, Figur 13, at der gennem årene er sket en stigning af oprensningsmængden i havneindsejlingen til Thyborøn Havn med gennemsnitligt 22 % om året. Oprensningsmængden er forøget med næsten 50 % fra 2007 til 2008, hvorefter behovet er faldet lidt i 2009. Herefter er oprensningsmængden forøget med yderligere 33 % i 2010. I indeværende år er oprensningen i havneindsejlingen p.t. 12 % højere end sidste år. Den større mængde i 2011 skyldes primært præventiv oprensning i nærheden af sandpuden.

Den fremtidige nødvendige oprensningsmængde i havneindsejlingen er på baggrund af udviklingen i årene 2007 til 2011 skønnet til gennemsnitlig 145.000 m³/år. I Budget analysen er den nærmeste fremtid (indtil 2015) skønnet til 124.000 m³/år. Da denne analyse går frem til 2060 er der tillagt en lille forøgelse.

Tilsanding i fyrlinjen

Oprensningen i fyrlinjen begyndte i 2008 med en mindre mængde på 8.456 laste-m³, se Tabel 4 og Figur 13. Herefter steg mængden til omkring 22.000 - 23.500 laste-m³ i 2009 - 2010. I 2011 blev der oprenset en større mængde i fyrlinjen. Årsagen er en præventiv oprensning af områder i nærheden af sandpuden.

Fjernelse af sandpuden i foråret 2010 har ikke medført et mindre oprensningsbehov i hverken fyrlinjen eller havneindsejlingen. De noget større tal i 2011 er udtryk for en præventiv oprensning i forhold til sandpuden.

Den fremtidige nødvendige oprensning i fyrlinjen er skønnet til 20.000 laste-m³.

Forøget bølgekonzentration ved indsejlingen til Thyborøn Havn

Thyborøn Havn har i perioden fra 2004 til 2009 oplevet en forværring af bølgeuroen i havnen. De store bølger forekom ved havneindsejlingen og resulterede i uacceptabel bølgeuro i havnebasinerne. Sloth et al. (2010) undersøgte i 2009, hvad der var årsagen til denne bølgeuro. I rapporten konkluderes, at sandpuden er en af årsagerne til, at bølgeforholdene er forværrede.

Sandpuden blev fjernet i perioden 2. marts til 13. april 2010. Der blev i alt fjernet 425.847 laste-m³ ifølge opgørelsen fra oprensningskibet. En opmåling før og efter oprensningen gav et resultat på 413.710 m³ i fast mål, se Tabel 4.

Det er dokumenteret i Bilag 1, at fjernelse af sandpuden har reduceret bølgeuroen i Thyborøn Havn. Fjernelse af sandpuden løser dog kun problemet med bølgeuro midlertidigt. Ved opmåling af sandpuden et år efter ses tydeligt, at sandpuden igen er ved at danne sig samme sted som tidligere, se Tegning nr. 2 til 7. Det ses, at der er ved at forme sig en tange mellem høfde 63 og 64. En volumenberegning for område 1 viser, at der her er sket en aflejring af minimum 118.500 m³ i perioden 15. april 2010 til den 14. april 2011.

Prisen for fjernelse af sandpuden kan opgøres på flere måder. Den reelle omkostning, som Kystdirektoratet betalte en entreprenør for fjernelsen, var 20 mio. kr. Sædvanligvis ligger prisen for oprensning i kanalen på omkring 26 kr. pr. m³, hvilket giver en pris på 11 mio. kr./gang. Sandet nyttiggøres som hovedregel på Limfjordstangerne, hvorfor omkostningen betales af fællesaftalen og dermed ikke belastar oprensningsbudgettet. Dog skal oprensningen i kanalen foregå, når vanddybden nærmer sig det kritiske niveau. Prisen afhænger derfor af, om der er behov for sand på Limfjordstangerne på det aktuelle tidspunkt. I denne analyse er benyttet ekstraomkostningen for at hente sand i Thyborøn Kanal i forhold til at hente sandet i de nuværende indvindingsområder.

Erosion på NØ-siden af kanalen (Agger Tange)

Frem til nu har kanalområdet undergået store forandringer som følge af den naturlige og den menneskeskabte udvikling. Dannelsen af Thyborøn Kanal tilbage i 1862 betød en efterfølgende forøgelse af kysttilbagevæksten på Limfjordstangerne, idet kanalen kom til at virke som et dræn for den langsgående materialetransport på en strækning fra Lodbjerg i nord til Harboøre i syd. Som følge af den dominerende sydgående materialevandring var kanalens orientering i starten VNV-ØSØ.

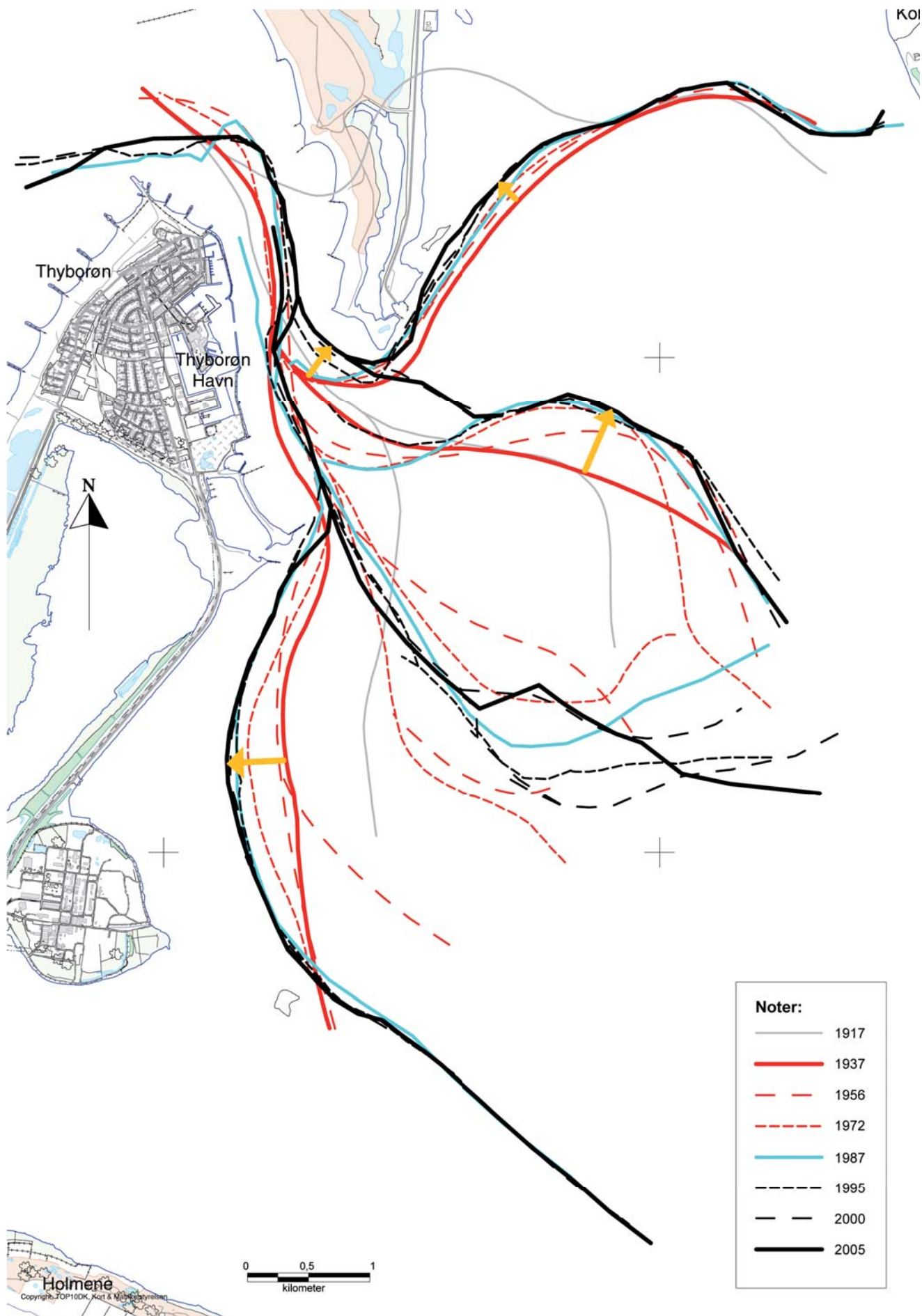
Kanalen har skiftet retning fra VNV-ØSØ til nu mere NV-SØ. Endvidere er kanalens hovedløb vandret mod nord, således at der er mere pres på nordøstsiden (erosion) og mindre pres på sydvestsiden (akkumulation), se Figur 14.

År	Oprensning sted:			I alt
	Fyrlinie	Havneindsejling	Sandpude	
2007		58.942		58.942
2008	8.456	114.785		123.241
2009	23.515	106.919		130.434
2010 (inkl. sandpude)	0	35.655	425.847	461.502
2010 efter fjernelse af sandpude	22.182	124.237		146.419
2011*	104.369	181.613		285.982
I alt	158.522	622.151	425.847	1.206.520

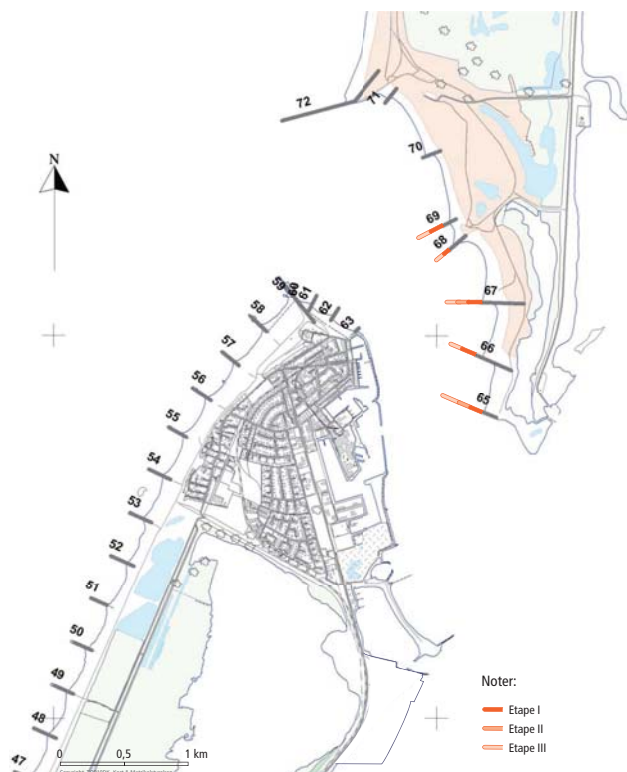
Tabel 4: Oprensningsmængder i Thyborøn Kanal. Mængderne er laste-m³.



Motiv: Løgster 2007 Foto: Carlo Sørensen, KDI



Figur 14: Ændringer af løb i Thyborøn Kanal og på Fjordgrundene i perioden 1917 til 2005.



Figur 15: Forlængelse af hofde 65 til 69 på Thyborøn Kanals NØ-side.

Kanalen er fastholdt med flere hofder. På NØ-siden er hofde 72 i indsejlingen den første hofde og hofde 65 er den sidste hofde, se Tegning 1.

Der i gennemsnit anvendt 950.000 kr./år til vedligeholdelse af hofderne på Agger Tange-siden af Kanalen (hofderne 65 til 71). Der er dog ikke sket reparationer på hofderne siden 2005. Hvis den kontrollerede tilbagerykning fortsætter, vil behovet for jævnlige reparationer fortsætte, og især forventes presset på hofde 65 at fortsætte. I 2005 blev der foretaget en reparation på 25 meter af enden af hofde 65. Den årlige besigtigelse af hofderne på Agger Tange har vist, at hofde 65 snart skal afkortes eller repareres på de 25 yderste meter.

Der er foretaget et skøn over, hvad en udbygning til de oprindelige eller vestligste ender af hofderne 66 og 65 vil koste. Hofderne udbygges henholdsvis 100 m og 190 m i et område med ca. 12 meters vanddybde. Omkostningen er skønnet til 65 mio. kr. I skønnet er ikke medtaget sikring af bunden eller andre uforudsete udgifter.

En bundsikring på 1 m i lagtykkelse koster ca. 500 kr./m². Sikres bunden omkring enderne med ca. 5.000 m² bundsikring stiger prisen med 5 mio. kr., men driftsudgifterne holdes stabile.

Forlænges alle hofder som vist på Figur 15 og hvis der foretages en bundsikring på tværs af kanalen således at kanalen ikke kompensere indsnævringen med en uddybning, vil prisen for projektet stige til omkring 229 mio. kr. Hofdevedligeholdelsen vil derimod kun stige til 1,1 mio. kr./år.

Kystbeskyttelse af Limfjordstangerne

Tabel 5 viser de seneste 8 års behov for kystfodring på Limfjordstangerne. Tallene er benyttet til at beregne den gennemsnitlige pris på fodring pr. år i dag og i fremtiden. I (Knudsen et al., 2011) påvises en stigning i fodringsmængden på 34 % fra perioden 1957-1986 til perioden 1996-2008. Denne stigning skyldes ikke udelukkende, at Thyborøn Kanals tværsnit vokser, men også at forstejlingen af kystprofilen øges, samt havspejlsstigning. Jensen og Sørensen (2008) har beregnet det fremtidige fodringsbehov med en klimabetinget havsspejlsstigning. Her anvendes scenariet A1FI_{max} (IPCC, 2007), da dette scenario passer bedst til de nuværende forhold. Fortsætter udviklingen som i dag, vil der blive behov for mere sand i fremtiden. En af årsagerne er, at kystprofilen bliver stejlere, og det skønnes, at behovet i 2060 vil være ca. 28 % større end den mængde, der fodres med i dag som følge af forstejling og fortsættelse af udvidelse af kanal tværsnittet. Det vil sige, at gennemsnittet for de næste 50 år er på 599.756 m³/år, hvis der ikke tages hensyn til klimaændringer.

