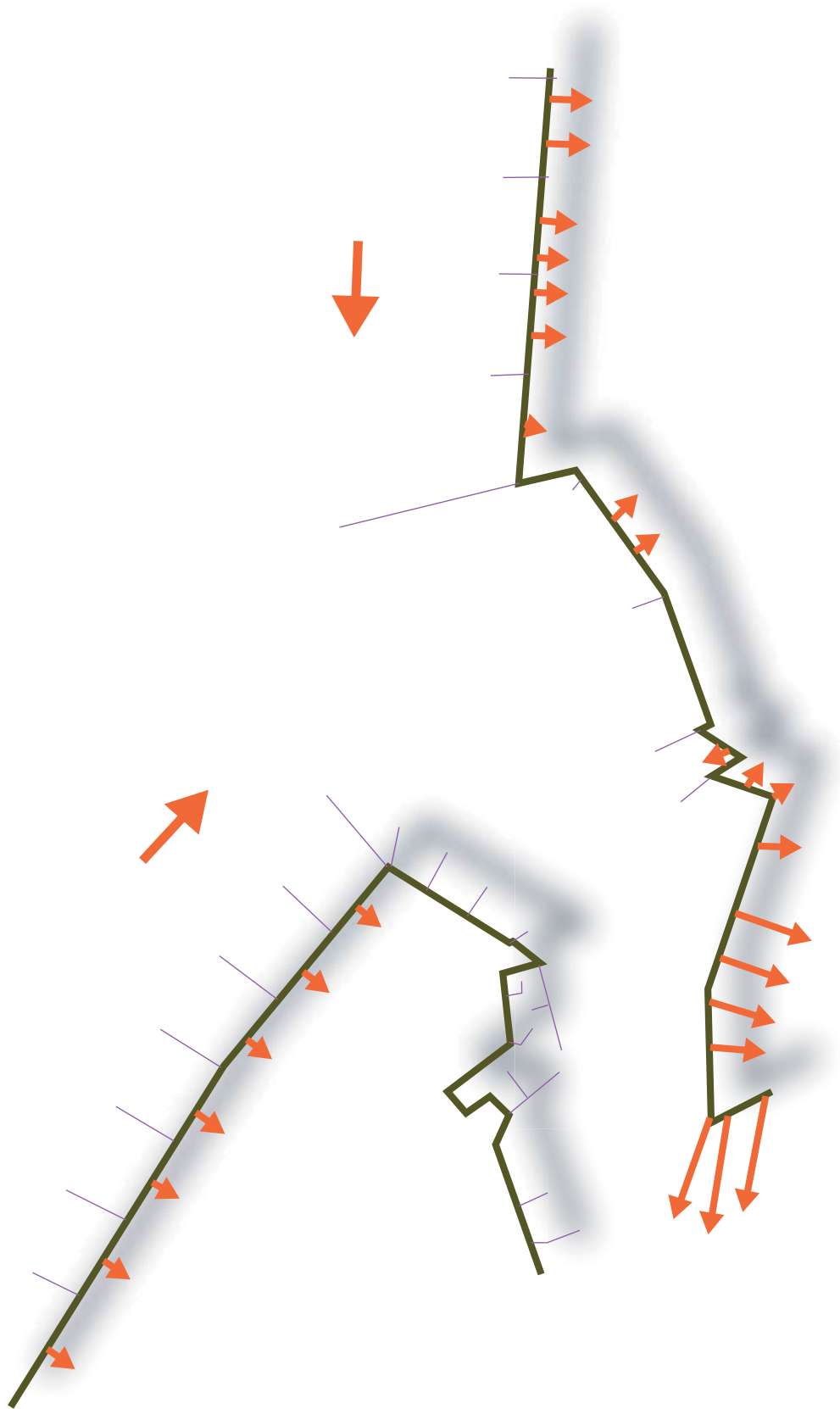



Thyborøn Kanal 2009



December 2011

Projekt	Undersøgelse af infrastruktur for vestlige Limfjord
Startdato	Januar 2009
Slutdato	December 2011
Projektansvarlig (PA)	Carl-Christian Munk-Nielsen
Projektleder (PL)	Signe Marie Ingvarsdén
Projektmedarbejder (PM)	Carlo Sørensen Søren Bjerre Knudsen Holger Toxvig Madsen Irene Andersen Birgit Byskov Kloster
Timeregistrering	10027001
Kontering	10027001
Godkendt den 22.12.2011	

Rapport	Thyborøn Kanal 2009
Forfattere	Søren Bjerre Knudsen Carlo Sørensen Holger Toxvig Signe M. Ingvarsdén
Nøgleord	Thyborøn Kanal, opmåling, høfder, hydrografi, bathymetri, vandstande, morfologi, tværsnitsareal, vandføring, pejleplaner, sedimenttransport
Distribution	www.kyst.dk , Transportministeriet, www.dab.dk/anmeld.asp
Refereres som	Knudsen, S.B., Sørensen, C., Toxvig Madsen, H. og Ingvarsdén, S.M., 2011. Thyborøn Kanal 2009 – Teknisk rapport. Kystdirektoratet.

Indledning	5
Historisk oversigt	6
2.1 Thyborøn Kanals udvikling	6
2.2 Sandindvinding og -fodring i Thyborøn Kanal	8
Klimatiske og hydrografiske forhold	9
3.1 Middelvandstand	9
3.2 Tidevandsamplituden.....	9
3.3 Ekstremvandstande	9
3.4 Bølgeforhold	11
3.5 Vind.....	11
3.6 Sammenfatning.....	12
Udviklingen af Thyborøn Kanal	13
4.1 Tværsnit og tværsnitsarealer	13
4.2 Pejleplaner og besejlingsdybde.....	16
4.3 Differensplaner	16
4.4 Maksimaldybder.....	17
4.5 Høfдемålinger	17
4.6 Vandføring og strømhastighed	21
4.7 Tidevandsprismet.....	22
4.8 Satellit- og luftfoto	22
4.9 Sammenfatning.....	23
Kysttekniske analyser	25
5.1 Sedimenttilførsel	25
5.2 Ændring af løb og flader i fjorden.....	27
5.3 Sammenfatning.....	28
Konklusioner	29
Referencer	31

Tegning 1 a)+b) Oversigtskort og oversigtsplan med fjordløb og høfdenumre.

Tegning 2 Kystudviklingen 1874–2005. Principskitser.

Tegning 3 Variation i længden af høfderne 59–63 og 65–72.

Tegning 4 Sandindvinding og fodring i Thyborøn Kanal 1983–1991.

Tegning 5 Oversigtsplan over tværsnit i Thyborøn Kanal.

Tegning 6 Thyborøn Kanal, tværsnit i linje 99051000.

Tegning 7 Thyborøn Kanal, tværsnit i linje 99051200.

Tegning 8 Thyborøn Kanal, tværsnit i linje 99051400.

Tegning 9 Thyborøn Kanal, tværsnit i linje 99051600.

Tegning 10 Thyborøn Kanal, tværsnit i linje 99051800.

Tegning 11 Thyborøn Kanal, pejleplan 1987.01.

Tegning 12 Thyborøn Kanal, pejleplan 1991.01.

Tegning 13 Thyborøn Kanal, pejleplan 1995.01.

Tegning 14 Thyborøn Kanal, pejleplan 2000.01.

Tegning 15 Thyborøn Kanal, pejleplan 2005.01.

Tegning 16 Thyborøn Kanal, pejleplan 2008.01.

Tegning 17 Thyborøn Kanal, differensplan 1987–1991.

Tegning 18 Thyborøn Kanal, differensplan 1991–1995.

Tegning 19 Thyborøn Kanal, differensplan 1995–2000.

Tegning 20 Thyborøn Kanal, differensplan 2000–2005.

Tegning 21 Thyborøn Kanal, differensplan 2005–2008.

Tegning 22 Thyborøn Kanal, differensplan 1987–2008.

Tegning 23 Thyborøn Kanal, årgang 2000 pejleplan, besejling 9 m.

Tegning 24 Thyborøn Kanal, årgang 2005 pejleplan, besejling 9 m.

Tegning 25 Thyborøn Kanal, årgang 2008 pejleplan, besejling 9 m.

Tegning 26 Ændring af løb og flader i fjorden 1917–2005.

Tegning 27 Forudsagt beliggenhed af 8 m kurven (1987, 1994, 1995).

Tegning 28 Forudsagt beliggenhed af 8 m kurven (2000, 2005, 2008).

Thyborøn Kanal har siden dannelsen ved gennembrud af Limfjordstangerne under en stormflod i 1862 forbundet Limfjorden med Vesterhavet. Kanalen har de seneste 150 år haft stor betydning for både den naturmæssige udvikling og for samfundsudviklingen i området omkring kanalen og den vestlige Limfjord. Ønsket om at stabilisere Vestkysten og opretholde kanalen har gennem tiden medført store kystbeskyttelsesarbejder og anlæggelse af en fiskeri- og industrihavn i Thyborøn.

Kystdirektoratet har gennem årene løbende foretaget opmålinger i Thyborøn Kanal og tilpasset moler og høfder langs kanalen. Denne tekniske rapport bygger på undersøgelser udført i 2008-2009 i forbindelse med et større udredningsarbejde om kanalens hidtidige udvikling og mulige fremtidige udvikling under hensyntagen til forskellige ønsker, udfordringer og løsningsforslag. Rapporten forholder sig således til de påvirkninger/ændringer, som er foregået/foretaget i og omkring Thyborøn Kanal frem til 2009.

Udgangspunkt for arbejdet har været ønsket om en øget forståelse af udviklingen i Thyborøn Kanal og af sammenhænge mellem udviklingen i kanalen og vandstanden i Limfjorden. Thyborøn Kanal og høfderne langs denne udgør en helhed, og der er foretaget en

analyse af kanalens historiske udvikling. Hovedvægten i analyserne er lagt på sammenhængen mellem sandindvinding i kanalen fra 1986 til 1991, afkortning af høfderne på Agger Tange-siden, erosion af Svanholm, sandfodring på Limfjordstangerne, beliggenhed af fjordløbene og tilsanding foran Thyborøn Havn.

Kapitel 2 giver et historisk overblik over Thyborøn Kanals udvikling med udgangspunkt i tidligere foretagne undersøgelser i området. Her præsenteres kanalens og høfdesystemernes udvikling. Der redegøres for historiske tiltag med sandindvinding i kanalen og strandfodring på holmen Svanholm ved Agger Tange.

Udviklingen i vind-, bølge- og vandstandsforhold behandles i Kapitel 3, og i Kapitel 4 undersøges udviklingen i kanalen med henblik på at beskrive ændringer i blandt andet tværsnit og vandføring.

I Kapitel 5 udvides analysen til at omfatte udviklingen af Limfjordstangerne i forhold til erosion og sandfodring, og der redegøres for ændringer af løb og flader i fjorden som baggrund for et bud på kanalens formodede fremtidige udvikling med specielt fokus på besejlingsdybden.

Historisk oversigt

Der forefindes naturligvis en omfattende historisk dokumentation for kystbeskyttelsesforanstaltninger og tidligere udførte undersøgelser i området. Her gives en kort gennemgang af kanalens udvikling med udgangspunkt i tidligere afrapporteringer, og der fokuseres på selve kanalens udvikling, på hofdeanlæg samt på indvinding og fodring med sand i kanalen.

2.1 Thyborøn Kanals udvikling

Afsnittet bygger primært på rapportererne 'Limfjordstangerne 75', 'Thyborøn Kanal 1995' og 'Thyborøn 25 års eftersyn' udgivet af Kystdirektoratet, dengang Kystinspektoratet (KI, 1975; KI, 1995; KI, 1999).

Historiske kilder beretter om en ret livlig skibstrafik i det 11. århundrede mellem Limfjorden og Vesterhavet. Denne vandvej må være sandet til omkring år 1100, og indtil år 1825 har der ikke været en permanent forbindelse mellem havet og fjorden. I det 17. århundrede fandtes en relativ bred og sammenhængende tange fra Agger i nord til Ferring i syd med en høj klitrække mod havet og mere lavtliggende engdrag mod fjorden. Tangen blev med mellemrum under storm overskyttet eller gennembrudt af havrendinger, som dog hurtigt sandede til igen.

Efter således at have været sammenhængende i flere århundreder blev tangen flere steder gennembrudt under en voldsom stormflod i 1825. Et af disse brud, Agger Kanal, havde en størrelse så det, modsat de øvrige, undgik hurtig lukning ved tilsanding. Efter 1825 skete der en yderlige forøgelse af kanalens dimensioner, således at den i 1834 kunne besejles. På sigt skete der dog igen tilsanding af Agger Kanal, hovedsaglig ved udvikling af en sandodde fra nord. Dette betød, at sejladsen omkring 1860 ikke mere kunne opretholdes gennem Agger Kanal.