Hovedstrækning (fastmål-m ³)	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Gennemsnit
Agger Tange	0	620.900	0	323.000	327.000	0	125.118	245.800	205.227
Harboøre Tange	421.000	305.600	200.000	245.000	265.000	857.000	273.400	0	320.875
I alt	421.000	926.500	200.000	568.000	592.000	857.000	398.518	245.800	526.102

Tabel 5: Oversigt over fodringsmængden på Limfjordstangerne.

Løsninger på de enkelte udfordringer

I foregående kapitel er de enkelte udfordringer i Thyborøn Kanal og den vestlige Limfjord beskrevet. Udfordringerne kan håndteres på forskellige måder og med forskellige løsninger. I det følgende gennemgås de enkelte udfordringer og deres løsninger.

Større skadespotentiale i den vestlige Limfjord ved fortsættelse af hidtidig udvikling

En fortsættelse af den hidtidige udvikling vil som beskrevet blandt andet forårsage et større skadespotentiale i den vestlige Limfjord. Der kan benyttes to strategier. En strategi er at lade kanalen fortsætte sin udvikling og så blot beskytte de sårbare områder i den vestlige Limfjord i takt med, at maksimalvandstandene stiger. En anden strategi er at tage hånd om den fremtidige forøgelse af vandindstrømningen under stormlavtryk; altså at standse tværsnitsforøgelsen af kanalen.

Strategi 1: Udbygning af kystbeskyttelsen

Fortsættelse af hidtidig udvikling medfører, at maksimalvandstanden i den vestlige Limfjord frem til år 2060 stiger op til 20 cm yderligere under stormlavtryk. For at kompensere for denne stigning i ekstremvandstand under storm, går strategien ud på opførelse af nye diger og forstærkning/forhøjelse af eksisterende kystbeskyttelse. Benyttes denne strategi, vil man kunne forhindre, at det fornævnte skadespotentiale bliver udløst. Det er skønnet, at der skal bygges ca. 60 km nye diger, og ca. 86 km eksisterende diger skal forhøjes.

Skadespotentialet svarende til en 50 års MT-vandstand i 2060 er opgjort til 3,7 mia. kr. Skaderne vil kunne undgås ved at bygge nye

diger og forhøje eksisterende. Der er foretaget et overslag over, hvor mange km diger der skal forhøjes, eller hvor mange km nye diger der skal anlægges, hvis skadespotentialet skal fastholdes på det nuværende niveau.

I Tabel 6 vises de skønnede udgifter til kystbeskyttelse og oprensning, hvis skadespotentialet skal fastholdes i strategi 1. Bemærk at der i denne tabel ikke er taget hensyn til havspejlsstigningen. Skønnet er foretaget som en gennemsnitlig årsudgift ganget med antallet af år. Det skal understreges, at der ikke er foretaget en undersøgelse af, om hver enkelt strækning vil kunne opnå tilladelse til kystbeskyttelse. I denne opgørelse er kun set på de lavtliggende områder med bebyggelse og infrastruktur. I beregningerne af kystbeskyttelsesudgiften er der benyttet priser varierende fra 550 til 2500 kr. pr. meter alt efter, om diget forhøjes eller nybygges. Der er tillagt 0,5 % af anlægssummen til årlig vedligeholdelse i en 50 års periode.

Behovet for kystbeskyttelse på Limfjordstangerne i form af sandfodring er i gennemsnit på 526.000 m³ om året. I de senere år er der betalt ca. 21 mio. kr. for dette. I fremtiden vil der på grund af forstejling af kystprofilet være behov for 28 % mere sand i 2060. Sandet fra sandpuden og indsejlingen er nyttiggjort til fodring på Limfjordstangerne og erstatter dermed delvist sand hentet i indvindingsområderne i Nordsøen. Det er dog ikke altid muligt, da oprensningen er betinget af et nødvendighedsprincip. Når vanddybden ikke er til stede i kanalen, oprenses der i Thyborøn Kanal. Fodringen på Vestkysten er derimod mere planlagt og foretages typisk om sommeren, hvor vejret er velegnet til at placere sandet på det optimale sted. Det er derfor ikke altid muligt at regne med en 100 % udnyttelse af oprensningssandet til erstatning af fodringsand. I Tabel 6 er udgiften til oprensning angivet som merudgift i forbindelse med nyttiggørelse af sandet under fællesaftalen, altså en minimumsudgift.

	Skønnede udgifter frem til 2060
Behov for kystbeskyttelse i den vestlige Limfjord	179 mio. kr.
Vedligeholdelse af kystbeskyttelsen (0,5 % af anlægspris årligt)	45 mio. kr.
Behov for kystfodring af Agger og Harboøre Tanger	1.200 mio. kr.
Oprrensning i indsejlingskorridoren til Thyborøn Havn	167 mio. kr.
Oprrensning i fyrlinjen (Indsejling til Thyborøn Kanal)	
Oprrensning på sandpuden	
Erosion på NØ-siden af kanalen	48 mio. kr.
Udgifter i alt	1.639 mio. kr.

Tabel 6: Skønnede udgifter til kystbeskyttelse og oprensning hvis skadespotentialet skal fastholdes ved fortsættelse af hidtidig udvikling. Alle udgifter er angivet i 2011-niveau. Merudgifter grundet fremtidig havspejlsstigning er ikke medregnet.

Klimaeffekt i 2060

Frem til 2060 er der anslået en stigning i middelvandstanden på 24 cm i den vestlige Limfjord. Dette medfører øgede udgifter til kystbeskyttelse i fjorden, Tabel 7. Det er skønnet, at der skal anlægges ca. 177 km nye diger frem mod 2060 for at hindre skadespotentialet i at stige. Eksisterende diger skal ligeledes forhøjes. Behovet for kystfodring på Limfjordstangerne stiger i fremtiden (Jensen og Sørensen, 2008). Det antages, at den større vanddybde ikke medfører øget oprensningsbehov af sandpuden, og at bølgeuroen forbliver uændret.

Sammenfatning

Fortsættelse af hidtidig udvikling medfører, at maksimalvandstanden i den vestlige Limfjord frem til år 2060 stiger op til 20 cm yderligere under stormlavtryk. For at kompensere for denne vandstandsstigning under storm, går strategien ud på at opføre nye diger og forstærke/forhøje eksisterende kystbeskyttelse. Løsningen vil tage hånd om det forøgede skadespotentiale i den vestlige Limfjord, men ikke de øvrige udfordringer såsom oprensning i Thyborøn Kanal, fodringsbehov på Limfjordstangerne, bølgeuro i Thyborøn Havn og erosion på NØ-siden af kanalen. Der skal derfor inden 2060 ændres strategi, da færgelejet på Agger Tange-siden vil komme i fare.

Overordnet betyder det, at:

- samlede udgifter for løsningen bliver over 2 mia. kr. frem til 2060 inkl. havspejlsstigning
- stormflodsvandstanden stiger med op til 44 cm fra 2005 til 2060
- oprensningen i fyrlinjen bortfalder
- oprensningen i indsejlskorridoren stiger
- erosion/fodringsbehov vil fortsat øges på Limfjordstangerne
- erosionen på kanalens NØ-side (Agger Tange) fortsætter
- bølgeuroen i havnen fortsætter, hvis ikke sandpuden fjernes oftere og oftere
- besejlingsforholdene generelt bliver forbedret
- skadespotentialet stiger, hvis der ikke bygges ny kystbeskyttelse

- neutralt skadespotentiale vil betyde behov for øget kystbeskyttelse i form af eksempelvis forhøjelse af eksisterende diger samt anlæg af nye diger

Som beskrevet under afsnittet om sandpuden vil en fortsættelse af fjernelse af sandpuden medføre, at stormflodsvandstanden i 2047 når 2060-niveauet.

Strategi 2: Begrænsning af indstrømningen

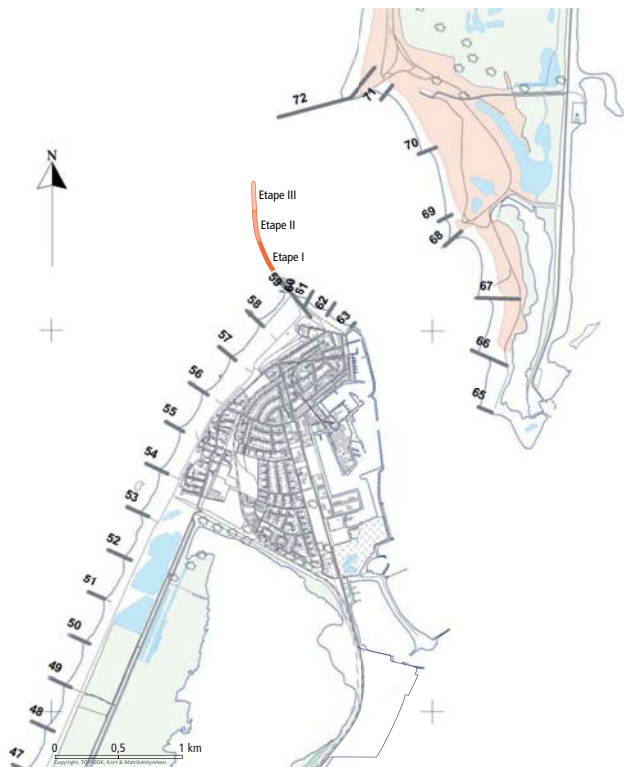
En anden strategi er at fastholde kanaltværsnittet, således at der ikke sker en forøgelse af stormflodernes bidrag til maksimalvandstandene i den vestlige Limfjord frem til 2060. Der er flere metoder til dette: En er udbygning af hofde 58 eller 59, således at indsnævringen kompenserer for udvidelsen i kanalværsnittet. Tre andre metoder rykker compensationen for udvidelsen i kanalværsnittet ind i Thyborøn Kanal. Her analyseres udbygning af hofde 63, således at kanalen indsnævres mellem hofde 63 og 68, forlængelse af hofder på NØ-siden og fremrykning af havneindsejlingen. En fjerde metode er opbygning af en barriere/rev på fjordgrundene. Endelig er der set på en dæmningsløsning samt en højvandsbarriere.

Indsnævring mellem hofde 58/59 og hofde 72 i takt med udviklingen

En metode til at reducere effekten af kanaludviklingen er ved en trinvis indsnævring af åbningen mod vest mellem hofderne 58 eller 59 og 72. En detailprojektering skal fastlægge, hvor meget og hvor ofte en udbygning skal foretages. I dette skøn er udbygningen vist over 3 etaper, se principskitse Figur 16. Endvidere er der på skitsen vist en forlængelse af hofde 59. Dog kan en detailprojektering vise, at det bør være hofde 58, der forlænges. Indsnævringen kan ske fra begge sider af indsejlingen, men det er vurderet, at den bedste løsning findes, hvis indsnævringen primært udføres ved at forlænge hofde 58/59, se Figur 16. Der er taget udgangspunkt i en udbygning af hofden til en indsnævring af kanalen på 600 m med en effektiv bundsikring mellem de to hofdeender. Herved opnås et kanalværsnit af samme størrelsesorden som kanalens nuværende mindste tværsnit. Udgifterne er i Tabel 8 skønnet i 2011-niveau.

Udgifter	Skønnede udgifter frem til 2060 inkl. havspejlsstigning
Behov for kystbeskyttelse i den vestlige Limfjord	516 mio. kr.
Vedligeholdelse af kystbeskyttelsen (0,5 % af anlægspris årligt)	129 mio. kr.
Behov for kystfodring af Agger og Harboøre Tanger	1.316 mio. kr.
Oprrensning i indsejlskorridoren til Thyborøn Havn	167 mio. kr.
Oprrensning i fyrlinjen (Indsejling til Thyborøn Kanal)	
Oprrensning på sandpuden	
Erosion på NØ-siden af kanalen	50 mio. kr.
Udgifter i alt	2.178 mio. kr.

Tabel 7: Skønnede udgifter for fortsættelse af hidtidig udvikling inkl. havspejlsstigning. Alle udgifter er angivet i 2011-niveau.



Figur 16: Principskitse af indsnævring mellem hofde 58/59 og hofde 72 i 3 etaper i takt med udviklingen.

Fordelen ved at forlænge hofde 58/59 er, at man derved reducerer den store langsgående transport forbi hofden og ind i kanalen. Ifølge Kystdirektoratet (2001) er transporten af sand mod Thyborøn Kanal beregnet til 900.000 m³ sand sydfra og 330.000 m³ nordfra. Hvis en større del af sandet transporteres forbi Thyborøn Kanal, vil det gavne Limfjordstangerne. Endvidere vil det medføre en reduktion af fodringsbehovet på Agger og Harboøre Tanger. Forlænges hofde 72 og ikke hofde 58/59, vil dele af den store materialetransport fra syd transporteres ind i kanalen med mulighed for aflejring og dermed større oprensningsemængder til følge.

Den trinvis indsnævring af indsejlingen i takt med, at den øvrige del af kanalen forventes at udvide sig, betyder, at kanalens 'flaskehals' i forhold til indstrømningen flyttes fra den sydlige del ud for havnen til indsejlingen til Thyborøn Kanal. Strømhastigheden

aftager derfor ud for havnen og tiltager i indsejlingen. Det betyder generelt, at besejlingen af Thyborøn Havn bliver bedre, når vandet strømmer ind og dårligere, når vandet strømmer ud. I værst tænkelige tilfælde skal mindre både undgå besejlingen af Thyborøn i kortvarige perioder, når vandet strømmer ud efter en storm.

Den trinvis indsnævring af indsejlingen til Thyborøn Kanal tilstræbes udført, så vandstandsforholdene i Limfjorden ikke ændres. Det betyder, at oversvømmelsespotentialet ikke påvirkes. Da indstrømningen til fjorden er uændret, vil vandmiljøet i fjorden stort set ikke blive påvirket ved denne løsning.

I Bilag 3 – Tabel 3 er vist, hvorledes de fysiske forhold ændres frem mod 2060, hvis hofde 58/59 udbygges trinvis til kompensation for udviklingen i Thyborøn Kanals tværsnit.

I Tabel 8 vises de skønnede udgifter til kystbeskyttelse og oprensning, hvis skadespotentialet skal fastholdes ved udbygning af hofde 58/59. Bemærk at der i denne tabel ikke er taget hensyn til havspejlsstigningen. Skønnet er foretaget som en gennemsnitlig årsudgift ganget med antallet af år.

Behovet for kystbeskyttelse på Limfjordstangerne i form af sandfodring er i gennemsnit på 526.000 m³ om året. I de senere år er der betalt ca. 21 mio. kr. for dette. I fremtiden vil der på grund af forstøjning af kystprofilen være behov for 28 % mere sand i 2060. Ved udbygning af hofde 58/59 vil der ske en reduktion i behovet for kystbeskyttelse på Limfjordstangerne. Reduktionen er skønnet til 26 % af den samlede fodringsmængde frem til 2060.

Sandet fra sandpuden og indsejlingen er nyttiggjort til fodring på Limfjordstangerne og erstatter dermed delvist sand hentet i indvindingsområderne i Nordsøen. Det er dog ikke altid muligt, da oprensningen er betinget af et nødvendighedsprincip. Når vanddybden ikke er til stede i kanalen, oprenses der i Thyborøn Kanal. Fodringen på Vestkysten er derimod mere planlagt og foretages typisk om sommeren, hvor vejret er velegnet til at placere sandet på det optimale sted. Det er derfor ikke altid muligt at regne med en 100 % udnyttelse af oprensningssandet til erstatning af fodrings-sand. I Tabel 8 er udgiften til oprensning angivet som merudgift i forbindelse med nyttiggørelse af sandet under fællesaftalen.

Udgifter	Skønnede udgifter frem til 2060
Behov for kystbeskyttelse i den vestlige del af Limfjorden	—
Anlægsudgift - udbygning af hofde 58/59	250 mio. kr.
Vedligeholdelse (2 % af anlægsprisen årligt)	250 mio. kr.
Behov for kystfodring af Agger og Harboøre Tanger	888 mio. kr.
Oprensning i indsejlingskorridoren til Thyborøn Havn	96 mio. kr.
Oprensning i fyrlinjen (Indsejling til Thyborøn Kanal)	
Oprensning på sandpuden	
Erosion på NØ-siden af kanalen	24 mio. kr.
Udgifter i alt	1.508 mio. kr.

Tabel 8: Skønnede udgifter for hofde 58/59-løsningen. Alle udgifter er angivet i 2011-niveau. Merudgifter grundet fremtidig havspejlsstigning er ikke medregnet.

Der er usikkerhed omkring reduktionen af fodringsbehovet på Limfjordstangerne. De samlede udgifter ved løsningen baseret på en trinvis udbygning af hofde 58/59 bliver mindre end ved løsningen, hvor den hidtidige udvikling fortsætter, Tabel 8. Det bemærkes dog, at erosionen på NØ-siden af kanalen ikke kan fortsætte indtil år 2060, da færgelejet vil komme i fare.

Klimaeffekt i 2060

Frem til 2060 er der anslået en stigning i middelvandstanden på 24 cm i den vestlige Limfjord. Dette medfører øgede udgifter til kystbeskyttelse i den vestlige Limfjord, eller også skal den valgte løsning med trinvis udbygning af hofde 58/59 kompensere for stigningen i ekstremvandstande. Det er dog ikke uproblematisk at indsnævre kanalen til mere end blot det nuværende niveau. Tidevandsprismet vil blive mindre med følgevirkninger for vandmiljøet i fjorden. I nedenstående regneeksempel er det valgt at indsnævre indsejlingen til Thyborøn Kanal yderligere for at kompensere for havspejlsstigningen. Det ekstra bidrag er beregnet til 29 mio. kr. I afsnittet omkring den hidtidige udvikling er det beregnet, at en forhøjelse af eksisterende diger på ca. 20 cm i forhold til nuværende forhold samt etableringen af nye diger vil koste 179 mio. kr., Tabel 9. En yderligere indsnævring af Thyborøn Kanal anses derfor for at være en billigere løsning.

Det antages, at den større vanddybde ikke medfører øget oprensningsbehov af sandpuden, og at bølgeuroen aftager.

Sammenfatning

Indsnævringen kan ske fra begge sider af indsejlingen, men det er vurderet, at den bedste løsning opnås ved at forlænge hofde 58/59. Der er taget udgangspunkt i en indsnævring til 500 m med en effektiv bundsikring mellem de to hofdeender.

Overordnet betyder det, at:

- samlede udgifter for løsningen bliver 1,7 mia. kr. frem til 2060 inkl. havspejlsstigning
- stormflodsvandstandene forbliver uændrede
- oprensningen i fyrlinjen bortfalder

- oprensningen i indsejlingskorridoren aftager eller forbliver på nuværende niveau
- erosionen/fodringsbehovet på Limfjordstangerne vil blive reduceret
- erosionen på kanalens NØ-side (Agger Tange) fortsætter, men reduceres
- bølgeuroen i havnen mindskes, da bølgeforldene i kanalen ændres, og da sandpuden ikke opbygges med samme hastighed
- besejlingsforholdene generelt bliver forbedret; dog kan de blive forværret efter storm
- skadespotentialer forbliver uændret i forhold til i dag

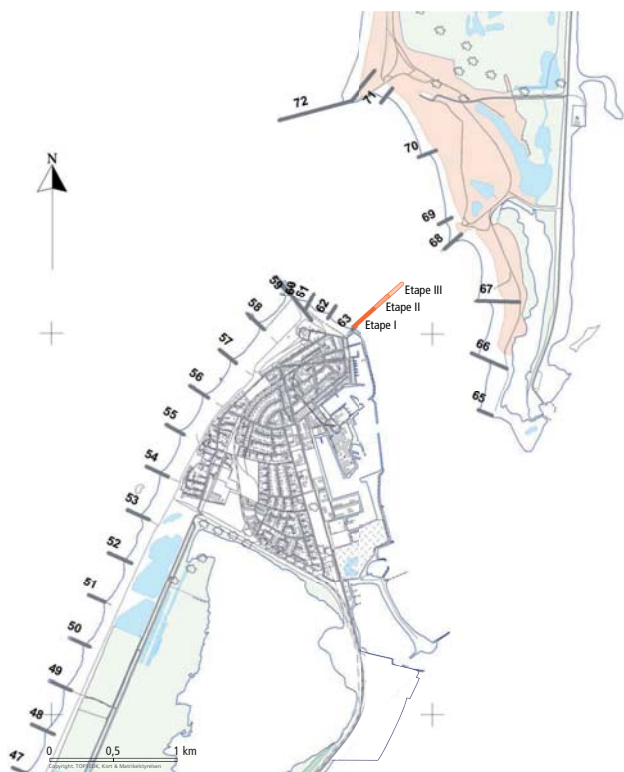
Udbygningen af hofde 58/59 reducerer eller fjerner flere af de udfordringer, der er i Thyborøn Kanal og den vestlige Limfjord med hensyn til stormflodsvandstanden, oprensning, bølgeuro og kystbeskyttelse.

Indsnævring mellem hofde 63 og hofde 68

En anden måde at kompensere for effekten af kanaludviklingen er ved trinvis at indsnævre åbningen mellem hofde 63 og 68 til 500 m ved at forlænge hofde 63, se principskitse på Figur 17. Der kan også vælges en løsning, hvor begge hofder forlænges. Hofde 63 er dog valgt, da denne kan udbygges på den eksisterende sandpude, se Tegning 2 til 4. Forlængelse af hofde 63 udføres som en brudstenshofde. For at kompensere for en uddybning i kanalværsnittet mellem hofde 63 og 68 udføres bundsikringen i et 200 meter bredt bælte mellem hofderne. De skønnede udgifter ved denne løsning er vist i Tabel 10.

Udgifter	Skønnede udgifter frem til 2060 inkl. havspejlsstigning
Behov for kystbeskyttelse i den vestlige del af Limfjorden	—
Anlægsudgift - udbygning af hofde 58/59	279 mio. kr.
Vedligeholdelse (2 % af anlægsprisen årligt)	279 mio. kr.
Behov for kystfodring af Agger og Harboøre Tanger	974 mio. kr.
Oprensning i indsejlingskorridoren til Thyborøn Havn	96 mio. kr.
Oprensning i fyrlinjen (Indsejling til Thyborøn Kanal)	
Oprensning på sandpuden	
Erosion på NØ-siden af kanalen	25 mio. kr.
Udgifter i alt	1.653 mio. kr.

Tabel 9: Skønnede udgifter for udbygningen af hofde 58/59-løsningen inkl. havspejlsstigningen. Alle udgifter er angivet i 2011-niveau.



Figur 17: Principskitse af indsnævring mellem hofde 63 og hofde 68 i 3 etaper.

Indsnævringen mellem hofde 63 og 68 medfører, at strømhastigheden aftager ud for havnen og tiltager i indsnævringen. Det betyder generelt, at besejlingen mellem de to hofde bliver lidt vanskeligere.

Indsnævringen mellem hofde 63 og 68 tilstræbes udført så maksimalvandstandene i den vestlige Limfjord ikke ændres. Det betyder, at oversvømmelsespotentialet ikke påvirkes. Da indstrømningen til fjorden er uændret, vurderes vandmiljøet i fjorden ikke at blive påvirket ved denne løsning.

I Bilag 3 – Tabel 4 er vist, hvorledes de fysiske forhold ændres frem mod 2060, hvis hofde 63 udbygges trinvis til kompensation for tværsnitsudviklingen.

I Tabel 10 vises de skønnede udgifter til kystbeskyttelse og oprensning, hvis skadespotentialet skal fastholdes ved at udbygge hofde 63. Bemærk at der i denne tabel ikke er taget hensyn til

havspejlsstigningen. Skønnet er foretaget som en gennemsnitlig årsudgift ganget med antallet af år.

Behovet for kystbeskyttelse på Limfjordstangerne i form af sandfodring er i gennemsnit på 526.000 m³ om året. I de senere år er der betalt ca. 21 mio. kr. for dette. I fremtiden vil der på grund af forstejling af kystprofilen være behov for 28 % mere sand i 2060. Sandet fra sandpuden og indsejlingen er nyttiggjort til fodring på Limfjordstangerne og erstatter dermed delvist sand hentet i indvindingsområderne i Nordsøen. Det er dog ikke altid muligt, da oprensningen er betinget af et nødvendighedsprincip. Når vanddybden ikke er til stede i kanalen, oprenses der i Thyborøn Kanal. Fodringen på Vestkysten er derimod mere planlagt og foretages typisk om sommeren, hvor vejret er velegnet til at placere sandet på det optimale sted. Det er derfor ikke altid muligt at regne med en 100 % udnyttelse af oprensningssandet til erstatning af fodrings-sand. I Tabel 10 er udgiften til oprensning angivet som merudgift i forbindelse med nyttiggørelse af sandet under fællesaftalen.

Klimaeffekt i 2060

Frem til 2060 er der anslået en stigning i middelvandstanden på 24 cm i den vestlige Limfjord. Dette medfører øgede udgifter til kystbeskyttelse i den vestlige Limfjord. Enten skal der ske en forhøjelse af kystbeskyttelsen eller også skal den valgte løsning kompensere for stigningen. Det er dog ikke uproblematisk at indsnævre kanalen til mere end blot det nuværende niveau. Tidevandsprismet vil blive mindre med følgevirkninger for vandmiljøet i fjorden. I nedenstående eksempel er det valgt at indsnævre kanalen ved en yderligere udbygning af hofde 63. Det ekstra bidrag er beregnet til 13 mio. kr. I afsnittet omkring den hidtidige udvikling er det beregnet, at en forhøjelse af eksisterende diger med ca. 20 cm i forhold til nuværende forhold samt etablering af nye diger vil koste 179 mio. kr. En yderligere indsnævring af Thyborøn Kanal anses for at være den billigste løsning, Tabel 11.

Behovet for kystfodring på Limfjordstangerne stiger i fremtiden (Jensen og Sørensen, 2008). Det antages, at den større vanddybde som følge af havspejlsstigningen hverken medfører øget oprensningssandbehov af sandpuden, større pres på NØ-siden eller ændrede forhold med hensyn til bølgeuroen.

Udgifter	Skønnede udgifter frem til 2060
Behov for kystbeskyttelse i den vestlige del af Limfjorden	—
Anlægsudgift	175 mio. kr.
Vedligeholdelse (2 % af anlægsprisen årligt)	175 mio. kr.
Behov for kystfodring af Agger og Harboøre Tanger	1.200 mio. kr.
Oprensning i indsejlingskorridoren til Thyborøn Havn	102 mio. kr.
Oprensning i fyrlinjen (Indsejling til Thyborøn Kanal)	
Oprensning på sandpuden	
Erosion på NØ-siden af kanalen	52 mio. kr.
Udgifter i alt	1.846 mio. kr.

Tabel 10: Skønnede udgifter for udbygningen af hofde 63-løsningen. Alle udgifter er angivet i 2011-niveau. Merudgifter grundet fremtidig havspejlsstigning er ikke medregnet.

Udgifter	Skønnede udgifter frem til 2060 inkl. havspejlsstigning
Behov for kystbeskyttelse i den vestlige del af Limfjorden	—
Anlægsudgift	188 mio. kr.
Vedligeholdelse (2 % af anlægsprisen årligt)	188 mio. kr.
Behov for kystfodring af Agger og Harbøre Tanger	1.316 mio. kr.
Oprensning i indsejlingskorridoren til Thyborøn Havn	102 mio. kr.
Oprensning i fyrlinjen (Indsejling til Thyborøn Kanal)	
Oprensning på sandpuden	
Erosion på NØ-siden af kanalen	52 mio. kr.
Udgifter i alt	1.846 mio. kr.

Tabel 11: Skønnede udgifter for udbygningen af hofde 63-løsningen inkl. havspejlsstigningen. Alle udgifter er angivet i 2011-niveau.

Sammenfatning

Indsnævringen kan ske fra begge sider af kanalen, men det er vurderet, at den bedste løsning er, hvis lukningen primært udføres ved at forlænge hofde 63 trinvis. Der er taget udgangspunkt i en indsnævring til 500 m med en effektiv bundsikring mellem de to hofdeender.