Imidlertid medførte en voldsom stormflod i 1862 to nye gennembrud af tangen. Det nordligste gennembrud sandede hurtigt til, mens det sydlige umiddelbart nord for den nuværende Thyborøn by udviklede sig således, at sejladsen i 1868 kunne genoptages gennem det, der nu kendes som Thyborøn Kanal. Tilsandingen af Agger Kanal fortsatte, og i 1875 lukkedes denne. Siden da har Thyborøn Kanal været den eneste åbne forbindelse mellem Vesterhavet og Nissum Bredning i Limfjorden. Figur 1 viser området med tangerne, kanalen og Thyborøn, som det tager sig ud i dag, jf. endvidere Tegning 1 a)+b).

Fra 1862 og frem til nu har kanalområdet undergået store forandringer som følge af den naturlige og den menneskeskabte udvikling. Tegning 2 viser i principskitser kystlinjens beliggenhed til forskellige tidspunkter, mængden af sediment som føres mod kanalen og kystlinjebevægelserne fra det betragtede år til det næste år. Pilens retning viser, om der er tale om erosion eller akkumulation, og

størrelsen viser ændringernes omfang. Eksempelvis viser pilene på kystlinjen i 1885 kystlinjens bevægelser fra 1885 til 1905. Den efterfølgende beskrivelse tager udgangspunkt i Tegning 2, jf. tillige Tegning 3. Tegning 3 viser en oversigt over hofderne 59-63 og 65-72 med oplysninger om anlægstidspunkt og senere ændringer, samt længderne til de givne tidspunkter.

Dannelsen af Thyborøn Kanal betød en forøgelse af kysttilbagerykningen på de tilgrænsende Vesterhavskyster, idet kanalen kom til at virke som 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 VNV-ØSØ. Materiale eroderet på kysten blev i stort omfang ført gennem kanalen og aflejret i den vestligste del af Nissum Bredning, hvorved der efterhånden opstod en række fjordgrunde gennembrudt af løb.

For at standse kysttilbagerykningen blev der opført hofder (hofderne 54, 56, 57 og 59) langs Harboøre Tange i årene 1875-83 (opførelse og vedligeholdelse af hofderne omkring kanalen er nærmere beskrevet i Kapitel 2.2). Hofderne reducerede kysttilbagerykningen på Harboøre Tange og betød samtidig en reduktion af den nordgående materialetransport, mens den sydgående materialetransport fra og erosion af Agger Tange fortsatte. Som følge heraf blev den sydgående materialetransport langs Agger Tange mere dominerende og bevirkede en drejning af kanalen fra VNV-ØSØ til NV-SØ, og der skete en tilvækst ved oddedannelse mod sydøst af Agger Tange. Da kysten stadig rykkede tilbage langs Harboøre Tange, blev flere hofder (hofderne 33-53, 55, 58 på vestkysten og 60-63 i kanalen) anlagt i årene 1885 til 1897.

For at stabilisere Agger Tange blev hofderne 72 til 96 anlagt i årene 1905-08. Herved blev også den sydgående materialetransport nedsat, hvilket medførte kraftig erosion af den udvoksede odde. Til beskyttelse af denne blev hofderne 68 og 69 bygget inde i Thyborøn Kanal fra 1914 til 1917.

I samme årrække blev Thyborøn Havn anlagt i forventning om, at de udførte kystbeskyttelsesværker ville være i stand til at stabilisere Harboøre og Agger Tanger samt Thyborøn Kanal. For at sikre besejlingsforholdene i kanalen blev hofde 72 forlænget i 1915-22. Som beskyttelse af hofde 72 mod læsideerosion blev hofde 71 opført 1930-32.

Anlæggelsen af hofde 68 og 69 samt forlængelsen af hofde 72 betød en kraftig forandring af strømningsforholdene ind og ud af kanalen, da kanalen nu til dels var fiskeret. Dette bevirkede en reduktion af kysttilbagerykningen på Agger Tange syd for hofde 72.



Figur 1. Undersøgelsesområdet omkring Thyborøn Kanal.

Det forhold, at vandstrømningen ud og ind af Thyborøn Kanal nu var fikseret, og at netto sedimenttransporten går ind i kanalen, betød, at en tange, Svanholm, voksede mod syd umiddelbart syd for hofde 68. Samtidig voksede Sydhalen mod syd, og dennes østside var udsat for erosion. Sydhalen blev derfor hofdebeskyttet og stabiliseret ved indpumpning af sand for at fastholde kanalens afgrænsning her.

Til yderligere sikring af kanalen blev hofderne 70 og I-VII anlagt i årene 1922-34. Kanalen var nu næsten stabil i placering. Kun på den nydannede Svanholm skete der erosion af den vestlige side samtidig med, at Svanholm voksede mod syd. For også at sikre Svanholm blev hofderne 65-67 anlagt fra 1963-68.

Herefter var kanalområdet tilsyneladende nogenlunde stabilt indtil 1983, hvor der begyndte at ske erosion af Svanholms sydspids, der nu næsten er forsvundet. Erosionen blev forsøgt stoppet flere gange ved afkortning af hofde 65. KI (1999) konkluderer, at erosionen

ikke kan standses ved afkortning af hofde 65, og at ændringerne i området må anses for at være permanente. Der konkluderes endvidere, at Svanholms sydspids forsvandt, fordi der i perioden 1983-1991 blev indvundet sand i området

I en betænkning (Ministeriet for Offentlige Arbejder, 1968) nævnes risikoen for, at en større stormflod vil kunne gennembryde Svanholm. Et gennembrud af Svanholm vil medføre en gennemgribende ændring i hele kanalens form og dermed en betydelig ændring i kanalens vandføringsevne. Konsekvenserne af en øget vandføring er, ifølge betænkningen, at byerne i den vestlige Limfjord vil blive udsat for store højvande. Der vil være øget nedbrydning af kysterne i Limfjorden, og udgifterne til vedligeholdelse og forhøjelse af de tilsammen 135 km diger langs fjorden vil blive forøget.

Samtidig med erosionen af Svanholm og afkortning af hofde 65 er kanalen ud for indsejlingen til Thyborøn Havn forflyttet ca. 300 m mod øst. Det har betydet, at den naturlige dybde foran indsejlingen er faldet fra ca. 14 m til under 8 m. Siden 2007, da den naturlige dybde første gang kom under 8 m, har der været foretaget

oprensning i indsejlingen. Oprensningen foran Thyborøn Havn var på 60.000 laste-m³ i 2007, 115.000 laste-m³ i 2008, 107.000 laste-m³ i 2009 og 160.000 laste-m³ i 2010. Oprensningsmængden i indsejlingen ses således at være stigende.

I den yderste del af Thyborøn Kanal vokser den naturlige besejlingsdybde. I 1914 var den naturlige besejlingsdybde under 5 m, i 1956 var den 6 m, og i 1966 var besejlingsdybden øget til 7 m. Denne udvikling fortsætter med en naturlig besejlingsdybde på 8 m i 1988, og siden 2000 har besejlingsdybden været 9 m. Den generelt voksende dybde i Thyborøn Kanal har medført et voksende tværnsnit, da Thyborøn Kanal også er blevet bredere.

Som ovenfor beskrevet har høfderne i Thyborøn Kanal haft stor indflydelse på kanalens udvikling og stabilitet. Når en høfde er anlagt, vil den blive vedligeholdt i det omfang, som findes formålstjenstligt. Vedligeholdelse er ofte udført, når stejlheden foran høfdeenden er så stor, at den er sunket ned i havbunden, men sker også som følge af bølgeangreb og almindelig slitage. I det første tilfælde har man ofte afkortet den yderste ende ved at optage det materiale, som har ligget over kote -1 til -2 m, og forlænget høfden landværts. Herved er høfdens længde uændret og, hvad der er vigtigst, høfdens indvirkning på de kysthydrauliske processer ændres ikke væsentligt. I det andet tilfælde udskiftes eller erstattes dele af stenkastningen, eller dele af høfden forstærkes, hvilket ikke påvirker de kysthydrauliske processer.

Af Tegning 3 ses, at høfdelængderne ofte bliver ændret. Årsagen er normalt tilbagerykning af kystlinjen samt en forstejling af bundprofilet. Dette ses af, at høfdernes ydre ende afkortes, og at landenderne forlænges. Høfde 65 og 66 er, deres korte levetid til trods, blevet ændret meget. Høfde 65 er forlænget ud i kanalen i 1968/69 og igen i 1972/73 med henholdsvis 14 og 42 m. De er begge forlænget landværts adskillige gange kort tid efter, at de blev anlagt. I 1986, 1996 og 1999 er høfde 65 blevet afkortet i yderenden med henholdsvis 50, 65 og 65 m, og landenderne af høfde 65 og 66 er forlænget 150-180 m. I 1994, 1998 og 1999 blev næsten alt resterende materiale fra høfde 65 oprindelige vestende til 40 m søværts 1999-høfdeenden optaget.

2.2 Sandindvinding og -fodring i Thyborøn Kanal

Som en naturlig følge af øget fokus på sandfodring til kystbeskyttelse af vestkysten siden sidst i 1970'erne er behovet for egnet sand vokset. I forbindelse med strandfodringer etablerede Kystdirektoratet (KDI) sanddepoter i Agger og Thyborøn til brug på kysten nord og syd for Thyborøn Kanal. Da en stor del af det eroderede sand på denne strækning føres ind i Thyborøn Kanal og aflejes i Nissum Bredning, har det været naturligt at hente fodringssandet her. Det groveste og bedst egnede sand lå umiddelbart sydøst for Svanholm, og KDI indvandt sand med sandsuger her i perioden 1984-91. Den omtrentlige beliggenhed af indvindingsområderne er angivet på Tegning 4. Heraf ses, hvor på selve Svanholm der blev indvundet sand i perioden 1983-86. Endvidere vises de indvundne mængder. Indvindingen ophørte i 1991, og KI (1999) konkluderer, som nævnt, at indvindingen var årsag til, at Svanholm forsvandt.

For at holde kystlinjen syd for høfde 67 har det været nødvendigt at fodre med sand indvundet i kanalen. Af Tegning 4 fremgår tillige hvor, hvornår og med hvilken mængde, der er fodret. Sammenlignet med de indvundne sandmængder, er fodringsmængden begrænset (af de 780.000 m³, der blev indvundet i perioden 1982-87, blev kun 34.000 m³ lagt tilbage syd for høfde 67). Det er umiddelbart vanskeligt at forstå, at KDI strandfodrer syd for høfde 67 fra 1982 til 1987, og samtidig indvinder sand på Svanholm fra 1983 til 1986. Ifølge KI (1995) foretages både strandfodring og sandindvinding syd for høfde 65 i 1986. Da Svanholm udbygges mod syd, indtil indvindingen af sand påbegyndes, og derefter oplever en tilbagerykning på ca. 35 m/år, antages strandfodring og sandindvindingen på den samme strækning at skyldes et holdningsskift i KDI. I 1975 var den officielle holdning, at den stabile beliggenhed af Thyborøn Kanal, som KDI have opretholdt siden 1950-erne, skulle bevares. I 1995 er målsætningen ændret til en kontrolleret tilbagerykning af kanalens Agger Tange-side. En konsekvens af tilbagerykningen af kanalens Agger Tange-side, herunder at Svanholm er forsvundet og at høfde 65 er afkortet, er en fremrykning af kanalen på Thyborøn-siden og den ovenfor nævnte flytning af Thyborøn Kanal med 300 m mod øst.

Klimatiske og hydrografiske forhold

Udviklingen i middelvandstand, tidevandsamplitude og ekstremvandstande analyseres.

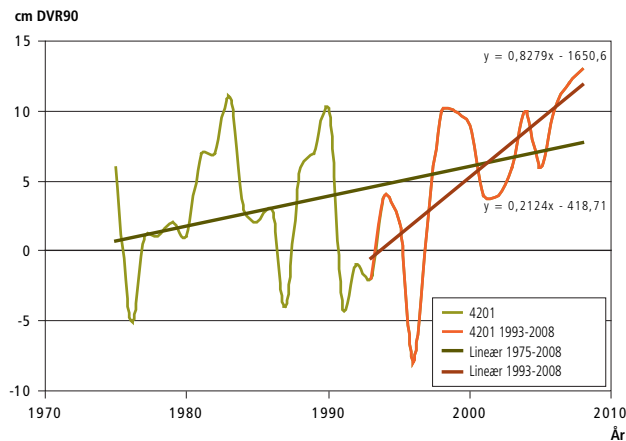
Udviklingen i vinden undersøges tillige, idet vinden er bestemmende for både bølge- og vandstandsgenerering omkring Thyborøn Kanal og dermed også for materialetransporten. Der er registreret vandstande i Thyborøn Havn (måler nr. 4201) siden 1931 og i havet ved hofde 58 (måler nr. 4203) siden 1975, Figur 2.