Overordnet betyder det, at:

- samlede udgifter for løsningen bliver 1,8 mia. kr. frem til 2060 inkl. havspejlsstigning
- stormflodsvandstandene holdes uændrede
- oprensningen i fyrlinjen bortfalder
- oprensningen i indsejlingskorridoren forbliver på nuværende niveau
- erosionen vil fortsat stige på Limfjordstangerne
- erosionen på kanalens NØ-side (Agger Tange) vil stige
- bølgeuroen i havnen mindskes, da bølgeforholdene i kanalen ændres
- besejlingsforholdene generelt bliver forbedret, dog kan forholdene forværres under storm
- skadespotentialet forbliver uændret i forhold til i dag

Forlængelsen af hofde 63 ud på sandpuden vil tage hånd om flere af udfordringerne i den vestlige Limfjord med hensyn til stormflodsvandstanden, oprensning, bølgeuro og kystbeskyttelse, men løsningen vil ikke nedsætte fordringsbehovet på Limfjordstangerne.

Forlængelse af hofder på NØ-siden

Hofderne 65 til 69 forlænges trinvis, således at kanalen får et jævnt konkavt forløb, se principskitse på Figur 15. Hofdemellemrummene vil sandsynligvis fyldes med sand, og hofdeenderne og det mindste tværsnit beskyttes med bundsikring.

De hofder, der er anlagt på NØ-siden, har tidligere været mellem 35 og 115 meter længere søværts end i dag. På Tegning 1 ses, hvordan hofderne har ændret beliggenhed og længde over tid.

I 2008 blev det overvejet, hvad en udbygning af hofderne 65 til 67 til de oprindelige hofdeender ville koste. Vurderingen var, at det kun var hofde 65 og 67, der skulle forlænges med henholdsvis 100 og 190 meter. Ved de nuværende dybdeforhold er prisen vurderet til ca. 65 mio. kr. forudsat, at bundsikring ikke er nødvendig. Udbygges hofderne 65 til 69, og foretages der bundsikring af hofdeenderne og af kanaltværsnittet på det smalleste sted, bliver prisen 229 mio. kr., Tabel 12.

I bilag 3 – tabel 5 er vist, hvorledes de fysiske forhold ændres frem mod 2060, hvis hofde 65 til 69 udbygges trinvis til compensation for tværsnitsudviklingen.

I Tabel 12 vises de skønnede udgifter til kystbeskyttelse og oprensning, hvis skadespotentialet skal fastholdes ved at udbygge hofderne 65 til 69. Bemærk at der i denne tabel ikke er taget hensyn til havspejlsstigningen. Skønnet er foretaget som en gennemsnitlig årsudgift ganget med antallet af år.



Motiv: Helligsø Drag 2012 Foto: Carlo Sørensen, KDI

Udgifter	Skønnede udgifter frem til 2060
Behov for kystbeskyttelse i den vestlige Limfjord	—
Vedligeholdelse af kystbeskyttelsen (0,5 % af anlægspris årligt)	
Anlægsudgift til udbygningen af hofde 65-69-løsningen	229 mio. kr.
Vedligeholdelse (2 % af anlægsprisen årligt)	229 mio. kr.
Behov for kystfodring af Agger og Harboøre Tanger	1.200 mio. kr.
Oprensning i indsejlingskorridoren til Thyborøn Havn	30 mio. kr.
Oprensning i fyrlinjen (Indsejling til Thyborøn Kanal)	
Oprensning på sandpuden	
Erosion på NØ-siden af kanalen	—
Udgifter i alt	1.688 mio. kr.

Tabel 12: Skønnede udgifter for udbygningen af hofde 65-69-løsningen. Alle udgifter er angivet i 2011-niveau. Merudgifter grundet fremtidig havspejlsstigning er ikke medregnet.

Klimaeffekt i 2060

Frem til 2060 er der anslået en stigning i middelvandstanden på 24 cm i den vestlige Limfjord. Dette medfører øgede udgifter til kystbeskyttelse i den vestlige Limfjord. Enten skal der ske en forhøjelse af kystbeskyttelsen eller også skal forlængelsen af hofderne på NØ-siden af kanalen kompensere for stigningen. Det er dog ikke uproblematisk at indsnævre kanalen til mere end blot det nuværende niveau. Tidevandsprismet vil blive mindre med følgevirkninger for vandmiljøet i fjorden. I nedenstående regneeksempel er der valgt at kompensere ved at forhøje og udbygge kystbeskyttelsen i Limfjorden. I afsnittet omkring den hidtidige udvikling er det

beregnet, at en forhøjelse på ca. 20 cm i forhold til nuværende forhold vil koste 179 mio. kr. En yderligere indsnævring af kanalen er skønnet til at være dyrere, hvorfor kystbeskyttelsesløsningen vælges her, Tabel 13.

Behovet for kystfodring på Limfjordstangerne stiger i fremtiden (Jensen og Sørensen, 2008). Det antages, at den større vanddybde som følge af havspejlsstigningen hverken medfører større pres på NØ-siden af kanalen eller ændrede forhold med hensyn til bølgeuroen.

Udgifter	Skønnede udgifter frem til 2060 inkl. havspejlsstigning
Behov for kystbeskyttelse i den vestlige del af Limfjorden	179 mio. kr.
Vedligeholdelse af kystbeskyttelsen (0,5 % af anlægspris årligt)	45 mio. kr.
Anlægsudgift	229 mio. kr.
Vedligeholdelse (2% af anlægsprisen årligt)	229 mio. kr.
Behov for kystfodring af Agger og Harboøre Tanger	1.316 mio. kr.
Oprensning i indsejlingskorridoren til Thyborøn Havn	30 mio. kr.
Oprensning i fyrlinjen (Indsejling til Thyborøn Kanal)	
Oprensning på sandpuden	
Erosion på NØ-siden af kanalen	—
Udgifter i alt	2.028 mio. kr.

Tabel 13: Skønnede udgifter for udbygningen af hofde 65-69-løsningen inkl. havspejlsstigning. Alle udgifter er angivet i 2011-niveau.

Sammenfatning

Høfderne 65 til 69 forlænges, således at kanalen får et konkavt forløb, og således at Thyborøn Kanal tvinges mod vest. Høfdelemrummene vil sandsynligvis fyldes med sand, og det mindste tværsnit beskyttes med bundsikring.

Overordnet betyder det, at:

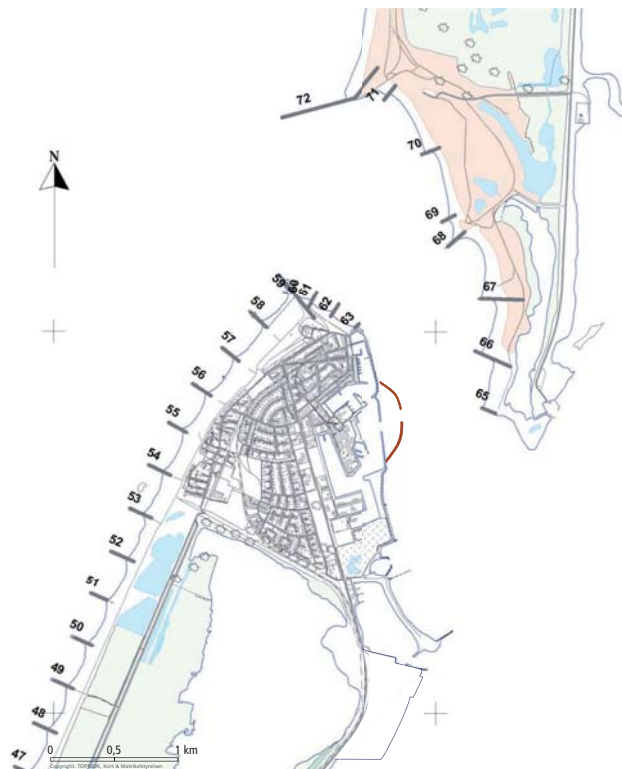
- samlede udgifter for løsningen bliver ca. 2 mia. kr. frem til 2060 inkl. havspejlsstigning
- stormflodsvandstandene holdes uændrede, hvis løsningen suppleres med kystbeskyttelse
- oprensningen i fyrlinjen bortfalder
- oprensningen i indsejlingskorridoren vil blive formindsket
- erosionen fortsat vil stige på Limfjordstangerne
- kanalens NØ-side (Agger Tange) vil blive udbygget og fastholdt
- bølgeuroen i havnen mindskes, da bølgeforholdene i kanalen ændres, og dybden foran havnen øges
- besejlingsforholdene generelt bliver forbedret, dog kan forholdene forværres under storm og lige uden for havnen
- skadespotentialet forbliver uændret i forhold til i dag, hvis der kystbeskyttes i Limfjorden
- behov for kystbeskyttelse i den vestlige Limfjord

Forlængelsen af høfde 65 til 69 vil tage hånd om flere af udfordringerne i den vestlige Limfjord med hensyn til stormflodsvandstanden, oprensning, bølgeuro og kystbeskyttelse. Løsningen forudsætter, at Thyborøn Kanal kan tvinges tilbage mod Harboøre Tange. Da morfologiske fremskrivninger er meget usikre for denne løsning, er der stor usikkerhed ved denne løsning. Dog nedsættes fodringsbehovet på Limfjordstangerne ikke.

Fremrykning af havneindsejlingen

I Thyborøn Havns masterplan 2008 til 2030 er der foreslået, at havneindsejlingen rykkes søværts ud i Thyborøn Kanal, se principskitse Figur 18.

Havnen overgik til kommunal selvstyrehavn i 2001. Gennem de seneste 10 år har havnen investeret ca. 180 mio. kr. i nye kaj anlæg, moler, uddybninger og nye arealer. Vanddybden i dele af havnen er øget fra 6,0/7,5 m til 8,5 m for at imødekomme behovet fra større fartøjer. På længere sigt er der planer om etablering af en ny indsejling, fremrykning af yderværker og etablering af nye havnearealer på yderligere ca. 50 ha (Danske Havne, 2010).



Figur 18: Principskitse af fremrykning af havneindsejlingen

Om eller hvornår disse udbygningsplaner kan realiseres, vides ikke på nuværende tidspunkt. Havneudbygningen vil mindske den forventede kanalværsnitforøgelse, men efter en tid vil kanalen udvide sig mod øst, og effekten vil forsvinde. Et groft skøn over udgifterne til en fremrykket havneindsejling opført med spuns og granitstenkastning på yder- og indersiden lyder på 330 mio. kr. Bygges der kun en granitstenkastning uden spuns skønnes udgifterne til 245 mio. kr., Tabel 14.

I Bilag 3 – Tabel 6 er vist, hvorledes de fysiske forhold ændres frem mod 2060, hvis Thyborøns havneindsejling udbygges til kompensation for tværsnitsudviklingen i kanalen.

I Tabel 14 vises de skønnede udgifter til kystbeskyttelse og oprensning, hvis skadespotentialet skal fastholdes ved at udbygge Thyborøns havneindsejling. Bemærk at der i denne tabel ikke er taget hensyn til havspejlsstigningen. Skønnet er foretaget som en gennemsnitlig årsudgift ganget med antallet af år.



Motiv: Thyborøn Kanal og by 2008 Foto: Hunderup Luftfoto, Hjørring

Udgifter	Skønnede udgifter frem til 2060
Behov for kystbeskyttelse i den vestlige del af Limfjorden	179 mio. kr.
Vedligeholdelse af kystbeskyttelsen (0,5 % af anlægspris årligt)	45 mio. kr.
Anlægsudgift	245 mio. kr.
Vedligeholdelse (2% af anlægsprisen årligt)	245 mio. kr.
Behov for kystfodring af Agger og Harboøre Tanger	1.200 mio. kr.
Oprensning i indsejlingskorridoren til Thyborøn Havn	30 mio. kr.
Oprensning i fyrlinjen (Indsejling til Thyborøn Kanal)	
Oprensning på sandpuden	
Erosion på NØ-siden af kanalen	50 mio. kr.
Udgifter i alt	1.951 mio. kr.

Tabel 14: Skønnede udgifter for udbygningen af Thyborøns havneindsejling. Alle udgifter er angivet i 2011-niveau. Merudgifter grundet fremtidig havspejlsstigning er ikke medregnet.

Klimaeffekt i 2060

Frem til 2060 er der anslået en stigning i middelvandstanden på 24 cm i den vestlige Limfjord. Dette medfører øgede udgifter til kystbeskyttelse i den vestlige Limfjord. Enten skal der ske en forhøjelse af kystbeskyttelsen, eller også skal den valgte løsning kompensere for stigningen. Havneudvidelsen kan ikke med dens nuværende udformning kompensere for kanaludvidelsen, hvis ikke den kombineres med andre løsninger. I afsnittet omkring den hidtidige udvikling er det beregnet, at en forhøjelse af kystbeskyttelsen i den vestlige del af Limfjorden med ca. 20 cm og havspejlsstigning i forhold til nuværende forhold vil koste 498 mio. kr., Tabel 15. Kombineres havneudvidelsen med andre løsninger, kan denne pris

muligvis reduceres. F.eks. kan de 516 mio. kr. til kystbeskyttelse reduceres til 188 mio. kr., hvis der vælges en alternativ løsning, hvor havneudvidelsen kombineres med udbygning af hofde 65 og 66.

Behovet for kystfodring på Limfjordstangerne stiger i fremtiden (Jensen og Sørensen, 2008). Det antages, at den større vanddybde som følge af havspejlsstigningen hverken medfører yderligere pres på NØ-siden eller ændrede forhold med hensyn til bølgeuroen.