Figur 2. Placeringen af de to permanente vandstandsmålere ved Thyborøn

3.1 Middelvandstand

Der er foretaget simple datatræk over vandstande ved Thyborøn Havn, hvor KDI har foretaget digitale målinger siden 1974. Der er ikke i analysen taget hensyn til manglende målinger, vindens påvirkning samt data om lokale hævnings/sænkninger af området, som bør anvendes i en generel vurdering af stigningen i midelvandstanden.

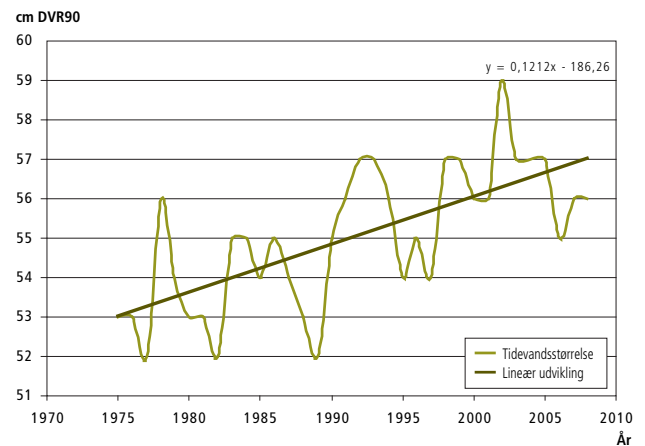


Figur 3. Udvikling i middelvandstand i Thyborøn Havn, 1975-2008 hhv. 1993-2008.

Ud fra den simple analyse ses dog, at middelvandstanden stiger med godt 0,2 cm/år i perioden 1975-2008, 0,8 cm/år i perioden 1993-2008, samt at der er store udsving fra år til år, Figur 3.

3.2 Tidevandsamplituden

Fleere undersøgelser dokumenterer, at tidevandsamplituden vokser i Vadehavet. For at undersøge ændringer i tidevandsstørrelsen i Thyborøn er den årlige gennemsnitlige forskel mellem daglige minimum- og maksimumvandstande beregnet, Figur 4.



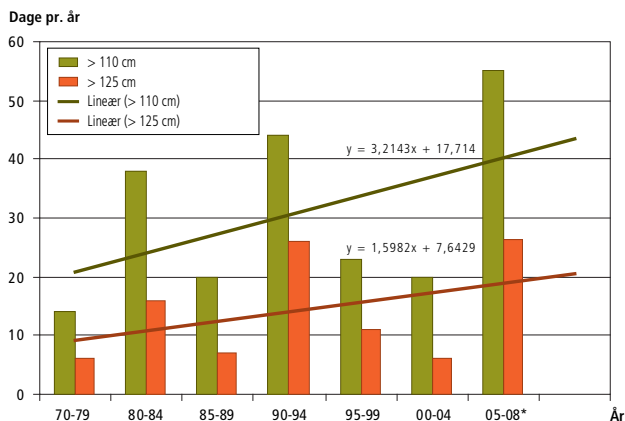
Figur 4. Udvikling i tidevandsstørrelse i Thyborøn, angivet som den årlige gennemsnitlige forskel i daglige minimum- og maksimumvandstande.

Beregningen tager ikke hensyn til manglende målinger, og den forholdsvis høje værdi i 1978 skyldes sandsynligvis, at forskellen kun er beregnet for 125 dage i 1978. Selvom der mangler data i 1975 og 1978 ses, at tidevandsstørrelsen vokser i Thyborøn.

Ifølge Hollebrandse (2005) er tidevandsamplituden steget i den sydlige del af Nordsøen siden 1955. Den stigende middelvandstand kan kun forklare en del af stigningen i tidevandsamplituden, og der mangler en forklaring på, at tidevandsamplituden stiger i den sydlige og østlige del af Nordsøen.

3.3 Ekstremvandstande

En stigende vandstand vil, alt andet lige, medføre flere højvander over et givent niveau. En stigende tidevandsamplitude har samme effekt. Et forøget tværsnit af Thyborøn Kanal vil medføre en mindre gradient i vandstanden mellem Vesterhavet og Thyborøn Havn under storme fra vest og betyde flere højvander over et givent niveau i Thyborøn Havn, Figur 5. Selvom der er stor variation i antal dage med vandstande over 110 cm DVR90 og 125 cm DVR90 mellem perioderne, er tendensen et øget antal dage med store højvander.



Figur 5. Antal dage i 5-års intervaller (* 4 år), hvor der er målt maksimumvandstande over 110 cm DVR90 henholdsvis 125 cm DVR90 i Thyborøn Havn.

Umiddelbart forventes en stigende middelvandstand og en øget tidevandsstørrelse i Thyborøn Havn at medføre en forøgelse i niveauet af de mest ekstreme højvander. Ud fra de statistisk beregnede ekstremhændelser, middeltidshændelserne, ses da også en mindre stigning fra 1997 til 2007 (KDI, 2002; KI, 1997; Sørensen og Ingvarsdén, 2007). Den statistiske 100-årsvandstand, VS100, er steget fra 185 cm til 190 cm, VS50 er steget fra 180 cm til 184 cm og VS20 er steget fra 172 cm til 176 cm fra højvandsstatistikken fra 1997 til højvandsstatistikken fra 2007.

Umiddelbart vil den bedste højvandsstatistik fremkomme ved at benytte hele dataperioden på 73 år (1935-2007). Det er dog svært at gøre ældre data fra Thyborøn Havn trendfri, og de statistiske middeltidshændelser er beregnet for den sidste del perioden. Resultatet er VS100 = 195 cm, VS50 = 188 cm og VS20 = 181 cm for en statistik baseret på perioden 1975-2007. Denne statistik giver kun en 20 års vandstand i perioden fra 1988 til 2008, i modsætning Sørensen og Ingvarsdén (2007), hvor der iagttages 3 20-års vandstande de seneste 20 år. En højvandsstatistik for den korte periode fra 1974 til 1994 er beregnet i KI (1995). En forøgelse i hyppigheden af ekstremvandstande betyder en del for statistikken. Eksempelvis har en vandstand på 193 cm en middeltidsafstand på 300 år for perioden 1935-1994, men kun 100 år for perioden 1974-1994.

Da den samlede hydrauliske modstand gennem fjordløbene og over fjordgrundene falder meget brat ved høje vandstande, bør en forøgelse af stormflodsvandstande ved Thyborøn Havn medføre en forøgelse af stormflodsvandstande ved Løgstør længere inde i fjorden, hvilket da også er tilfældet.

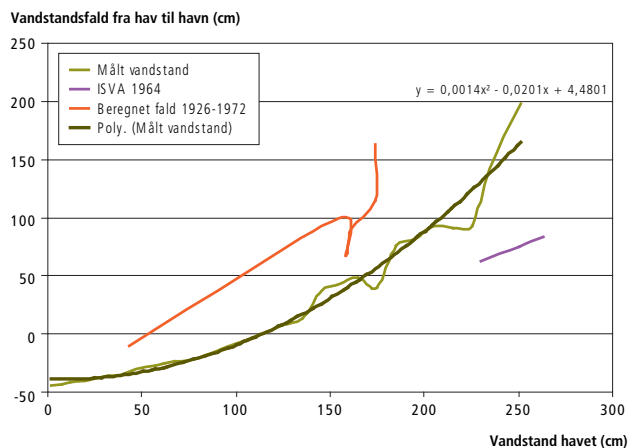
DTH (1961) beregner VS100 = 176 cm, mens VS100 = 194 cm i Løgstør ifølge Sørensen og Ingvarsdén (2007). Hvis begge højvandsstatistikker er fejlfri, og hvis vindklimaet fra 1925 til 1949 var hårdere end vindklimaet fra 1950 til 2008, må stigningen i VS100 på 18 cm skyldes, at tværsnittet af Thyborøn Kanal vokser.

Sammenhængen mellem vandstande i havet ud for Thyborøn og i Løgstør er kompleks. De tre højeste stormflodsvandstande målt i havet har et gennemsnit på $(263+240+231)/3 = 245$ cm og gennemsnittet for de samme stormflodshændelser for både Thyborøn Havn og Løgstør er 162 cm. Dette giver et gennemsnitligt fald i vandstanden fra havet til Limfjorden på 82 cm. I Thyborønudvalget (1959) er faldet i vandstand fra havet til Løgstør beregnet til 59

cm og 65 cm, når vandstanden i havet er henholdsvis 213 cm og 300 cm. Idet tværsnittet af Thyborøn Kanal er væsentligt større i dag end i 1950'erne, betyder det, at vandstands-faldet i kanalen var væsentligt undervurderet i 1959.

Ifølge Larsen og Beck (2009) skyldes mellem 100 cm og 150 cm af stormflodsvandstanden ved Løgstør indstrømningen gennem Thyborøn Kanal i den periode, vandstanden i havet er over 150 cm. Da det mindste tværsnit i perioden fra 1930 til 1957 er ca. 2500 m² og det mindste tværsnit i 2008 er på 8200 m² kan det undre, at stormflodsvandstandene ved Løgstør ikke er steget mere end 20 cm i perioden.

I KI (1975) er vandspejlsfaldet i selve kanalen beregnet for en vandstand på ca. 43 cm og ca. 174 cm DNN. Vandspejlsfaldet er henholdsvis 16 cm og 76 cm. På grundlag af KDI's målinger fra 1977 til 2009 er det gennemsnitlige fald i vandstanden mellem Vesterhavet og Thyborøn Havn beregnet for en række daglige maksimale vandstande, Figur 6.



Figur 6. Målte og beregnede forskelle i vandstande i Thyborøn Kanal mellem Thyborøn Havn og Vesterhavet, jf. tekst for forklaring.

Heraf fremgår, at en havvandstand på 36 cm DVR90 kun giver et fald på 6 cm, mens faldet i perioden 1950 til 1972 er beregnet til 14-16 cm. De beregnede fald i perioden 1926-1972 fra KI (1975) er sandsynligvis korrekte, da tværsnittet var væsentligt mindre end det gennemsnitlige tværsnit i perioden 1974 til 2008.

Den af ISVA (Institut for Strømningsmekanik og Vandressourcer ved Danmarks Tekniske Universitet) i 1964 udarbejdede formel til beregning af havvandstanden på grundlag af vandstanden i havnen synes at undervurdere vandstanden i havet, da vandspejlsfaldet i kanalen var større, da kanalens tværsnit var mindre. ISVA's formel lyder $VS_{NH} = 1,33 \cdot VS_{TH} - 16$ (cm) hvor VS_{NH} = vandstand i Nordsøen og VS_{TH} er vandstanden i Thyborøn Havn. At formelen undervurderer vandstanden i havet, ses af Figurerne 6 og 7.

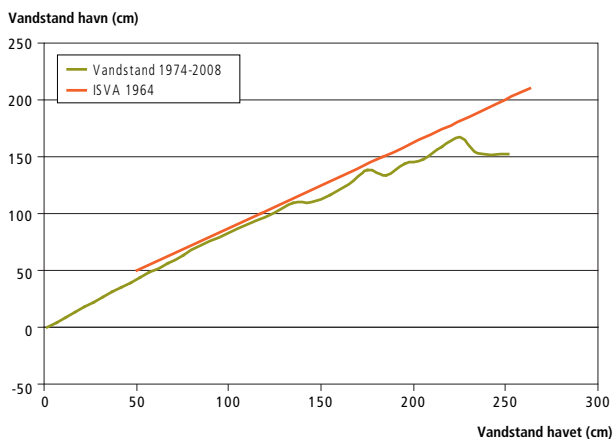
Forklaringen på, at vandspejlsfaldet i Thyborøn Kanal øges voldsomt, når vandstanden stiger, er, at den hydrauliske modstand over fjordgrundene er lille ved meget høje vandstande.

Den 8. januar 2005 målt en vandstand på 263 cm i havet. Ifølge KI (1975) svarer dette til mere end en 1000-års vandstand i Nordsøen, mens der kun målt en 20 års vandstand i Thyborøn Havn (Der indtræffer dog en 100-års vandstand den 9. januar). Et

bud på en 1000-års vandstand for Vesterhavet ved Thyborøn kan gives ud fra statistikken for Thyborøn Havn. En 1000-års vandstand for Thyborøn Havn vurderes til mellem 2 og 2,10 m. På grundlag af målte vandspejlsfald i Thyborøn Kanal kan vandspejlsfaldet beregnes af følgende formel:

Vandstands-fald = $0,0014 \cdot VS_{NH}^2 - 0,201 \cdot VS_{NH} + 4,48$ som angivet ved kurven (poly.) i Figur 6.

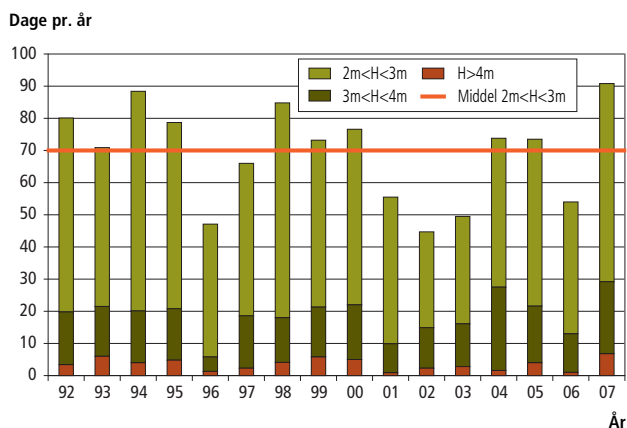
Ved gennemregning af en række eksempler er det klart, af formlen kun gælder for $VS_{NH} < 2,64$ m. Derfor skønnes vandstands-faldet under en 1000 års storm til det største fald, der er målt i vandstanden ~1.10 m. Det giver en 1000 års vandstand i havet på ca. 3,15 m.



Figur 7. Sammenligning af udvalgte målte (grønt) og tidligere beregnede (rødt) sæt af vandstande fra Vesterhavet og Thyborøn Havn.

3.4 Bølgeforhold

KDI har siden 1992 målt bølger på dybt vand ved Fjaltring. På www.kyst.dk findes en opgørelse af bølgedøgn. Et bølgedøgn er et døgn, hvor den signifikante bølgehøjde har været over 2 meter. Antal bølgedøgn pr. år er vist på Figur 8. Heraf ses, at der i gennemsnit er 70 bølgedøgn langs den centrale del af vestkysten, men at antallet af bølgedøgn i øvrigt varierer en del fra år til år.



Figur 8. Antal årlige bølgedøgn, hvor den signifikante bølgehøjde har været over 2 m i perioden 1992-2007.

Perioden 1992-2007 er forholdsvis kort i forhold til perioden 1940-2008, hvor udviklingen af Thyborøn Kanal følges, og der er ikke forsøgt at finde en sammenhæng mellem bølger og kanalens flytning. Der er endvidere for få pejlinger af Thyborøn Kanal i perio-

den til med rimelig sandsynlighed at kunne finde en sammenhæng mellem bølger/antal bølgedøgn og flytning af kanalen mod NØ. Ud fra en række pejlinger fra 2007-2008 umiddelbart foran havneindsejlingen er der uden held forsøgt at finde en sammenhæng mellem tilsanding, sandbølgerens vandringsretning, bølger og vandstande m.m.

3.5 Vind

KDI har siden 1982 udført automatiserede vindmålinger på de tre vestkyststationer Thyborøn, Thorsminde og Hvide Sande. Den eneste foreliggende, lange måleserie er DMI's observationer og målinger i Thyborøn, der går tilbage til 1893. Observationsinddelingen har ændret sig gennem årene, og observationer har ikke den samme præcision som målinger (foretaget siden 1961), hvorfor Risø og DMI har foretaget en bearbejdning af de ældre data (Miljøstyrelsen, 1991). Data foreligger nu i vinkelrum på 45° og efter en Beaufortskala fra 0 til 12. De automatiske vindmålinger fra Thyborøn er præget af et skift fra DMI-målinger til KDI-målinger i 1982, og vindmåleren er desuden blevet flyttet en gang i perioden. Desuden sker service af udstyr oftere i dag end tidligere.

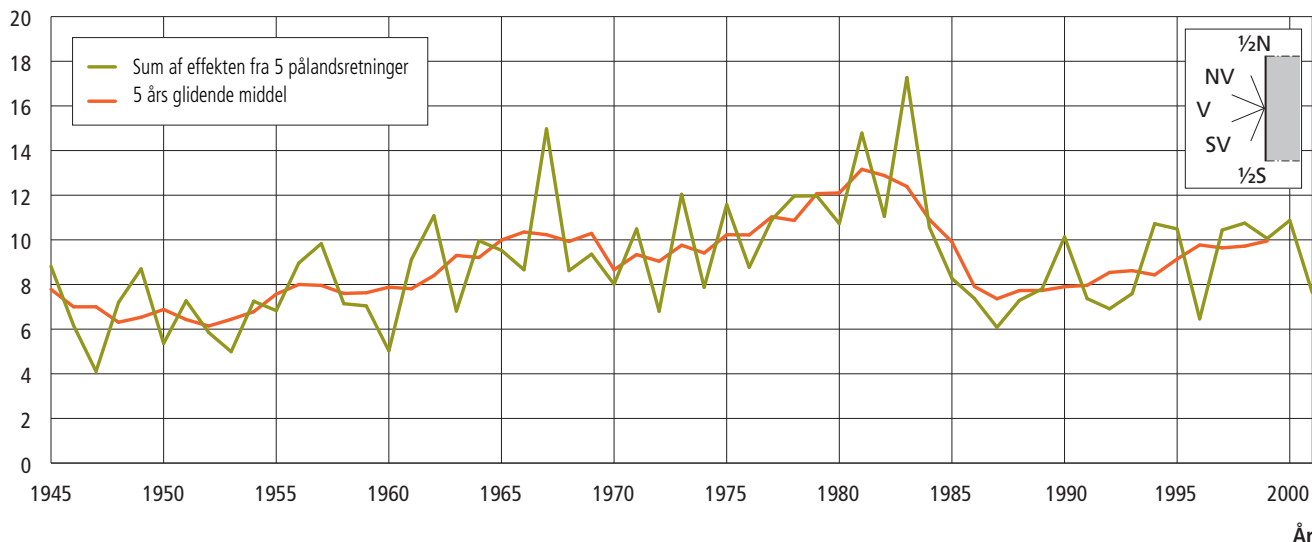
Vindmålingerne fra Thyborøn er benyttet i en række vestkystrapporter. I KDI (2003) er udviklingen i den årlige vindenergi siden 1945 summeret for alle pålandsretninger, Figur 9.

Faldet i vindenergi i 1980'erne kan ikke genfindes i data fra andre danske målestationer, og det er valgt delvist at se bort fra vindmålingerne i Thyborøn. Hvis måleserien deles i en DMI-serie fra 1945 til 1982 og en KDI-serie fra 1983 til 2002, viser målingerne, at vindenergien er steget både fra 1945 til 1982 (DMI målinger) og fra 1983 til 2002 (KDI målinger); en stigning i overensstemmelse med resultater fra Nordsøen i perioden 1958-1997 (Siegismund og Schrum, 2001), Figur 10. Selvom der er stor variation fra år til år, ses at den årlige middelvindstyrke er steget i perioden. Forfatterne undersøger tillige ændringer i middelretningen af vinden og finder, at det især er i månederne februar og marts, at der er kommet mere vind fra SW.

Af Christiansen et al. (2006) fremgår, jf. Figur 11, at perioden 1925-1949 er mere blæsende end de øvrige perioder, idet antallet af dage med vindstyrker under middel falder, mens antallet af dage med vindstyrker over middel stiger. Desuden ses, at der fra perioden 1950-1977 til perioden 1978-1987 sker et svagt fald i antallet af målinger med 5 m/s, mens der er en svag stigning i antallet af målinger over 10 m/s. Det betyder, at middelvinden er øget fra perioden 1950-1977 til perioden 1978-1987, og resultatet er i overensstemmelse med Siegismund og Schrum (2001). Det fremgår også, at selvom middelvinden er steget fra 1950 til 1987, er den endnu noget fra den middelvind, der var i perioden 1925-1949.

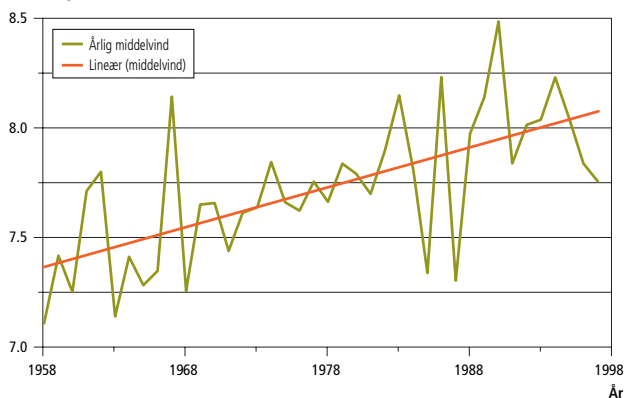
Da de to benyttede undersøgelser slutter i henholdsvis 1987 og 1998 vises også middelvinden fra Thyborøn, Figur 12. Heraf ses, at middelvinden generelt har været højere i den sidste halvdel af perioden i forhold til den første del.

Vindenergi (GJ/m²)



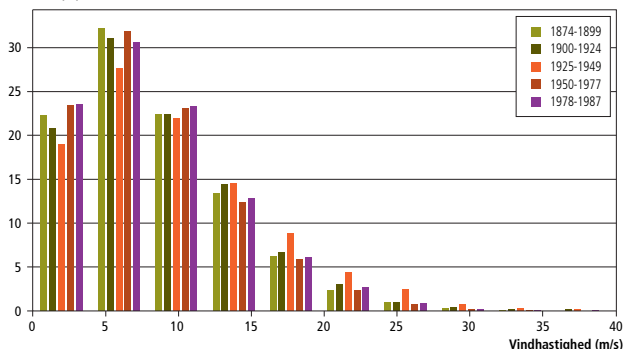
Figur 9. Udvikling i vindenergi 1945-2002 for pålandsvind ved Thyborøn. Fra KDI (2003).

Vindhastighed (m/s)



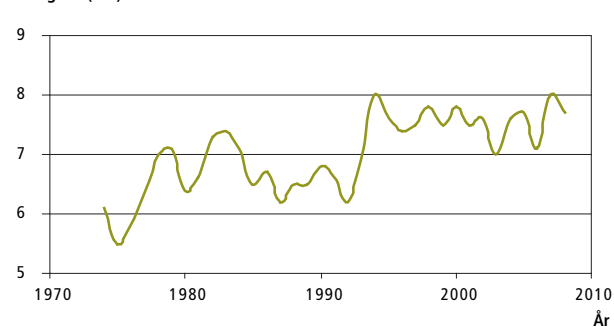
Figur 10. Årlig middelvind over Nordsøen, 1958-1997 (Efter Siegmund og Schrum, 2001).

Frekvens (%)



Figur 11. Fordeling af geostrofisk vindhastighed fordelt på fem forskellige perioder (Efter Christiansen et al., 2006).

Hastighed (m/s)



Figur 12. Årlig middelvind ved Thyborøn, 1974-2008.

3.6 Sammenfatning

Ud fra gennemgangen af de klimatiske og hydrografiske forhold kan kort sammenfattes:

Middelvandstanden stiger i Thyborøn. Antallet af højvande over både 110 cm og 125 cm stiger. Tidevandsstørrelsen er steget fra 53 til 57 cm, hvilket svarer til en stigning på 4 cm på 33 år (1975-2008). Ekstremvandstandene, vurderet som statistiske midteldtidshændelser, synes at være øget gradvist gennem de seneste 80 år i Limfjorden.

Det er valgt at se på vinden beregnet ud fra trykmålinger (geostrofisk vind), da der først er pålidelige vindmålinger fra slutningen af det 20. århundrede. Vinden i perioden 1925-1949 er kraftigere end i de 3 andre undersøgte perioder i det 20. århundrede. Hvis der kun ses på vinden fra 1950 og frem, er middelvinden øget gennem hele perioden. Alle vindmålestationer langs vestkysten har perioder med høj vindenergi, men perioderne med høj vindenergi skifter fra målestation til målestation. Da 5 ud af 6 DMI stationer i Jylland viser, at vinden tiltager fra 1970 til 2000, og trykmålinger viser, at middelvinden stiger fra 7,5 m/s i 1970 til 8,0 m i 1998, sluttet, at vindstyrke og vindenergi er steget fra 1970 til år 2000.

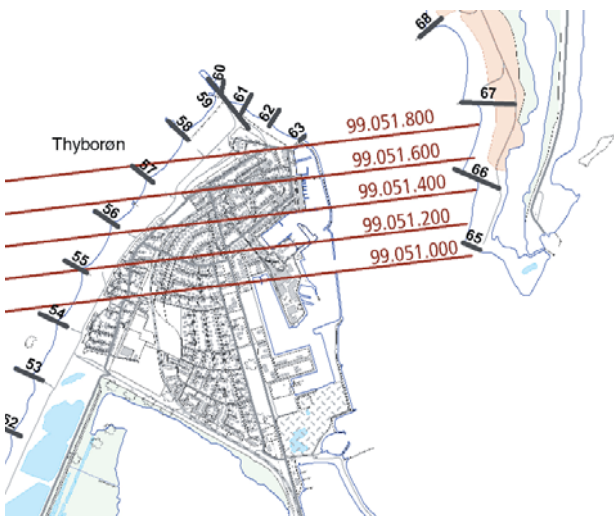
Udviklingen af Thyborøn Kanal

Thyborøn Kanal blev til under en stormflod i 1862. Selvom kanalen er naturligt skabt, er dens nuværende beliggenhed og udformning voldsomt påvirket af menneskelige indgreb gennem de seneste over 100 år. KI (1975) ønsker at bevare Thyborøn Kanals stabilitet i forhold til retning og tværsnit, ligesom man ikke vil have uønskede ændringer i systemets vandføringsevne. Med reference til Ministeriet for Offentlige Arbejder (1968) ønskede man af hensyn til forholdene i Limfjorden ikke en stigning i vandføringsevnen i Thyborøn Kanal. Vandføringsevnen skal forstås som den mængde vand, der kan transporteres ind og ud af kanalen mellem Vesterhavet og Limfjorden.