Udgifter	Skønnede udgifter frem til 2060 inkl. havspejlsstigning
Behov for kystbeskyttelse i den vestlige del af Limfjorden*	516 mio. kr.
Vedligeholdelse af kystbeskyttelsen (0,5 % af anlægspris årligt)	129 mio. kr.
Anlægsudgift	245 mio. kr.
Vedligeholdelse (2% af anlægsprisen årligt)	245 mio. kr.
Behov for kystfodring af Agger og Harboøre Tanger	1.316 mio. kr.
Oprensning i indsejlingskorridoren til Thyborøn Havn	30 mio. kr.
Oprensning i fyrlinjen (Indsejling til Thyborøn Kanal)	
Oprensning på sandpuden	
Erosion på NØ-siden af kanalen	50 mio. kr.
Udgifter i alt	2.519 mio. kr.

Tabel 15: Skønnede udgifter for udbygning af Thyborøns havneindsejling inkl. havspejlsstigning. Alle udgifter er angivet i 2011-niveau. *Bemærk at denne pris kan reduceres til 188 mio. kr., hvis der vælges en alternativ løsning, hvor havneudvidelsen kombineres med udbygning af hofde 65 og 66.

Sammenfatning

Havneindsejlingen udbygges således, at den tager hånd om bølgeuro og besejling.

Overordnet betyder det, at:

- samlede omkostninger for løsningen bliver over 2,5 mia. kr. frem til 2060 inkl. havspejlsstigning
- stormflodsvandstandene (MT-vandstande) først falder og dernæst stiger
- oprensningen i fyrlinjen bortfalder
- oprensningen i indsejlingskorridoren vil blive formindsket
- erosionen fortsat vil stige på Limfjordstangerne
- erosionen på kanalens NØ-side (Agger Tange) vil stige, hvis ikke denne sikres yderligere
- bølgeuroen i havnen mindskes
- besejlingsforholdene bliver forbedret
- skadespotentialet stiger, hvis der ikke anlægges mere kystbeskyttelse i Limfjorden
- større behov for kystbeskyttelse i den vestlige Limfjord

Udbygning af Thyborøns havneindsejling vil ikke tage hånd om stormflodsvandstanden på længere sigt, hvis den ikke kombineres med en eller flere af de andre løsninger.

Stenrev på fjordgrundene

Begrænsning af stormflodsvandstandene i den vestlige Limfjord kan ske ved etablering af en barriere i form af et stenrev på fjordgrundene lige øst for Thyborøn Kanal, jf. principskiten Figur 19. Herved lukkes de centrale løb på fjordgrundene, mens det sydlige løb, Sælhundeholmsløb, og det nordlige løb, Langholmsløb/Kobberødløb, forbliver åbne. Figurene 2 og 19. Stenrevet har en længde på 3,2 km, en kronekote på 2 m DVR90 samt en kronebredde på 5 m, når det er udbygget til fuld størrelse. Begge skråninger har hældningen 1:2.

I Bilag 3 – Tabel 7 er vist, hvorledes de fysiske forhold ændres frem mod 2060, hvis der bygges en barriere på fjordgrundene. Barrieren udbygges trinvis til kompensation for tværsnitsudviklingen.

Der vil generelt for Limfjordens kyststrækninger ikke ske en forøgelse af skadespotentialet. Undtagelsen er området vest for barrieren, hvor stormflodsvandstandene potentielt vil blive væsentligt højere. Skadespotentialet i Thyborøn by vil derfor vokse. Det vil

derfor være nødvendigt at beskytte Thyborøn yderligere, da der ellers vil forekomme oversvømmelse med jævne mellemrum, Tabel 16. Der er i dette skøn regnet med at de 2,5 km lange dige forhøjes fra ca. 2 m DVR90 til 3 m DVR90.

Besejlingsforholdene i kanalen vil blive en smule bedre på grund af de lavere strømhastigheder. Det omvendte vil være tilfældet i Sælhundeholmsløb, hvor strømhastighederne bliver højere.

Aflejringen på sandpuden og i indsejlingskorridoren vil øges og dermed også oprensningsbehovet.

I Tabel 16 vises de skønnede udgifter til kystbeskyttelse og oprensning, hvis skadespotentialet skal fastholdes. Bemærk at der i denne tabel ikke er taget hensyn til havspejlsstigningen. Skønnet er foretaget som en gennemsnitlig årsudgift ganget med antallet af år.



Figur 19: Principskitse af stenrev på fjordgrundene vist med udbygning i 3 etaper.



Motiv: Thyborøn Kanal 2008 Foto: Hunderup Luftfoto, Hjørring

Udgifter	Skønnede udgifter frem til 2060
Behov for kystbeskyttelse i den vestlige del af Limfjorden	15 mio. kr.
Vedligeholdelse af kystbeskyttelsen (0,5 % af anlægspris årligt)	3,9 mio. kr.
Anlægsudgift	345 mio. kr.
Vedligeholdelse (2% af anlægsprisen årligt)	345 mio. kr.
Behov for kystfodring af Agger og Harboøre Tanger	1.200 mio. kr.
Oprensning i indsejlingskorridoren til Thyborøn Havn	227 mio. kr.
Oprensning i fyrlinjen (Indsejling til Thyborøn Kanal)	
Oprensning på sandpuden	
Erosion på NØ-siden af kanalen	50 mio. kr.
Udgifter i alt	2.186 mio. kr.

Tabel 16: Skønnede udgifter for anlæg af stenrev på fjordgrundene. Alle udgifter er angivet i 2011-niveau. Merudgifter grundet fremtidig havspejlsstigning er ikke medregnet.

Klimaeffekt i 2060

Frem til 2060 er der anslået en stigning i middelvandstanden på 24 cm i den vestlige Limfjord. Dette medfører øgede udgifter til kystbeskyttelse i den vestlige Limfjord. Enten skal der ske en forhøjelse af kystbeskyttelsen, eller også skal den valgte løsning kompensere for stigningen. Stenrevet kan ikke med dets nuværende udformning kompensere fuldt ud for havspejlsstigningen, men vil dog kunne udbygges. I afsnittet omkring den hidtidige udvikling er det beregnet, at en forhøjelse af kystbeskyttelsen i den vestlige del af Limfjorden med ca. 20 cm i forhold til nuværende forhold vil koste 179 mio. kr. Det anses derfor for billigst at udbygge stenrevet så den

tager hånd om havsspejlsstigningen. Herudover er det nødvendigt at beskytte Thyborøn by yderligere, da den ellers vil blive oversvømmet med jævne mellemrum, der er i dette skøn regnet med at de 2,5 km lange dige forhøjes fra ca. 2 m DVR90 til 3,25 m DVR90, Tabel 17.

Behovet for kystfodring på Limfjordstangerne stiger i fremtiden (Jensen og Sørensen, 2008). Det antages, at den større vanddybde som følge af havspejlsstigningen hverken medfører yderligere pres på NØ-siden eller ændrede forhold med hensyn til bølgeuroen.

Udgifter	Skønnede udgifter frem til 2060 inkl. havspejlsstigning
Behov for kystbeskyttelse i den vestlige del af Limfjorden	19 mio. kr.
Vedligeholdelse af kystbeskyttelsen (0,5 % af anlægspris årligt)	4,8 mio. kr.
Anlægsudgift	396 mio. kr.
Vedligeholdelse (2% af anlægsprisen årligt)	396 mio. kr.
Behov for kystfodring af Agger og Harboøre Tanger	1.316 mio. kr.
Oprensning i indsejlingskorridoren til Thyborøn Havn	227 mio. kr.
Oprensning i Fyrlijnen (Indsejling til Thyborøn Kanal)	
Oprensning på sandpuden	
Erosion på NØ-siden af kanalen	50 mio. kr.
Udgifter i alt	2.335 mio. kr.

Tabel 17: Skønnede udgifter for anlæg af stenrev på fjordgrundene inkl. havspejlsstigningen. Alle udgifter er angivet i 2011-niveau.

Sammenfatning

Barrieren udbygges i trin således, at den tager hånd om stigningen i maksimalvandstandene. Da barrieren er placeret inde i Limfjorden, vil den skabe højere stormflodsvandstande i Thyborøn by.

Overordnet betyder det, at:

- samlede omkostninger for løsningen bliver over 2 mia. kr. frem til 2060 inkl. havspejlsstigning
- stormflodsvandstanden falder i den vestlige Limfjord, men stiger ved Thyborøn vest for barrieren
- oprensningen i fyrlinjen bortfalder
- oprensningen i indsejlingskorridoren vil blive større
- erosionen fortsat vil stige på Limfjordstangerne
- erosionen på kanalens NØ-side (Agger Tange) fortsætter
- bølgeuroen i havnen forbliver uændret, hvis sandpuden fjernes hvert år/regelmæssigt
- besejlingsforholdene bliver forbedret i kanalen, men forværres i Sælhundeholmløbet.
- skadespotentialet ændres ikke, hvis Thyborøn by beskyttes, og hvis der kystbeskyttes mod havspejlsstigning i den vestlige Limfjord.

Løsningen medfører, at Thyborøn by skal beskyttes mod større stormflodsvandstande i fremtiden. Endvidere vil løsningen være meget dyr, hvis den også skal tage hånd om havspejlsstigningen i 2060.

Dæmning med skibsfartssluse inkl. forlængelse af hofde 58/59.

I 1930'erne blev der nedsat en kommission af det daværende ministerium for offentlig arbejder. Denne kommission havde til opgave at finde en løsning på blandt andet at sikre Thyborøn Kanal. I 1946 blev Thyborønloven vedtaget d. 14. august. Denne lov gav grønt lys til at etablere to store dækmoler (forlængelse af 58/59 og 72) samt at lukke Thyborøn Kanal med en dæmning med indbygget skibsfartssluse og gennemstrømningsluse (KI, 1975). Løsningen i dette notat svarer stort set til denne løsning, dog med en noget større gennemstrømningsluse. Som anført i (Larsen, 2006) vil det være nødvendigt at have en gennemstrømningsluse, der tager hånd om påvirkningen af vandmiljøet. I dette notat er der ikke taget stilling til, hvor stor en sluse skal være for at tage hånd om dette, men gennemstrømningslusen skal have en betydelig størrelse.

For at tilgodese havnens udviklingsplaner bør dæmningen placeres umiddelbart nord for Rønland. I Sælhundeholmløbet placeres en skibsfartssluse. Dæmningen fortsætter over den vestlige del af fjordgrundene, hvor dybderne er moderate, og får forbindelse med Agger Tange umiddelbart nord for færgehavnen, se principskitzen Figur 20.

Dæmningen anlægges med en gennemstrømningsluse, således at vandmiljøet ikke lider overlast. Da gennemstrømning af kanalen vil blive nedsat, vil meget af sandet, der kommer ind i kanalen, aflejres. Det er derfor nødvendigt at forlænge hofde 59 med f.eks. 700 m, så tilførslen af sand begrænses.

Der er regnet med en kronebredde på 10 m for dæmningen, så der er plads til etablering af vej. Kronekoten er +4 m DVR90 bortset fra de beskyttede landender, hvor den er +3,5 m. Der anvendes hovedsagligt sand til dæmningen. Dog anvendes der sten i og tæt ved løbene af hensyn til stabiliteten under selve anlægsarbejdet. Der regnes med en skråningshældning på begge sider på 1:3. Hvor der er anvendt sand til dæmningen, anlægges en skråningsbeskyttelse på vestsiden på den bølgeeksponerede del.



Figur 20. Principskitse af dæmning med skibsfartssluse inkl. forlængelse af hofde 58/59

Slusen er en kammerluse med kammerlængde på 200 m og en gennemsejlingsbredde på 30 m. Der regnes med en 8 m bred vippebro over slusen. Overslaget er for slusens vedkommende baseret på sammenlignelige projekter.

Da maksimalvandstandene i Thyborøn by vil stige voldsomt, er der afsat 19 mio. kr. til at kompensere for forhøjelse af eksisterende diger og højvandsbeskyttelse, Tabel 18.

I bilag 3 – tabel 8 er vist, hvorledes de fysiske forhold ændres frem mod 2060, hvis der anlægges en dæmning med skibsfartssluse.

I Tabel 18 vises de skønnede udgifter til kystbeskyttelse og oprensning. Bemærk at der i denne tabel ikke er taget hensyn til havspejlsstigningen. Skønnet er foretaget som en gennemsnitlig årsudgift ganget med antallet af år.

Udgifter	Skønnede udgifter frem til 2060
Behov for kystbeskyttelse i den vestlige del af Limfjorden	2 mio. kr.
Vedligeholdelse af kystbeskyttelsen (0,5 % af anlægspris årligt)	1 mio. kr.
Anlægsudgift	1.100 mio. kr.
Vedligeholdelse (2 % af anlægsprisen årligt)	1.100 mio. kr.
Behov for kystfodring af Agger og Harboøre Tanger	888 mio. kr.
Oprensning i indsejlingskorridoren til Thyborøn Havn	30 mio. kr.
Oprensning i fyrlinjen (Indsejling til Thyborøn Kanal)	
Oprensning på sandpuden	
Erosion på NØ-siden af kanalen	0 mio. kr.
Udgifter i alt	3.121 mio. kr.

Tabel 18: Skønnede udgifter for anlæg af dæmning med skibsfartssluse samt forlængelse af hofde 58/59. Alle udgifter er angivet i 2011-niveau. Merudgifter grundet fremtidig havspejlsstigning er ikke medregnet.

Dæmningen vil holde stormflodsvandstandene på et lavt niveau i forhold til i dag inde i Limfjorden. Der vil derfor generelt for Limfjordens kyststrækninger ske en formindskelse af skadespotentialet. Undtagelsen er området vest for dæmningen, hvor stormflodsvandstandene vil blive væsentligt højere. Skadespotentialet i Thyborøn vil derfor øges.

Besejlingsforholdene i kanalen vil blive forringet. Det sker ved selve indsejlingen og længere inde i kanalen på grund af risikoen for sandaflejring. Passage af en skibsfartssluse for at komme ind i Limfjorden vil også være en forringelse af besejlingsforholdene.

Klimaeffekt i 2060

Frem til 2060 er der anslået en stigning i middelvandstanden på 24 cm i den vestlige Limfjord. Dette vil ved dæmningsløsningen ikke øge udgifter til kystbeskyttelse i den vestlige Limfjord. Kun Thyborøn by vil skulle beskyttes yderligere frem mod 2060 på grund af havspejlsstigning, Tabel 19.