Gennem tværsnit, pejleplaner, differensplaner, beregning af vandføring og morfologiske karakteristika, bliver udviklingen i Thyborøn Kanal præsenteret og vurderet; herunder at den stabilitet i kanalen, man havde fra 1950'erne til 1983 ikke har været til stede i perioden fra 1983 til 2008. Desuden undersøges, hvorvidt og i hvilket omfang et voksende tværsnit har medført en forøget vandføring.

4.1 Tværsnit og tværsnitsarealer

En beskrivelse af udviklingen ud fra tværsnit er vanskelig, da der kræves mange tværsnit for at sikre, at alle væsentlige dele af udviklingen er med, og med mange tværsnit bliver det vanskeligt at bevare overblikket. Her er valgt at vise 5 tværsnit fra linjer, KDI har målt siden 1987, Figur 13 og Tegningerne 5 til 10, samt yderligere et tværsnit, Figur 14. Udviklingen i tværsnittene er fokuseret på området mellem havnen og Svanholm omkring høfderne 65 og 66. Der redegøres mere indgående for høfdernes historie og udvikling nedenstående. Det er ikke hensigten, at de viste tværsnit og tilhørende arealberegninger skal give en komplet beskrivelse, men de medtages som en alternativ og traditionel måde til at illustrere og beskrive hovedtræk i udviklingen på.



Figur 13. Placering af fem tværsnit i Thyborøn Kanal.

Tegning 6 viser tværsnittet i linje 99051000, jf. Tegning 5 og Figur 13, set fra nord mod syd. Det betyder, at Thyborøn Havn er til højre og Svanholm til venstre på tegningen. Tværsnittet er placeret på nedstrøms (på fjordsiden) af høfde 65 og forventes at kunne vise virkningen af, at Svanholm forsvinder, og høfde 65 afkortes (i 1996). I 1987 er det dybeste sted ca. 200 m øst for Thyborøn Havn, og i 2008 er det dybeste sted 600 m øst for Thyborøn Havn. 8 m dybdekurven ved Svanholm ligger næsten det samme sted fra 17.9-1987 til 6.3-1989. Mellem 6.3-1989 og 26.4.1990 rykker 8 m kurven godt 200 m mod øst svarende til tidspunktet, hvor spidsen af Svanholm når linje 99051000.

I perioden fra 1990 til 1996 ses kun mindre ændringer. 1996 til 2000 sker der en tilbagerykning af 8 m kurven på godt 100 m, hvilket tidsmæssigt passer med, at høfde 65 afkortes med 65 m i 1996. Foran Thyborøn Havn omkring st. 1100 m iagttages 6 meters aflejring fra 1987 til 2008. I perioden 1987-1996 aflejres ca. 0,2 m/år, mens der aflejres ca. 0,35 m/år i perioden 1996-2008. Denne aflejring forklares ved, at løbet bevæger sig mod øst. Tidligere løb en kraftig nordgående strøm (ebbestrøm) langs med Thyborøn Havn, men hovedstrømmen er nu flyttet 400 m mod øst.

Tegning 7 viser tværsnittet i linje 99051200, jf. Tegning 5 og Figur 13, set fra nord mod syd. Tværsnittet er placeret umiddelbart nord for høfde 65. Tilbagerykning af 8 m kurven mod øst på ca. 25 m mellem 1987 og 1988 tolkes som et resultat af afkorting af høfde 65 med 50 m i 1986. Herefter ligger 8 m kurven næsten fast fra 1988 til 1997. Fra 1997 til 2000 flytter 8 m kurven 160 m mod øst, og denne kraftige tilbagerykning ses som et resultat af afkorting af høfde 65 i 1996. I dette tværsnit er det dybeste punkt flyttet ca. 375 m mod øst i perioden. Der ses også stor aflejring foran Thyborøn Havn. Det 'flade' stykke med en dybde mellem 8 og 9 m foran havnen i 2008 tolkes som et resultat af oprensning foran havnen. For at KDI kan garantere en dybde på 8 m i indsejlingen, er det nødvendigt at oprense til en noget større dybde end de 8 meter.

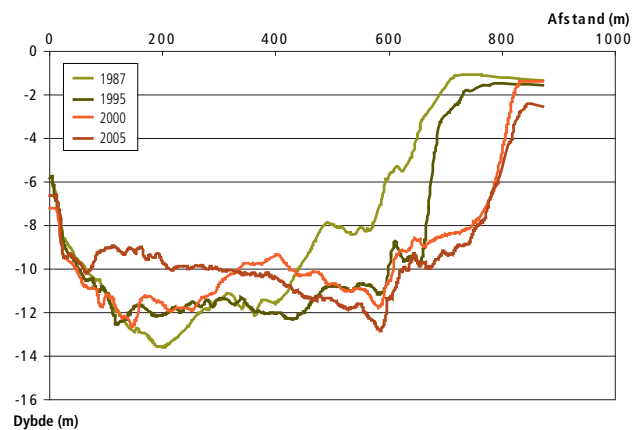
Tegning 8 viser tværsnittet i linje 99051400, jf. Tegning 5 og Figur 13, set fra nord mod syd. Tværsnittet ligger umiddelbart syd for høfde 66. Den østlige 8 m kurve rykker 70 m tilbage fra 1988 til 1991. Fra 1996 til 2008 rykker 8 m kurven yderligere ca. 80 m tilbage, og hvor den i den mellemliggende periode ligger næsten fast. De to perioder med tilbagerykning passer tidsmæssigt med afkorting af høfde 66 i 1988 og 1998 på henholdsvis 60 m og 90 m. Det dybeste sted er rykket 400 m mod øst (til venstre), og der er en aflejring på ca. 4 m foran Thyborøn Havn.

Tegning 9 viser tværsnittet i linje 99051600, jf. Tegning 5 og Figur 13, set fra nord mod syd. Den østlige 8 m kurve rykker ca. 70 m tilbage fra 1997 til 2008. Tilbagerykningen fra 1997 til 2008 passer med afkorting af høfde 66 i 1998, mens der i forbindelse med afkorting af høfden i 1988 ikke ses en tilsvarende tilbagerykning af 8 m kurven. I den vestlige del af tværsnittet er dybden faldet fra 11 m til 7 m.

Tegning 10 viser tværsnittet i linje 99051800, jf. Tegning 5 og Figur 13, set fra nord mod syd. Den østlige 8 m kurve rykker 50 m tilbage fra 1996 til 2008. På tegningen ses, at den østlige 8 m kurve svinger frem og tilbage fra 1987 til 1997, mens målingerne fra 2000, 2005 og 2008 ligger ca. 50 m længere mod øst. Dette passer tidsmæssigt med afkortning af hofde 66 i 1998, mens afkortningen i 1988 ikke ses af dybdekurverne. Mod vest (højre side af tegningen) ses aflejring og en reduktion af dybden fra ca. 9 m til ca. 6 meter.

Samlet giver de 5 tværsnit et billede af sedimentation foran havnen og øgede dybder mod nord ved Svanholm/Agger Tange. I flytningen af kanalens tværsnit ses en god korrelation med afkortning af hofderne 65 og 66 i midten af 1990'erne.

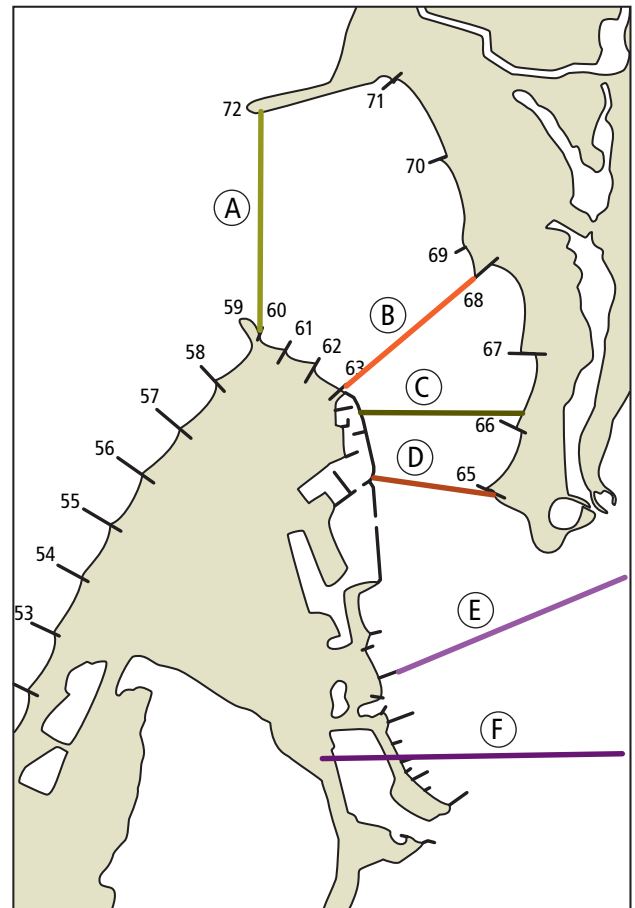
En tilsvarende udvikling i perioden 1987 til 2005 ses af Figur 14, der er målt fra hofde 65 mod vest svarende til en nord-kordinat på 628440. Tværsnittet (D2) er næsten identisk med tværsnit D, jf. nedenfor, og linje 99051000.



Figur 14. Tværsnit i en linje fra hofde 65 mod vest (D2) for 4 opmålinger mellem 1987 og 2005.

KI (1999) viser, at alle undersøgte tværsnit A, B, C, D, E og F i Thyborøn Kanal vokser i perioden 1934-1994, jf. Figurene 15 og 16. Tidligere er tværsnittenes relative areal beregnet, idet arealet under en given kote beregnes. Det har desværre ikke været muligt at rekonstruere disse ældre tværsnit for en fuldstændig opdatering. Ses imidlertid på tværsnittet D2, viser beregninger, at tværsnitsarealet i perioden 1987-2005 er øget fra 6900 m² til 8200 m².

Af Figur 16 ses, at arealet af tværsnit D er øget med ca. 2000 m² i perioden 1934-1987. Det betyder, at tværsnitsarealet ud for hofde 65 er vokset fra ca. 4900 m³ til ca. 8200 m³ fra 1934 til 2005, svarende til en forøgelse på 67 %. Af Figur 14 ses, som for Tegning 6, at løbets dybeste sted er flyttet ca. 400 m mod øst, mens de østlige dybdekurver mellem 4 og 8 m er flyttet ca. 200 m mod øst. I den vestlige del af løbet ses en kraftig aflejring.

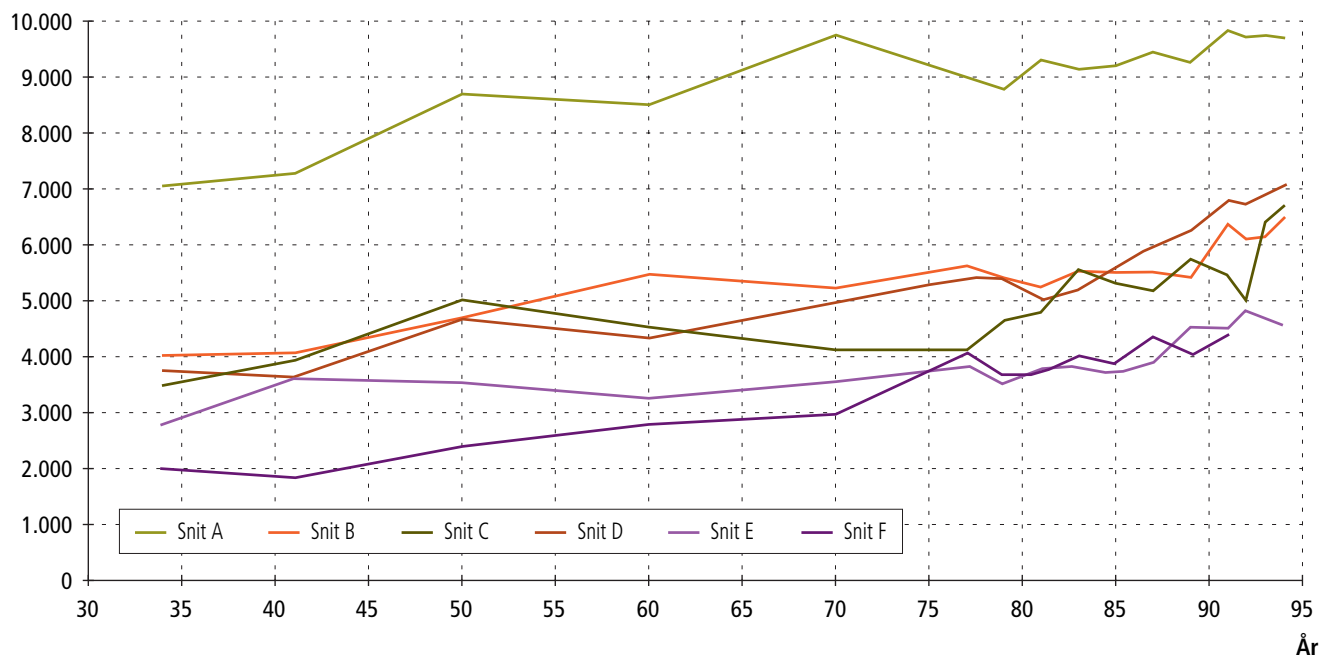


Figur 15. Placering af tværsnit A-F i Thyborøn Kanal (Fra KI, 1999).