Behovet for kystfodring på Limfjordstangerne stiger i fremtiden (Jensen og Sørensen, 2008). Det antages, at den større vanddybde som følge af havspejlsstigningen hverken medfører yderligere pres på NØ-siden eller ændrede forhold med hensyn til bølgeuroen.

Udgifter	Skønnede udgifter frem til 2060 inkl. havspejlsstigning
Behov for kystbeskyttelse i den vestlige del af Limfjorden	4 mio. kr.
Vedligeholdelse af kystbeskyttelsen (0,5 % af anlægspris årligt)	1 mio. kr.
Anlægsudgift	1.100 mio. kr.
Vedligeholdelse (2 % af anlægsprisen årligt)	1.100 mio. kr.
Behov for kystfodring af Agger og Harboøre Tanger	974 mio. kr.
Oprensning i indsejlingskorridoren til Thyborøn Havn	30 mio. kr.
Oprensning i fyrlinjen (Indsejling til Thyborøn Kanal)	
Oprensning på sandpuden	
Erosion på NØ-siden af kanalen	0 mio. kr.
Udgifter i alt	3.208 mio. kr.

Tabel 19: Skønnede udgifter for anlæg af dæmning med skibsfartssluse samt forlængelse af hofde 58/59 inkl. havspejlsstigningen. Alle udgifter er angivet i 2011-niveau.

Sammenfatning

Dæmningen anlægges med kronehøjde i +4 m DVR90 og en kromebredde på 10 m, så der er plads til etablering af vej. Slusen er en kammer-sluse med kammerlængde på 200 m og en gennemsejlingsbredde på 30 m. Der regnes med en 8 m bred vippebro over slusen. Overslaget er for slusens vedkommende baseret på sammenlignelige projekter. Endvidere etableres en gennemstrømnings-sluse, der tager højde for de miljømæssige problemer, og således, at der fortsat kan ske en vandudskiftning med Nordsøen.

Overordnet betyder det, at:

- samlede omkostninger for løsningen bliver over 3 mia. frem til 2060 inkl. havspejlsstigningen
- stormflodsvandstanden falder drastisk i den vestlige Limfjord, men stiger ved Thyborøn vest for dæmningen
- oprensningen i fyrlinjen øges
- oprensningen i indsejlingskorridoren vil blive mindre
- erosionen vil aftage på Limfjordstangerne
- erosionen på kanalens NØ-side (Agger Tange) mindskes
- bølgeuroen i havnen bliver forbedret
- besejlingsforholdene i Thyborøn Kanal bliver forværret, især under storm, og forværres generelt i Sælhundeholmløbet.
- skadespotentialet falder øst for dæmningen og holdes neutralt for Thyborøn by, hvis denne beskyttes yderligere i forhold til havspejlsstigning og forøgede stormflodsvandstande.

Løsningen medfører, at Thyborøn By skal beskyttes mod større stormflodsvandstande i fremtiden. Endvidere vil løsningen være meget dyr, og da en forlængelse af hofde 58/59 kan tage hånd om de fleste udfordringer, vil det være formålsløst også at bygge en dyr dæmning.

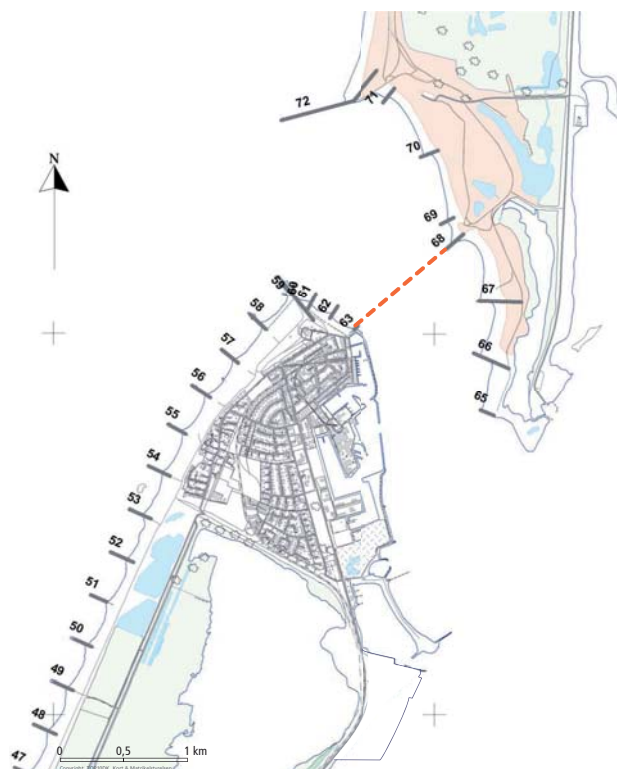
Højvandsbarriere - Lukning af kanalen under stormfloder

Barrieren aktiveres kun ved optræk til stormflod, og den er således neutral i forhold til ind- og udstrømning resten af tiden. En udformning, hvor spærringen rejses fra bunden, opfylder kravene. Barrieren

tænkes placeret umiddelbart vest for havnen, hvor kanalens bredde er mindst, jf. principskitse Figur 21. Med denne placering undgår man forhøjede stormflodsvandstande i havnen.

Løsningen er beskrevet i Bilag 3 – Tabel 9, hvor ændringerne i de fysiske forhold vises frem mod 2060, hvis der bygges en højvandsbarriere i Thyborøn Kanal, Tabel 20.

I Tabel 20 vises de skønnede udgifter til kystbeskyttelse og oprensning. Bemærk at der i denne tabel ikke er taget hensyn til havspejlsstigningen. Skønnet er foretaget som en gennemsnitlig årsudgift ganget med antallet af år.



Figur 21: Principskitse af højvandsbarriere - Lukning af kanalen under stormfloder.

Udgifter	Skønnede udgifter frem til 2060
Behov for kystbeskyttelse i den vestlige del af Limfjorden	—
Anlægsudgift	7.500 mio. kr.
Vedligeholdelse (1 % af anlægsprisen årligt)	3.750 mio. kr.
Behov for kystfodring af Agger og Harbøre Tanger	1.200 mio. kr.
Oprensning i indsejlingskorridoren til Thyborøn Havn	142 mio. kr.
Oprensning i fyrlinjen (Indsejling til Thyborøn Kanal)	
Oprensning på sandpuden	
Erosion på NØ-siden af kanalen	48 mio. kr.
Udgifter i alt	12.640 mio. kr.

Tabel 20: Skønnede udgifter for anlæg af højvandsbarriere. Alle udgifter er angivet i 2011-niveau. Merudgifter grundet fremtidig havspejlsstigning er ikke medregnet.

Klimaeffekt i 2060

Frem til 2060 er der anslået en stigning i middelvandstanden på 24 cm i den vestlige Limfjord. Dette vil ved denne løsning med en højvandsbarriere ikke betyde øgede udgifter til kystbeskyttelse i den vestlige Limfjord. Barrieren skal blot aktiveres oftere i fremtiden. Til at skønne udgifterne er benyttet kendte anlægsudgifter fra tilsvarende projekter i Europa.

Behovet for kystfodring på Limfjordstangerne stiger i fremtiden (Jensen og Sørensen, 2008). Det antages, at den større vanddybde ikke medfører øget oprensningsbehov af sandpuden, og at bølgeuroen forbliver uændret, Tabel 21.

Sammenfatning

Med højvandsbarrieren vil det være muligt at regulere og begrænse stormflodsvandstandene i den vestlige Limfjord. Løsningen vil dog hindre brugen af Thyborøn Havn som nødhavn. Hertil kommer, at løsningen er dyr med en anlægsudgift på 5-10 mia. kr.

Overordnet betyder det, at:

- samlede omkostninger for løsningen bliver ca. 13 mia. kr. frem til 2060 inkl. havspejlstigningen
- stormflodsvandstanden kan reguleres og begrænses
- oprensningen i fyrlinjen forsvinder
- oprensningen i indsejlingskorridoren ændres ikke
- erosionen fortsætter på Limfjordstangerne
- erosionen på kanalens NØ-side (Agger Tange) fortsætter
- bølgeuroen i havnen fortsætter, medmindre sandpuden fjernes med jævne mellemrum
- besejlingsforholdene i kanalen vil blive hindret under storm, idet kanalen lukkes
- Thyborøn Havn kan ikke være nødhavn
- skadespotentialer forbliver på niveau med i dag, alt efter til hvilken niveau barrieren lukkes

Løsningen tager kun hånd om stormflodsvandstandene. De andre udfordringer bliver ikke løst, og løsningen er meget dyr.

Udgifter	Skønnede udgifter frem til 2060 inkl. havspejlsstigning
Behov for kystbeskyttelse i den vestlige del af Limfjorden	—
Anlægsudgift	7.500 mio. kr.
Vedligeholdelse (1 % af anlægsprisen årligt)	3.750 mio. kr.
Behov for kystfodring af Agger og Harboøre Tanger	1.316 mio. kr.
Oprrensning i indsejlingskorridoren til Thyborøn Havn	142 mio. kr.
Oprrensning i fyrlinjen (Indsejling til Thyborøn Kanal)	
Oprrensning på sandpuden	
Erosion på NØ-siden af kanalen	48 mio. kr.
Udgifter i alt	12.756 mio. kr.

Tabel 21: Skønnede udgifter for anlæg af højvandsbarriere inkl. havspejlstigningen. Alle udgifter er angivet i 2011-niveau.



Motiv: Thyborøn Kanal og by 2008 Foto: Hunderup Luftfoto, Hjørring

Ønske om større vanddybde i Thyborøn Kanal

Thyborøn Havn har udtrykt ønske om større vanddybde ind til havnen. Der er foretaget en undersøgelse af udgifter til selve uddybningen og fremtidig drift samt af de konsekvenser, en sådan uddybning måtte få på Thyborøn Kanal og den vestlige Limfjord. I det følgende vil uddybningen dels blive kombineret med fortsættelse af hidtidig udvikling indtil 2060 og dels med de undersøgte løsninger.

Uddybningen sammen med en fortsættelse af hidtidig udvikling indtil 2060

Hvis der fortsættes med den hidtidige udvikling i Thyborøn Kanal, og der samtidig foretages en uddybning til en garanteret sejlddybde på -10 m DVR90, vil det være naturligt at vælge den sydlige sejlrendeudbygning. Denne løsning har de klart laveste anlægs- og driftsomkostninger.

Den samlede pris for oprensning og drift af en uddybet sydlig sejlrende, kystbeskyttelse i den vestlige Limfjord og på Limfjordstangerne samt vedligeholdelse af høfderne på NØ-siden af Thyborøn Kanal med bidrag fra havspejlsstigningen indregnet, er skønnet til 2,2 mia. kr. frem til 2060. Beregningen er foretaget som nutidsudgift ganget med antallet af år, hvor udgiften forekommer i løbet af de næste 50 år. Der er ikke medregnet forrentning eller afskrivning.

Konsekvenserne for Thyborøn Kanal og den vestlige Limfjord er:

- en betydelig forhøjelse af stormflodsvandstandene i den vestlige Limfjord
- behov for mere kystbeskyttelse i den vestlige Limfjord
- større oprensningsudgifter
- større kystbeskyttelsesudgifter på Limfjordstangerne.
- fortsat behov for fjernelse af sandpuden for at undgå bølgeuro
- forbedrede besejlingsforhold

Det bemærkes, at stormflodsvandstandene i den vestlige Limfjord øges ved at fjerne sandpuden i forhold til, hvis der ikke skete en fjernelse. I gennemsnit for tre analyserede storme er maksimalvandstanden således steget med op til 4 cm i Thyborøn Havn. Hvis der samtidig sker en uddybning, er det beregnet, at der vil ske en forøgelse af stormflodsvandstandene på op til 6 cm i Thyborøn Havn.

Hvis uddybningen kombineres med de undersøgte løsninger:

Hvis der foretages en uddybning af indsejlingen til Thyborøn Havn, kan der vælges en dyrere og længere uddybning (nordlige sejlrende) eller en billigere uddybning (sydlige sejlrende). De to uddybninger kombineres i det følgende med de undersøgte løsninger.

Indsnævring af Thyborøn Kanal ved høfde 58/59 og 72.

Som det fremgår af Figur 12, kan udbygningen af høfde 58/59 kun kombineres med den nordlige sejlrendeudbygning. Den skønnede pris er beregnet som udgifterne til denne løsning sammen med de øvrige udgifter. Den samlede pris for oprensning og drift af en uddybet nordlig sejlrende, anlægsudgift og vedligehold til udbygning af høfde 58 eller 59, kystbeskyttelse på Limfjordstangerne samt vedligeholdelse af høfderne på NØ-siden af Thyborøn Kanal, er skønnet til 1,9 mia. kr. frem til 2060. Beregningen er foretaget som nutidsudgift ganget med antallet af år, hvor udgiften forekommer i løbet af de næste 50 år. Der er ikke medregnet forrentning eller afskrivning.

Konsekvenserne for Thyborøn Kanal og den vestlige Limfjord er:

- uændret stormflodsvandstand til 2060
- mindre eller uændret oprensning
- forbedrede besejlingsforhold, dog med en mindre forværring ved udstømning fra fjorden
- reduceret behov for kystbeskyttelse på Limfjordstangerne
- mindre vedligeholdelse på NØ-siden af Thyborøn Kanal

Denne løsning tager hånd om mange af udfordringerne, og løsningen kan optimeres således, at den ikke påvirker vandmiljøet væsentligt.



Motiv: Thyborøn Kanal og by 2008 Foto: Hunderup Luftfoto, Hjørring

Indsnævring af Thyborøn kanal ved hofde 63 og 68.

Udbygningen af hofde 63 kan kombineres med den sydlige eller nordlige sejlrendeudbygning. Den skønnede pris er beregnet som udgifterne til den sydlige løsning sammen med de øvrige udgifter. Den samlede pris for oprensning og drift af en uddybet sydlig sejlrende, anlægsudgift og vedligehold til udbygning af hofde 63 i flere trin, kystbeskyttelse på Limfjordstangerne samt vedligeholdelse af hofderne på NØ-siden af Thyborøn Kanal, er skønnet til 1,9 mia. kr. frem til 2060. Beregningen er foretaget som nutidsudgift ganget med antallet af år, hvor udgiften forekommer i løbet af de næste 50 år. Der er ikke medregnet forrentning eller afskrivning.