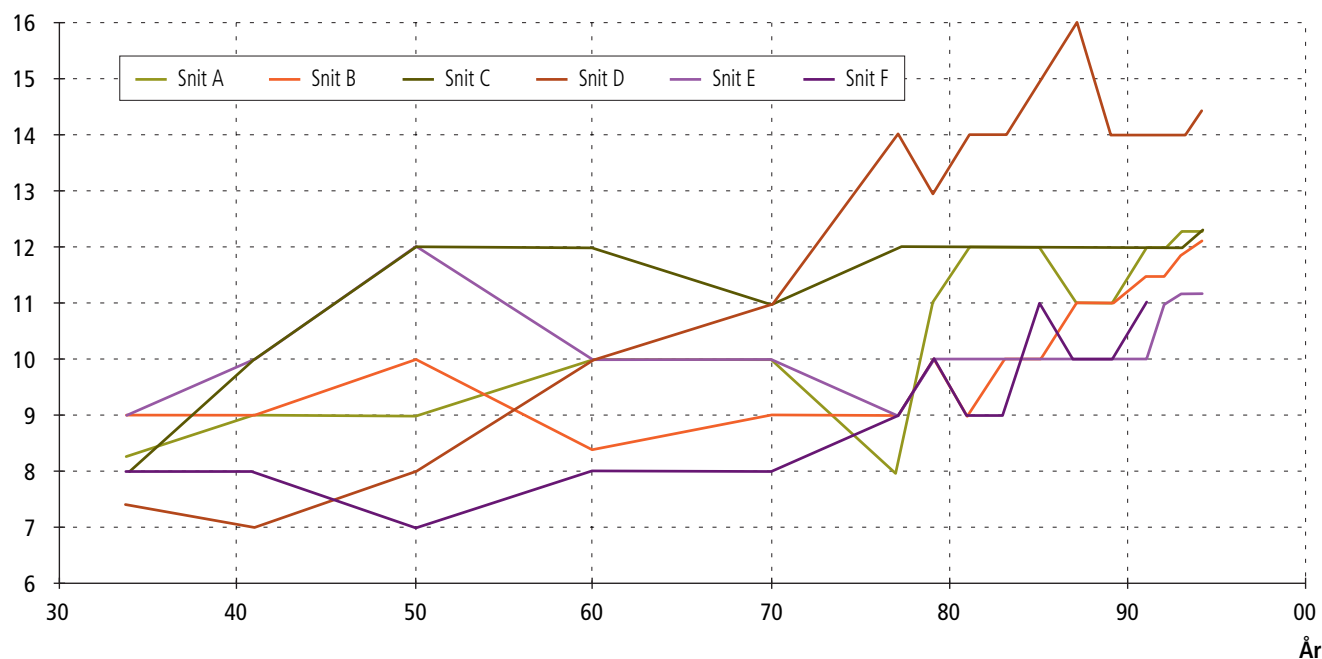
Samtidig ses en generel øgning af dybderne i kanalen, Figur 16 b). Mest markant er tværsnit D, hvor dybden siden midten af 1970'erne har været over 13 meter, mens den for de øvrige snit ligger mellem 10 m og 12 m de senere år.

En beregning i tværsnit A viser en stigning i arealet fra 10.765 m² til 11.754 m² fra 1987 til 2005 svarende til 9 %. I tværsnit B ses en stigning i arealet fra 6580 m² til 7615 m² svarende til 15 % i samme periode, Figur 17.

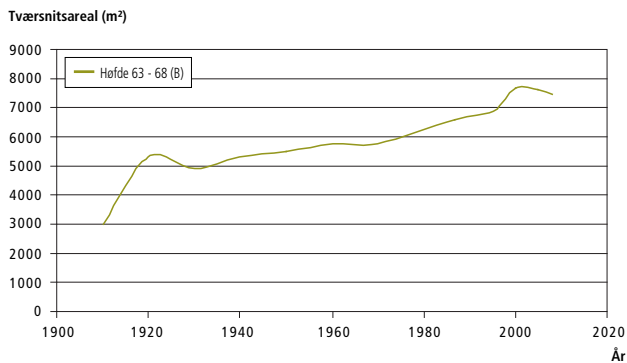
Tværsnitsareal (m²)



Dybde (m)



Figur 16. Udvikling i tværsnitsareal (a) og maksimal dybde (b) for 6 linjer A-F i Thyborøn Kanal i perioden 1934-1994 (Fra Kl, 1999).



Figur 17. Udvikling i tværsnitsareal i linje B i Thyborøn Kanal.

Tværsnitsarealer fra før 1987 er fra KI (1975). Selvom tværsnitsarealerne i korte perioder er faldende, ses en samlet forøgelse med 150 % fra 1910 til 2005. Udover at alle tværsnit vokser, bemærkes at tværsnit E og F, der tidligere var de mindste tværsnit, er blevet meget store og vanskelige at definere. I takt med erosionen af Svanholm er det smalleste sted i kanalen flyttet fra tværsnit E til D og C. Dette betyder en forøgelse af det mindste tværsnit fra 1983 til 1990 med ca. 2000 m³, udover den forøgelse der sker på grund af erosion i tværsnit C og D.

4.2 Pejleplaner og besejlingsdybde

Ud fra pejleplaner er det muligt at følge Thyborøns Kanals vandring mod øst og den tilhørende tilsanding foran havnen, selvom de dog ikke er særligt velegnede hertil. Pejleplanerne er derimod gode til at vise, at besejlingsdybden i kanalen vokser.

I KI (1995) forefindes planer fra 1914 til 1993 med indlagte landkonturer, dybdekurver og tonede områder med vanddybder større end henholdsvis 7 m (lyseblå) og 8 m (mørkeblå). På den første plan fra 1914 ses store sammenhængende områder med en dybde mindre end 7 m, der strækker sig tværs over den vestlige del af kanalen. Besejlingsdybden var da under 7 meter. Ved gennemgang af de i alt 15 pejleplaner gengivet i KI (1995) ses, at områderne med vanddybder mindre end 7 m gradvist bliver mindre, og fra 1966 er der en naturlig besejlingsdybde på 7 meter. Tilsvarende kan områder med dybder under 8 m følges på de 15 planer. En besejlingsdybde på 8 m ses ligeledes første gang i 1966, men er dog ikke til stede i 1972 og 1987, hvorefter den bliver permanent fra 1988.

Seks pejleplaner for perioden 1987 til 2008 (1987, 1991, 1995, 2000, 2005, 2008) er vist på Tegningerne 11-16. Her ses, som udtryk for at besejlingsdybden vokser, at (de gule) områder med vanddybder mellem 6 og 8 meter bliver mindre fra 1987 (Tegning nr. 11) til 2005 (Tegning nr. 16).

Endvidere kan der for en besejlingsdybde på 9 meter også ses en klar udvikling, Tegning 23 til Tegning 25. I Thyborøn Kanal når den naturlige besejlingsdybde 9 m i år 2000 (Tegning 23). Siden er bredden i kanalen med vanddybder over 9 m vokset frem til 2008 (Tegning 25) og vil i dag kunne afmærkes med traditionelle fyrilinjer.

Selvom der sker store omlejring af sediment i kanalen, og løbet med den største besejlingsdybde flytter sig, er der ingen tvivl om, at den naturlige besejlingsdybde for Thyborøn Kanal generelt er vokset gennem lang tid. Imidlertid er flytningen af kanalen væk fra

Thyborøn Havn blevet meget synlig. I 2000 (Tegning 23) og 2005 (Tegning 24) kunne der sejles helt hen til indsejlingen med en dybgang på 9 m. Flytning af kanalen betyder imidlertid, at der sker så stor aflejring foran havnen (Tegning 25), at opgravning af sediment er nødvendig for at opretholde en sejldybde på 9 meter.

4.3 Differensplaner

Differensplaner viser forskellen mellem to opmålinger (pejleplaner). I modsætning til tværsnit er differensplaner gode til at vise udviklingen i hele Thyborøn Kanal på en overskuelig måde.

Der er set på differensplaner fra 1987 til 1991, fra 1991 til 1995, fra 1995 til 2000, fra 2000 til 2005, fra 2005 til 2008 og fra 1987 til 2008, jf. Tegningerne 17-22. Da bundændringerne i Thyborøn Kanal generelt er store, er ændringer mellem -30 cm og +30 cm udeladt.

Det burde allerede på den første differensplan fra 1987 til 1991 (Tegning 17) være muligt at se i hvilken retning, Thyborøn Kanal udvikler sig. Thyborøn Kanal har imidlertid nogle områder, hvor der sker aflejring i perioder med typisk sommervejr og erosion i perioder med typisk vintervejr. For at danne et overblik over den samlede udvikling, begynder derfor ved tolkning af differensplanen, der viser bundændringerne i hele perioden fra 1987-2008 (Tegning 22). Heraf ses meget tydelige aflejringer på over 3 meter i den vestlige halvdel af kanalen ud for indsejlingen til Thyborøn Havn. Tilsvarende ses erosion på over 3 m i den østlige halvdel af kanalen ud for indsejlingen til Thyborøn Havn. Endvidere ses, at Thyborøn Kanal over en strækning på mindst 2 km har flyttet sig mod øst væk fra indsejlingen til Thyborøn Havn. Flytningen mod øst har været i gang længe, og på samtlige differensplaner 1987-1991 (Tegning 17), 1991-1995 (Tegning 18), 1995-2000 (Tegning 19), 2000-2005 (Tegning 20) og 2005-2008 (Tegning 21) er det tydeligt, at Thyborøn Kanal flytter sig mod øst ud for indsejlingen til Thyborøn Havn. Af Tegning 22 ses også erosion på over 3 m i Agger Tange-siden af kanalen og en generel erosion i det meste af kanalen.

Fra 1987 til 1991 (Tegning 17) ses den mest markante udvikling syd for en linje gennem indsejlingen til havnen og hofde 65. I dette område ses en markant aflejring i den vestlige del af løbet. Tættest på havnen har aflejringen en tykkelse på 3 m. I den østlige del af løbet i samme område sker erosion, der i store områder er over 3 m. I kanalens sydlige side ud for hofde 60-63 sker aflejring på mellem 1,5 m og 3 m.

Fra 1991 til 1995 (Tegning 18) fortsætter udviklingen syd for en linje gennem indsejlingen til havnen og hofde 65. Der sker forsat kraftig aflejring i den vestlige del af kanalen, specielt i et område, hvor dybden falder fra ca. 11 m til 4 m. I den østlige del af kanalen er der fortsat stor erosion. I den vestlige del af Thyborøn Kanal nord for linjen gennem havneindsejlingen og hofde 65 sker der også stor omlejring, hvor der flere steder ses aflejring de steder, der var erosion fra 1987 til 1991 og erosion de steder, hvor der var aflejring fra 1987 til 1991. Da pejlingen fra 1991 er fra foråret og pejlingen fra 1995 er fra efteråret, kan en del af ændringerne skyldes ovennævnte årstidsvariation.

Fra 1995 til 2000 (Tegning 19). Aflejring i den vestlige side af kanalen ud for og syd for indsejlingen til Thyborøn Havn fortsætter,

og der ses en kraftig erosion i området ved hofde 65 som følge af hofdeafkortning og optagning af den undersøiske del af hofde 65.