Konsekvenserne for Thyborøn Kanal og den vestlige Limfjord er:

- uændret stormflodsvandstand
- uændret eller mindre oprensningsudgifter
- uændrede kystbeskyttelsesudgifter på Limfjordstangerne
- ingen behov for fjernelse af sandpuden for at undgå bølgeuro
- forbedrede besejlingsforhold, dog med en mindre forværring ved udstømning fra fjorden
- større vedligeholdelse på NØ-siden af Thyborøn Kanal

Denne løsning tager ikke hånd om presset på hofderne på NØ-siden af Thyborøn Kanal, der vil øges.

Indsnævring af Thyborøn Kanal ved udbygning af hofder på Agger Tange (NØ-siden).

En udbygning af hofderne på Thyborøn Kanals NØ-side kan kombineres med den sydlige og nordlige sejlrendeudbygning. Den skønnede pris er beregnet som udgifterne til den sydlige løsning sammen med de øvrige udgifter. Den samlede pris for oprensning og drift af uddybet sydlig sejlrende, anlægsudgift og vedligehold til udbygning af hofderne på Thyborøn Kanals NØ-side i flere trin samt kystbeskyttelse på Limfjordstangerne, er skønnet til 2,1 mia. kr. frem til 2060. Beregningen er foretaget som nutidsudgift ganget med antallet af år, hvor udgiften forekommer i løbet af de næste 50 år. Der er ikke medregnet forrentning eller afskrivning.

Konsekvenserne for Thyborøn Kanal og den vestlige Limfjord er:

- uændret stormflodsvandstand
- uændrede eller mindre oprensningsudgifter
- uændrede kystbeskyttelsesudgifter på Limfjordstangerne
- fjernelse af sandpuden for at undgå bølgeuro vil ikke være nødvendig
- forbedrede besejlingsforhold, dog med en mindre forværring ved udstømning fra fjorden
- større vedligeholdelse af hofderne på NØ-siden af Thyborøn Kanal

Denne løsning tager ikke hånd om presset på hofderne på NØ-siden af Thyborøn Kanal, der vil vokse.

Stenrev på fjordgrundene

En opbygning af et stenrev på fjordgrundene kan kombineres med den sydlige og nordlige sejlrendeudbygning. Den skønnede pris er beregnet som udgifterne til den sydlige løsning sammen med

de øvrige udgifter. Den samlede pris for oprensningen og drift af en uddybet sydlig sejlrende, vedligehold af hofderne på NØ-siden af Thyborøn Kanal, anlægsudgift og vedligehold til udbygning af stenrevet på fjordgrundene i flere trin samt kystbeskyttelse i den vestlige Limfjord og på Limfjordstangerne, er skønnet til 2,4 mia. kr. frem til 2060. Beregningen er foretaget som nutidsudgift ganget med antallet af år, hvor udgiften forekommer i løbet af de næste 50 år. Der er ikke medregnet forrentning eller afskrivning.

Konsekvenserne for Thyborøn Kanal og den vestlige Limfjord er:

- uændret stormflodsvandstand øst for barrieren
- stigende stormflodsvandstand ved Thyborøn Havn og by
- mulighed for vindmøller på barrieren/revet
- større oprensningsudgifter
- uændrede kystbeskyttelsesudgifter på Limfjordstangerne
- behov for fjernelse af sandpuden for at undgå bølgeuro
- forbedrede besejlingsforhold, dog med en mindre forværring i Sælhundeholmløbet
- større vedligeholdelse på NØ-siden af Thyborøn Kanal, især når løsningen er fuldt udbygget

Denne løsning forværrer forholdene under storm i Thyborøn Havn og by. Løsningen medfører øgede oprensningsudgifter og større vedligeholdelsesudgifter af hofderne på NØ-siden af Thyborøn Kanal, især når løsningen er fuldt udbygget. Løsningen giver mulighed for etablering af vindmøller på revet.

Dæmning med skibsfartssluse og gennemstrømningsluse samt indsnævring af Thyborøn Kanal ved hofde 58/59 og 72

Bygning af en dæmning med skibsfartssluse og gennemstrømningsluse på fjordgrundene samt udbygning af hofde 58 eller 59 kan kun kombineres med den nordlige sejlrendeudbygning. Den skønnede pris er beregnet som udgifterne til den nordlige løsning sammen med de øvrige udgifter. Den samlede pris for oprensningen og drift af uddybet nordlig sejlrende, vedligehold af hofderne på NØ-siden af Thyborøn Kanal, anlægsudgift og vedligehold til udbygning af dæmningen på fjordgrundene samt kystbeskyttelse i den vestlige Limfjord og på Limfjordstangerne, er skønnet til 3,5 mia. kr. frem til 2060. Beregningen er foretaget som nutidsudgift ganget med antallet af år, hvor udgiften forekommer i løbet af de næste 50 år. Der er ikke medregnet forrentning eller afskrivning.

Konsekvenserne for Thyborøn Kanal og den vestlige Limfjord er:

- stor reduktion i stormflodsvandstandene øst for dæmningen
- op til 0,7 meter højere stormflodsvandstande ved Thyborøn Havn og by
- mindre oprensningsudgifter
- færre kystbeskyttelsesudgifter på Limfjordstangerne
- ingen behov for fjernelse af sandpuden for at undgå bølgeuro
- forringede besejlingsforhold under storm, hvilket er et problem, da Thyborøn er eneste nødhavn på Vestkysten
- en bedre forbindelse mellem Agger-siden og Thyborøn-siden
- mindre vedligeholdelse af hofderne på NØ-siden af Thyborøn Kanal

Denne løsning forværrer, ligesom stenrevet, forholdene under storm i Thyborøn Havn og by. Selve løsningen er dyr og vil samtidig besværliggøre indsejlingen til den vestlige Limfjord.

Højvandsbarriere – lukning af kanalen under stormflod

Opførelse af en højvandsbarriere mellem 63 og 68 kan kombineres med den sydlige og nordlige sejltreudeudbygning. Den skønnede pris er beregnet som udgifterne til den sydlige løsning sammen med de øvrige udgifter. Den samlede pris for oprensningen og drift af uddybet sydlig sejltreude, anlægsudgift og vedligeholdelse af højvandsbarrieren, kystbeskyttelse på Limfjordstangerne samt vedligeholdelse af høfderne på NØ-siden af Thyborøn Kanal, er skønnet til 13 mia. kr. frem til 2060. Beregningen er foretaget som nutidsudgift ganget med antallet af år, hvor udgiften forekommer i løbet af de næste 50 år. Der er ikke medregnet forrentning eller afskrivning.

Konsekvenserne for Thyborøn Kanal og den vestlige Limfjord er:

- stor reduktion i stormflodsvandstandene øst for højvandsbarrieren
- neutrale eller større oprensningsudgifter – højvandsbarrieren skal friholdes for sand

- uændrede kystbeskyttelsesudgifter på Limfjordstangerne
- ingen behov for fjernelse af sandpuden for at undgå bølgeuro
- ingen besejling under storm, hvilket er et problem, da Thyborøn Havn er eneste nødhavn på Vestkysten
- uændret vedligeholdelse af høfderne på NØ-siden af Thyborøn Kanal

Sammenfatning

Sammenlignes løsningerne inkl. uddybning med den billigste uddybningsløsning, hvor dette er muligt, bliver høfde 58/59 stadig billigst over 50 år, selv om denne løsning kræver den dyrere nordlige uddybning. Den høje usikkerhed i tallene medfører dog, at det må konkluderes, at forlængelse af høfde 58/59 og høfde 63 ender på samme beløb over de skønnede udgifter efter 50 år. De andre løsninger har udgifter, der er skønnet liggende fra 2 mia. til ca. 13 mia. kr. over 50 år.



Foto Hunderup Luftfoto, Hjørring 2007 Motiv: Thyborøn, høfde 59

En af de vigtigste udfordringer i Thyborøn Kanal og den vestlige Limfjord er stigningen i stormflodsvandstanden. I dette notat er der foretaget en analyse af, hvor meget vandstanden stiger på grund af udvidelsen af Thyborøn Kanals tværsnit. Det er påvist i (Christensen, 2011a), at kanaludvidelsen betyder op til 30 cm på stormflodsvandstandene i den vestlige Limfjord mellem 1958 og 2005. I denne periode har der herudover været tale om en havspejlsstigning på 5 cm, hvorfor den samlede maksimale stigning har været på 35 cm, og hvor kanaludvidelsen bidrager med 86 % af stigningen.

I fremtiden indtil 2060 har (Christensen, 2011a) vurderet, at kanaludvidelsen betyder maksimalt 20 cm på stormflodsvandstandene. I samme periode er det vurderet, at havspejlsstigningen bliver 24 cm i gennemsnit for den vestlige Limfjord. Den samlede maksimale stormflodsvandstandsstigning frem mod 2060 bliver dermed 44 cm. I fremtiden betyder kanalens udvikling således kun 45 %. Dette skyldes, at havspejlsstigningen i fremtiden er skønnet til ca. 5 gange større set i forhold til de sidste 50 år. En anden årsag kan være, at kanaltværsnittet nærmer sig mere og mere en ligevægt med tidevandsprismet, hvorfor udvidelsen vil gå langsommere og langsommere.

Der er udover en modellering af højvandsstatistikker for 20 stationer, foretaget en højvandsstatistik baseret på korrektion af målinger for højvandsstatistikkerne for Thyborøn Havn, Lemvig, Løgstør og Skive. For disse havne kan forøgelsen være helt op til 60 cm hvis højvandsstatistikkerne korrigeres ud fra modellen fra Christensen, 2011a.

Det kan ikke konkluderes, at der er en reel forskel på 10 cm mellem de sidste 50 år og de næste 50 år, da der er en vis usikkerhed i forudsigelsen af den fremtidige bathymetri og i forhold til selve modelleringen. Det, der kan konkluderes, er, at der er to bidrag, der i fremtiden vil forhøje stormflodsvandstandene i den vestlige del af Limfjorden, hvis den hidtidige udvikling fortsættes. Det ene er Thyborøn Kanals udvikling, og det andet er havspejlsstigningen, og at forhøjelsen vil være omkring 40 cm.

En analyse af hvor meget infrastruktur og hvor mange ejendomme der berøres i forbindelse med en stormflod, der rammer hele den vestlige Limfjord, viser, at der i dag er et skadespotentiale under 50 års MT-vandstanden på 3 mia. kr. Tallene er fremkommet ved en meget konservativ analyse, hvor der er benyttet en højdemodel, der viser, hvor vandet vil strømme ind over land, hvis der var uendelig meget tid, og hvis mobile spærringer ikke opsættes. En anden forudsætning er, at der kun sker skader, når vandstanden er 0,5 meter over sokkelkoten. Der skal således fratrækkes 0,5 meter fra 50 års MT-vandstanden for at finde de ejendomme, der ligger i farezonen. Dette forhold medfører et for lille skadespotentiale for de ejendomme, der ligger meget lavt, mens de ejendomme, der ligger blot én cm højere og dermed kun bliver oversvømmet med 0,49 cm, ikke medtages i beregningen, hvilket underestimerer skadespotentialet. Tallene er dermed behæftet med stor usikkerhed, men det kan konkluderes, at skadespotentialet ligger i størrelsesordenen 3 til

4 mia. kr. Ejendomsværdien af det, der beskyttes, ligger på over 10 mia. kr. I denne opgørelse er infrastrukturen ikke værdisat.

Der er foretaget en analyse af, hvilke løsninger der tager bedst hånd om den fremtidige stigning i stormvandstandene. Den ultimative løsning er en højvandsbarriere. I dette tilfælde vil der i de næste

50 år og helt sikkert i endnu flere år ikke være problemer med stormflodsvandstande, medmindre der er tale om ekstreme vindstuvningssituationer. Det er dog en meget dyr løsning, se Tabel 22, og barrieren tager ikke hånd om mange af de andre udfordringer såsom bølgeuro, oprensning og kystbeskyttelse på Limfjordstangerne. Endvidere skaber den problemer i forhold til Thyborøn Havns status som nødhavn på Vestkysten.

Langt billigere er en forlængelse af hofde 58/59 eller forlængelse af hofde 63. I disse tilfælde er det henholdsvis beregnet og vurderet, at disse to løsninger kan nedsætte stormflodsvandstandene med det, der svarer til en havspejlsstigning samt udvidelse af kanaltværsnittet frem til 2060. De skønnede udgifter til løsningerne over 50 år er under 2 mia. og vil derfor være 6 gange billigere end en højvandsbarriere. Endvidere vil begge løsninger have indflydelse på flere af de andre udfordringer og vil ikke hindre Thyborøn Havn i at være nødhavn.

En løsning, der kun koster under en fjerdedel af en højvandsbarriereløsning, vil betyde, at Thyborøn Kanal lukkes med en dæmning med skibsfartssluse og gennemstrømningssluse, således at løsningen ikke ændrer miljøforholdene i den vestlige Limfjord. Udgifterne er skønnet til ca. 3 mia. over 50 år. Udgifterne til denne løsning vil afhænge af gennemstrømningsslusens størrelse. Løsningen svarer stort set til den foreslåede løsning fra 1940'erne og igen af Larsen (2006).

Problemerne med dæmningsløsningen er, at den ikke kan hindre, at der sker en forøgelse af oversvømmelsesrisikoen for Thyborøn by/havn. Eneste mulighed er forhøjelse af et eksisterende dige, der beskytter Thyborøn by, men dette hindrer ikke, at havnen vil være oversvømmet oftere i fremtiden. En dæmning vil dog spare udgifterne til færgedriften, hvilket ikke er medregnet i overslaget. Driftstilskuddet fra de to kommuner ligger på ca. 2,2 mio. om året, hvilket medfører en besparelse i nutidskroner på 110 mio. kr. Dæmningen alene tager ikke hånd om de andre udfordringer – dog indebærer forslaget, at der samtidig etableres en forlængelse af hofde 58/59, da det ikke anses for muligt at anlægge en dæmning uden at begrænse sedimenttransporten ind i kanalen.