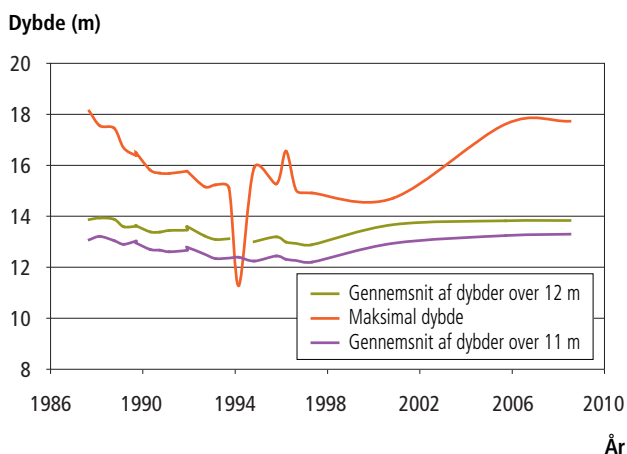
Fra 2000 til 2005 (Tegning 20). Aflejring i Thyborøn-siden af Thyborøn Kanal fortsætter, og aflejring ses fra hofde 63 og mod syd. Der er erosion i Agger Tange-siden af Thyborøn Kanal.

Fra 2005 til 2008 (Tegning 21) ses tilsvarende ovenstående fortsat aflejring i Thyborøn-siden af Thyborøn Kanal fra hofde 63 og mod syd. Der er erosion i Agger Tange-siden af Thyborøn Kanal.

Ud fra differensplanerne er netto-erosionen i det angivne område beregnet til 4,4 mio. m³ eller 0,25 mio. m³/år i perioden 1987-2005.

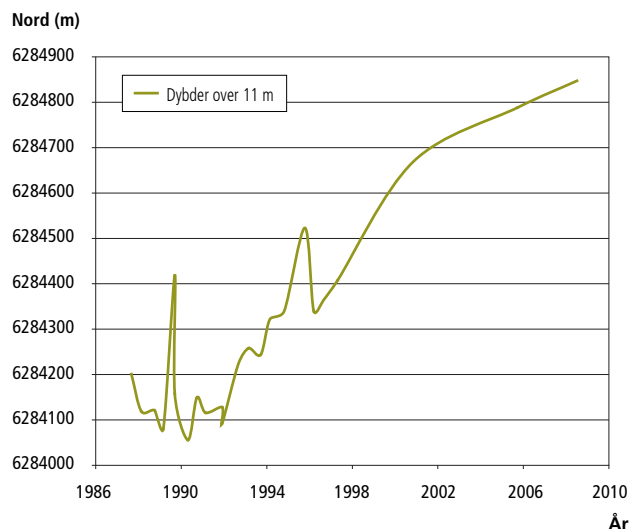
4.4 Maksimaldybder

I Kapitel 4.1 blev dybderne i seks tværsnit præsenteret, og i Kapitel 4.2 blev den generelt øgede besejlingsdybde behandlet. Selvom den største dybde i Thyborøn Kanal kan mindskes mellem to pejlinger, er den gennemgående udvikling, at den største dybde vokser fra ca. 8 m i 1934 til ca. 13 m i 1994. En grafisk visning af dette er i princippet en 2-dimensional visning af en udvikling, der foregår i 3 dimensioner. Her er der for at vise den generelle udvikling set på målingernes største dybde i kanalen samt på gennemsnittet af målte dybder over henholdsvis 11 og 12 m, Figur 18.



Figur 18. Maksimal dybde i Thyborøn Kanal og gennemsnit af dybder over 11 m hhv. over 12 m i perioden 1987-2008.

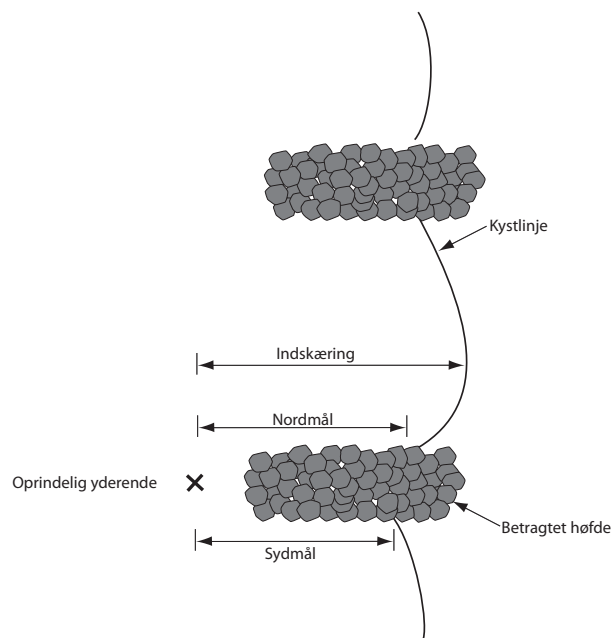
Såvel den største dybde i kanalen som gennemsnittet af dybder over henholdsvis 11 m og 12 m falder fra 1987 til 1997. Faldet i største dybde forklares med, at Thyborøn Kanal var smal ved den yderste del af Svanholm i starten af perioden. Da Svanholm forsvinder, sker der en gradvis opfyldning af hullet umiddelbart vest for Svanholm. Den stigende dybde fra 1997 til 2000 antages at skyldes et skift i målemetode fra enkeltstråle (single beam) til flerstråle (multibeam) ekkolodspejlinger. Den aftagende maksimaldybde skyldes, som nævnt, at Svanholm er forsvundet, og den største dybde stiger igen, efter at det dybeste punkt gradvist flytter mod nord til en linje mellem hofde 63 og hofde 68 fra 1992 til 2008, Figur 19.



Figur 19. Thyborøn Kanal. Placering af tyngdepunkt for dybder over 11 meter, 1987-2008.

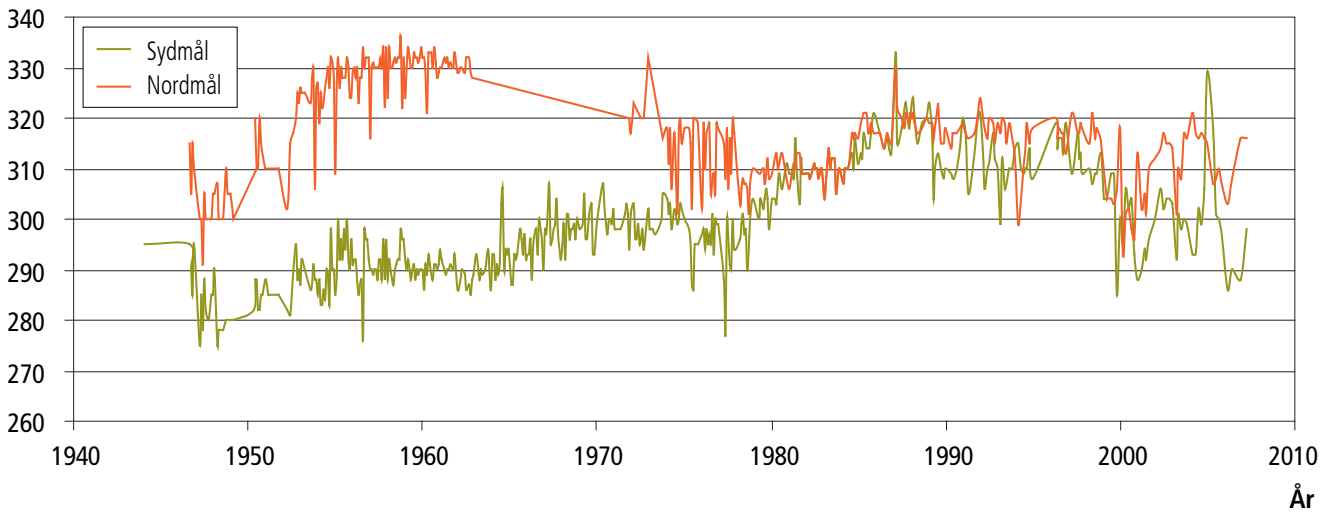
4.5 Høfde målinger

For at undersøge kystlinjens udvikling i Thyborøn Kanal benyttes målinger af afstande fra høfdernes oprindelige yderste ende til kystlinjen, de såkaldte høfde målinger. Princippet i målingerne med angivelse af nordmål og sydmål (i meter) er vist i Figur 20. En øgning af målet mellem to målinger svarer til en tilbagevækst, og en mindskning af målet svarer til en fremrykning af kystlinjen. Ved høfderne 60-63 svarer nordmål til 'østmål' og sydmål til 'vestmål'. Placeringen af høfderne i kanalen fremgår af Tegning 1b).



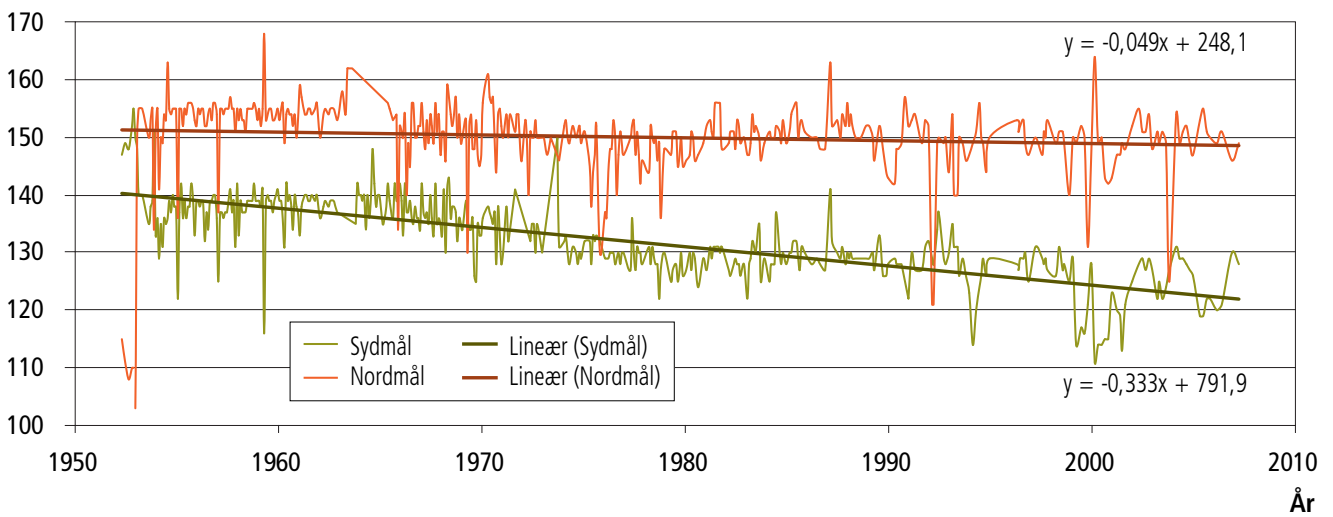
Figur 20. Principskitse for angivelse af høfde målinger i nordmål og sydmål (m).

Afstand fra opr. yderende (m)



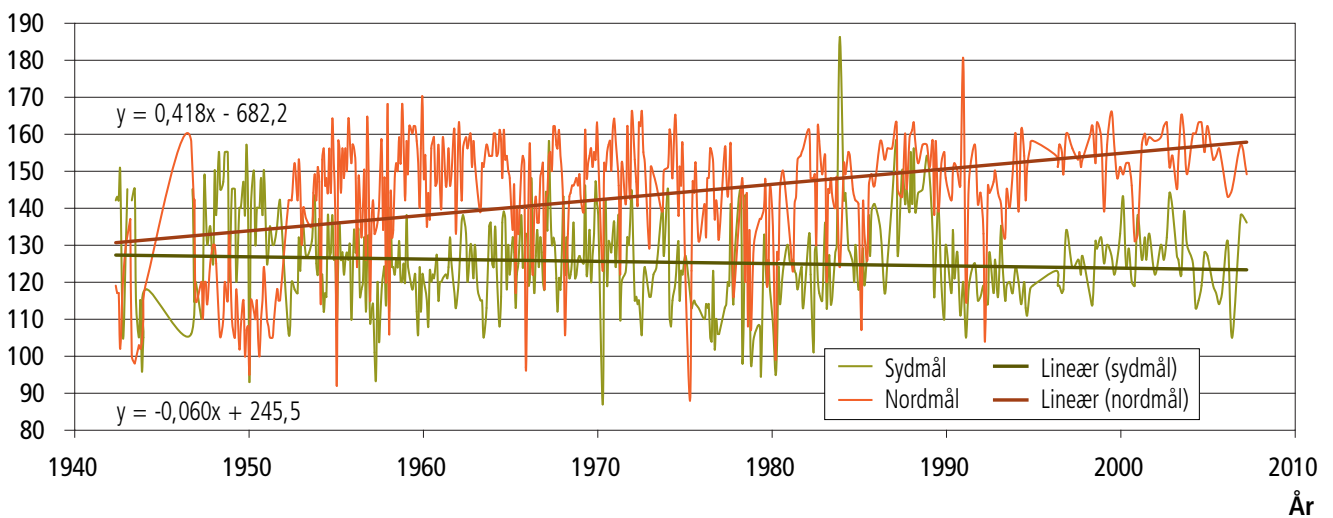
Figur 21. Høfde 59. Høfde målinger.