Barriere/stenrevet på fjordgrundene har samme problem med forøgelse af oversvømmelsesrisikoen for Thyborøn by/havn som dæmningsløsningen, men er 1 mia. billigere. En udbygning af Thyborøn Havn er ligeledes medtaget, da denne løsning er nævnt i havnens masterplan.

Udgifter [mio. kr.]	Hidtidig udvikling	Høfde 59/72	Høfde 63/68	Høfde 65-69	Udbygning af havnen	Barriere på fjordgrundene	Dæmning m. skibsfarts-sluse	Højvandsbarriere
Behov for kystbeskyttelse i Vestlige Limfjord	516	—	—	179	516	19	23	—
Vedligeholdelse af kystbeskyttelsen (0,5 % af anlægspris)	129	—	—	45	129	5	6	—
Anlægsudgift		279	188	229	245	396	1.100	7.500
Vedligeholdelse (2 % af anlægsprisen)		279	188	229	245	396	1.100	3.750
Behov for kystfodring af Agger og Harboøre Tanger	1.316	974	1.316	1.316	1.316	1.316	974	1.316
Oprensning	167	96	102	30	30	227	30	142
Erosion på NØ-siden af kanalen	50	25	52	—	50	50	—	48
Udgift i alt	2.178	1.653	1.846	2.028	2.531	2.335	3.233	12.756
Udgifter i alt inkl. uddybning	2.229	1.914	1.905	2.111	—	2.448	3.512	12.869

Tabel 22: Oversigt over de skønnede udgifter i 50 år i mio. kr. Alle udgifter er angivet inkl. havspejlsstigning. Alle udgifter er angivet i 2011-niveau.

Denne løsning medfører dog ingen forbedringer i forhold til stormflodsvandstanden på lang sigt, hvis løsningen ikke kombineres med andre løsninger såsom en udbygning af høfderne på nordøstsiden af Thyborøn Kanal. En udbygning af høfderne på nordøstsiden vurderes kun at tage halvdelen af stigningen i stormflodsvandstandene frem til 2060. Hvis høfderne skal forlænges yderligere ud i kanalen, er det vurderet, at det vil være billigere at beskytte infrastruktur og ejendomme lokalt i den vestlige Limfjord.

Det må konkluderes, at den bedste løsning til håndtering af stormflodsvandstande i den vestlige Limfjord er højvandsbarrieren. Dette er samtidig den dyreste løsning. Andre løsninger, der koster en sjettedel, løser problemet de næste 50 år og har ligeledes positive effekter på andre udfordringer.

Thyborøn Havn har haft problemer med bølgeuro i havnen. Disse problemer blev undersøgt i 2009 (Sloth et al., 2010) og medførte, at Kystdirektoratet fjernede sandpuden i 2010. Det er påvist, at fjernelsen har haft en gavnlig effekt på bølgeuroen, men opmålinger af sandpuden et år efter, at den blev fjernet, har vist, at den allerede er på vej tilbage, hvorfor en fjernelse af sandpuden anses for nødvendig hvert 2. år.

Da det mindste tværsnit i Thyborøn Kanal findes mellem høfde 63 og 68 vil en fjernelse af sand ud for høfde 63 medføre et større tværsnit. Det er påvist, at tværsnittet med fjernelsen af sandpuden har fremrykket minimumstværsnittet til det niveau, som var forventet i 2022. Det er påvist, at der er en risiko for en forøgelse på 4 cm på stormflodsvandstandene i Thyborøn Havn. Det betyder, at der i stedet for en stigning på maksimalt 44 cm kan forventes en stigning i stormflodsvandstandene i Nissum Bredning på 50 cm i 2060, især

hvis der tillige meddeles tilladelse til uddybning til -12,5 m DVR90 for at skaffe en besejlingsdybde på 10 meter til Thyborøn Havn.

Den mest betydende faktor for bølgeuroen er bølgehøjden, herefter bølgeretningen og perioden, mens sandpuden kommer på en fjerdeplads. De løsninger, der tager hånd om bølgeuroen, er de løsninger, der ændrer bølgerne ind gennem Thyborøn Kanal. I dette tilfælde vil udbygningen af høfde 58/59, udbygningen af høfde 63, udbygning af høfde 65-69, havneudvidelse og dæmningen medføre en dæmpning af bølgeuroen. Præcist hvor meget hver løsning vil dæmpe bølgeuroen, vil kunne bestemmes ved en detailprojektering af den valgte løsning.

Thyborøn Havn har ønsket en besejlingsdybde på 10 meter. Det er vurderet af Kystdirektoratet, at der dermed er behov for en uddybning til -12,5 m DVR90 for at garantere en sejldybde på 10 meter i en fast sejlrende. Dette vil medføre 1 til 2 cm på stormflodsvandstandene i den vestlige Limfjord. Der er dog andre udfordringer ved uddybningen end stigning i vandstandene under stormflod. I Bilag 2 er der analyseret fire uddybninger til sejlrrender. To af disse er valgt til nærmere analyse, en nordlig og en sydlig sejlrrende. Den geologiske undersøgelse viste, at der kun er et tyndt (1 til 1,5 meter) sandlag over leret. Den sydlige sejlrrende er billigst både i uddybningsudgifter og vedligeholdelsesudgifter. Hvis den sydlige sejlrrende vælges, vil denne blokere for en udbygning af høfde 58/59, se Figur 12.

Sammenlignes løsningerne inkl. uddybning med den billigste uddybningsløsning, hvor dette er muligt, bliver høfde 58/59 stadig næst billigst over 50 år, selv om denne løsning kræver den dyrere nordlige uddybning. Den høje usikkerhed i tallene medfører dog, at det må konkluderes, at forlængelse af høfde 58/59 og høfde 63

ender på samme beløb over de skønnede udgifter efter 50 år. De andre løsninger har udgifter, der er skønnet liggende fra 2 mia. til ca. 13 mia. kr. over 50 år.

En anden udfordring er kystbeskyttelsen på Limfjordstangerne. Kystdirektoratet bruger i gennemsnit over 20 mio. kr. om året på denne beskyttelse. I de økonomiske skøn udgør fodringen på Limfjordstangerne en stor procentdel af de samlede medtagne udgifter. Det bør understreges, at der ikke i disse beregninger er medtaget udgifter til den fysiske vedligeholdelse af høfderne på Limfjordstangerne og heller ikke udgiften til vedligeholdelse af høfderne og havnefronten på Thyborøn-siden af Thyborøn Kanal. I forhold til de to dyreste løsninger, en dæmning med skibsfartssluse og en højvandsbarriere, betyder kystbeskyttelsesudgifterne henholdsvis 30 og 10 %. Ellers betyder udgifterne til kystbeskyttelse (kystfodring) på Limfjordstangerne mellem 53 og 75 % af de skønnede udgifter.

Så selvom forlængelse af høfde 63 umiddelbart er den billigste løsning, vil forlængelse af høfder inde i Thyborøn Kanal ikke påvirke det fremtidige behov for kystbeskyttelse på Limfjordstangerne i samme grad som forlængelse af høfde 58/59. Forlængelsen af høfde 58/59 og en reel lukning af Thyborøn Kanal er dermed de eneste løsninger, der vil nedsætte fordringsbehovet på Limfjordstangerne mærkbart.

En tredje udfordring er erosionen på nordøstsiden af Thyborøn Kanal. De løsninger, der nedsætter vedligeholdelsesudgifterne, er en udbygning af høfde 65 til 69 inkl. en bundsikring af høfdeenderne. En bundsikring vil nedsætte omkostningerne fra 50 mio. kr. til ca. 34 mio. kr. over 50 år. En løsning, der nedsætter strømhastigheden i kanalen, vil alt andet lige ligeledes have en gavnlig effekt på vedligeholdelsesudgifterne. I den samlede vurdering betyder høfdevedligeholdelsen dog ikke meget i forhold til de øvrige udfordringer.

En fjerde udfordring er oprensning af sejrenden til Thyborøn Havn. I de senere år er denne omkostning blevet større og større. Årsagen til, at oprensningen er blevet aktuel, er, at Thyborøn Kanal er flyttet

mere og mere mod nordøst. Denne flytning medfører, at der i dag sker aflejring foran Thyborøn Havn, på sandpuden og i fyrlinjen. Der kan dog ofte findes en 8 meter dyb sejrende forbi sandpuden, men oprensningen ved selve havneindsejlingen er et blivende problem. Indtil nu er sedimentet primært nyttiggjort enten som opfyldning i forbindelse med Thyborøn Havns udvidelse eller som kystbeskyttelse på Limfjordstangerne. De skønnede udgifter ligger på 30 til 227 mio. kr. på 50 år. Fremskrivning af mængderne er meget usikre, da der kun er få års erfaringstal, der kan benyttes til en fremskrivning. Endvidere er der stor usikkerhed på, hvor meget en uddybning medfører i ekstra udgift. I dette projekt er det endvidere antaget, at sandet kan nyttiggøres på Limfjordstangerne, hvorfor der kun er benyttet en merudgift i forhold til at hente sandet i indvindingsområderne i Nordsøen og ikke den reelle oprensningsomkostning.

Det kan dog konkluderes, at de løsninger, der tager bedst hånd om oprensningsudgiften, er de løsninger, der nedsætter oprensningen foran havneindsejlingen, såsom forlængelse af høfde 65 til 69, der skal tvinge Thyborøn Kanal over mod havneindsejlingen, hvorfor den største udgift til oprensningen fjernes. En anden mulighed er udbygning af havneindsejlingen, hvor havneindsejlingen flyttes ud i det område, hvor der er tilstrækkelig naturlige vanddybde. En tredje mulighed er at standse indstrømningen, hvorfor løsninger med forlængelse af høfde 58/59 ligeledes nedsætter oprensningsmængden. Det skal bemærkes, at der er store usikkerheder i vurderingen af oprensningsmængden i fremtiden. De skønnede udgifter skal derfor ses som et forsøg på at kvantificere udgifterne, så de kan sammenlignes på tværs af løsningerne, og er ikke nøjagtige tal, der kan benyttes til udbud eller bevilling.

Analysen af fjernelse af sandpuden har vist, at en oprensning omkring mindstetværsnittet har konsekvenser for stormflodsvandstandene i den vestlige Limfjord og bør i fremtiden gøres med stor forsigtighed.

- Christensen, B.B., 2011a. Stormflodsundersøgelse i Limfjorden. Modelgrundlag, kalibrering og følsomhedsanalyse. Teknisk Notat. Udarbejdet af DHI for Kystdirektoratet. Marts 2011.
- Christensen, B.B., 2011b. Stormflodsundersøgelse i Limfjorden. Teknisk Notat – ny bathymetri og uddybning til 10 meters vanddybde. Udarbejdet af DHI for Kystdirektoratet. Marts 2011.
- Christiansen T., Christensen T.J., Markager S., Petersen J.K. og Mouritsen, L.T., 2006. Limfjorden i 100 år. Klima, hydrografi, næringsstoftilførsel, bundfauna og fisk i Limfjorden fra 1897 til 2003. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. Faglig rapport fra DMU nr. 578.
- Danske Havne, 2010. Her udvider havnene - Danske erhvervshavnes udvidelser og planer 2010. Udarbejdet af Danske Havne med bidrag fra 24 havne. Konsulent: Niras Planlægning. December 2010.
- Toxvig, H., Knudsen, S. B., Jørgensen, J.B. og Andersen, I., 2006. Risikoanalyse af en klitbeskyttet kyst. Kystdirektoratet. Juni 2006.
- IPCC, 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (red.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 s.
- Jensen, J. og Sørensen, C., 2008. Fremskrivning af fodringsindsatsen på Vestkysten. Kystdirektoratet.
- Klima- og Energiministeriet, 2010. Danmarks nationale Klimatilpasningsportal. Videnscenter for Klimatilpasning, Klima- og Energiministeriet. www.klimatilpasning.dk
- Knudsen, S.B., Sørensen, C., Toxvig Madsen, H. og Ingvarsdén, S.M., 2011. Thyborøn Kanal 2009 – Teknisk rapport. Kystdirektoratet. December 2011.
- KI, 1975. Limfjordstangerne, 1975. Kystinspektoratet.
- Kystdirektoratet, 2001. Sedimentbudget Vestkysten. Kystdirektoratet. December 2001.
- Larsen, T., 2006. Skal Thyborøn Kanal lukkes på grund af klimaændringer og vandstandsstigninger? Udarbejdet i forbindelse med konferencen "Vandet stiger – og hvad så? Ringkøbing Amt, Aalborg Universitet.
- Miljøministeriet og Transportministeriet, 2011. Endelig udpegning af risikoområder for oversvømmelse fra vandløb, søer, havet og fjorde. EU's oversvømmelsesdirektiv (2007/60/EF), Plantrin I. Miljøministeriet, Naturstyrelsen og Transportministeriet, Kystdirektoratet.
- Piontkowitz, T. og Sørensen, C., 2011. Forslag til udpegning af risikoområder på baggrund af en foreløbig vurdering af oversvømmelsesrisikoen fra havet, fjorde eller andre dele af søterritoriet. Teknisk baggrundsrapport (udkast), Kystdirektoratet. April 2011.
- Regeringen, 2008. Strategi for tilpasning til klimaændringer i Danmark (marts 2008). www.ens.dk
- Sloth, P., Johnsson, M., Zyserman, J. og Niemann, S., 2010. Undersøgelser af bølge- og sedimentforhold. Dansk Hydraulisk Institut (DHI). Rapport udarbejdet af DHI for Thyborøn Havn.
- Vognsen, K., Sørensen, C., Knudsen, P., Engsager, K., Khan, A. og Andersen O.B., 2011. Vertikale landbevægelser i Danmark, Poster, Dansk Kystkonference 2011.

Tegninger