Afstand fra opr. yderende (m)



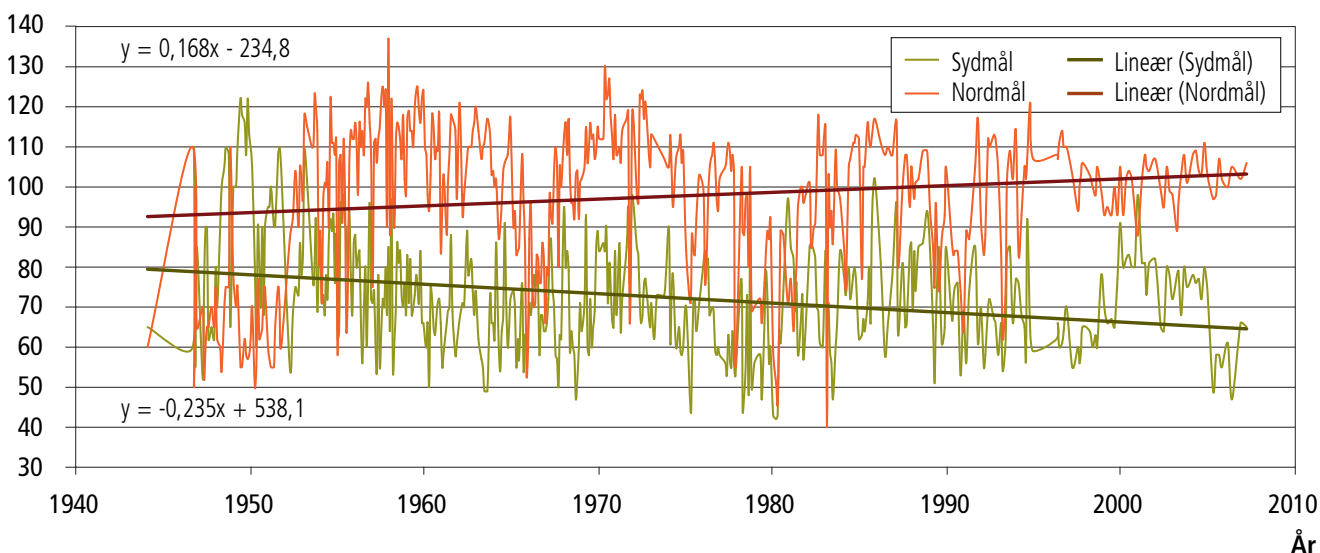
Figur 22. Høfde 60, vestsiden af kanalen. Høfde målinger.

Afstand fra opr. yderende (m)



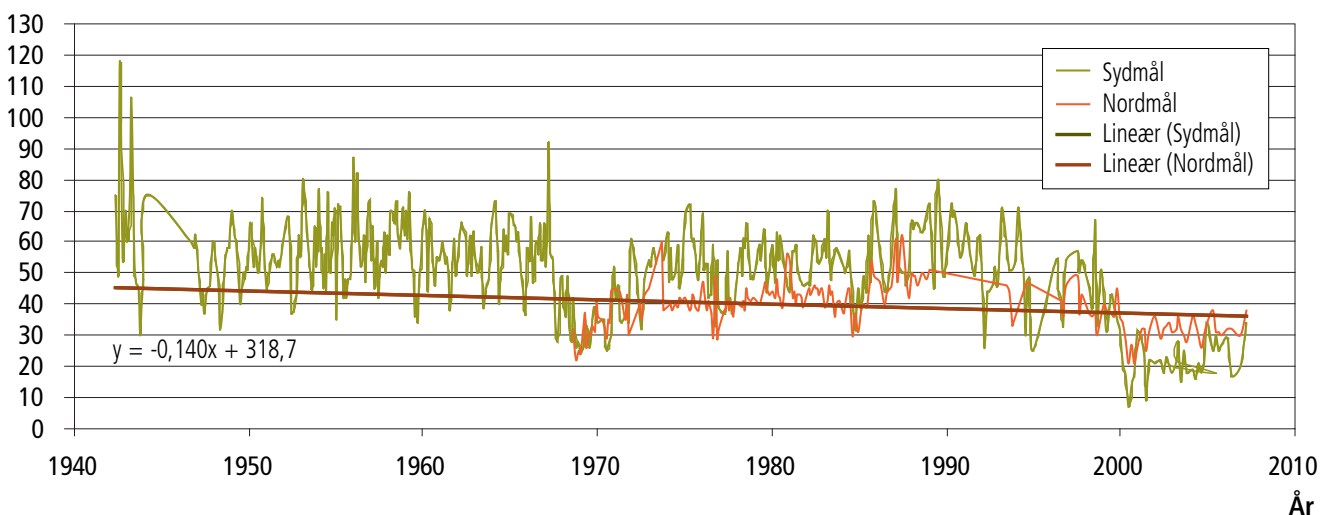
Figur 23. Høfde 61, vestsiden af kanalen. Høfde målinger.

Afstand fra opr. yderende (m)



Figur 24. Høfde 62, vestsiden af kanalen. Høfdemålinger.

Afstand fra opr. yderende (m)



Figur 25. Høfde 63, vestsiden af kanalen. Høfdemålinger.

For høfde 59 på vestsiden af kanalen ses, Figur 21, at kystlinjen i gennemsnit rykker tilbage indtil sidst i 1980'erne. Fra 1990 til 2007 rykker kystlinjen frem på begge sider af høfde 59.

Høfdemålingerne viser fremrykning af kystlinjen i 7 ud af 8 målinger for høfderne 60 til 63, når der kun ses på perioden fra ca. 1940 til 2007, Figureerne 22-25. Ved høfde 62 er der tilbagerykning ved nordmålet, svarende til østsiden af høfden.

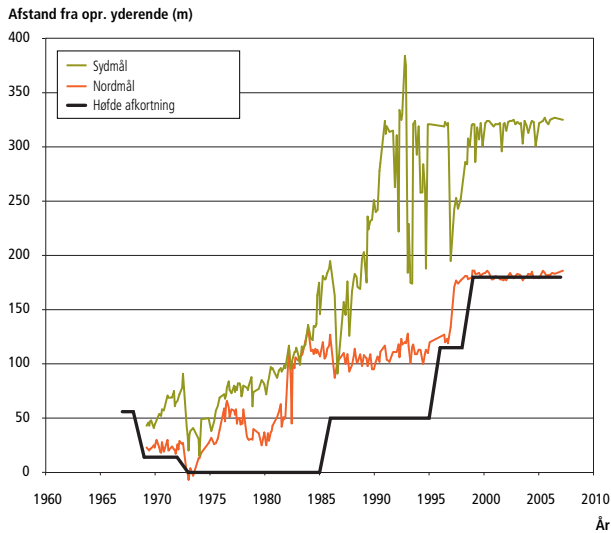
Samlet set betyder det, at kystlinjen i gennemsnit rykker frem på strækningen fra høfde 59 til havnen. Dette er i overensstemmelse med differensplanen mellem målingerne i 1987 og 2008, Tegning 22, der viser aflejring i Thyborøn-siden af Thyborøn Kanal. Høfdemålingerne på Thyborøn-siden af kanalen støtter således vurderingen af Thyborøn Kanals bevægelse mod nord og øst.

På Agger Tange-siden, eller østsiden, af Thyborøn Kanal er tilsvarende vist høfdemålinger for høfderne 65 til 68 i den indre del af kanalen, Figureerne 26–29, og for høfderne 69–71 i den ydre del af

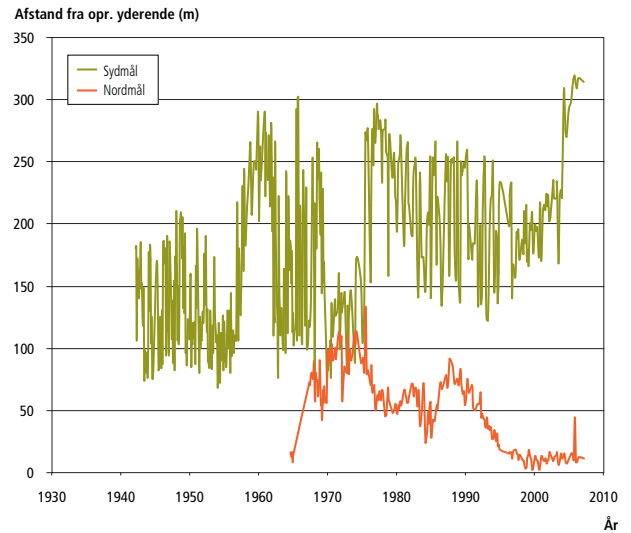
kanalen, Figureerne 30–32. Foretagne ændringer i høfdernes længde er indtegnet i figurene.

Høfderne 65–68 virker efter hensigten, da der samles sand på opstrøms side af høfderne. Der er en rigelig forsyning af sand, og sandet når næsten ud til høfdeenden på samtlige høfder. At der har været en tilbagerykning på nedstrøms side af høfderne skyldes formodentlig de mange afkortninger af høfderne. Der har været flere afkortninger af høfde 65, hvor et af formålene har været en gendannelse af Svanholm. Afkortningerne har dog ikke, som tidligere dokumenteret af KDI, haft den ønskede effekt.

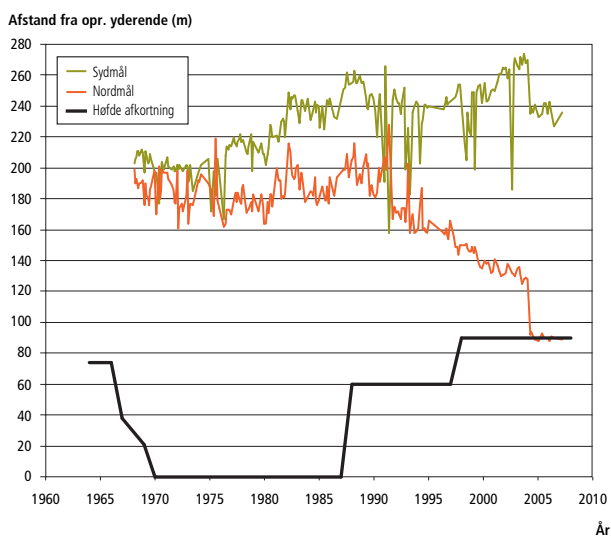
Det fremgår ikke af høfdejournalerne, om høfderne 69-71 gradvis er forfaldet eller pludselig er afkortet, hvorfor det er vanskeligt at tolke udviklingen. Det formodes, at der er fejl i placering af vestenden i høfde 69, og målingerne fra høfde 70 og 71 viser, at kystlinjen rykker tilbage, når høfden afkortes, og at placeringen af kystlinjen tilsyneladende er stabil, når høfdens længde opretholdes.



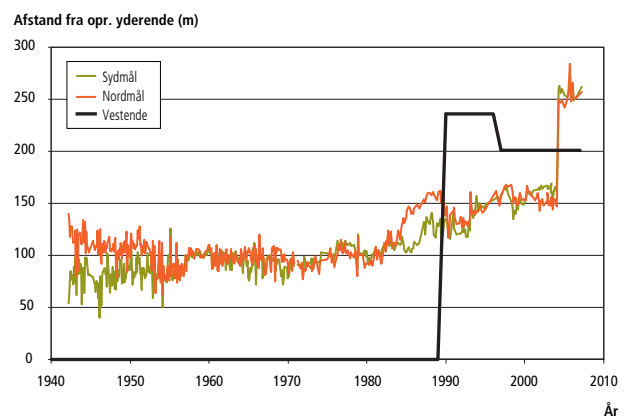
Figur 26. Høfde 65, østsiden af kanalen. Høfde målinger.



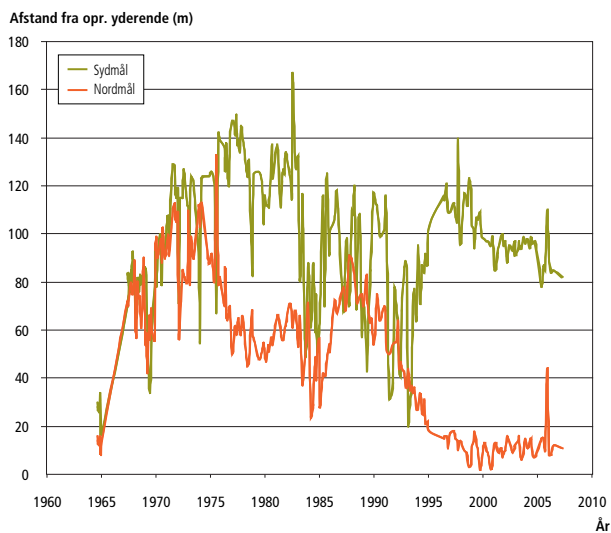
Figur 29. Høfde 68, østsiden af kanalen. Høfde målinger.



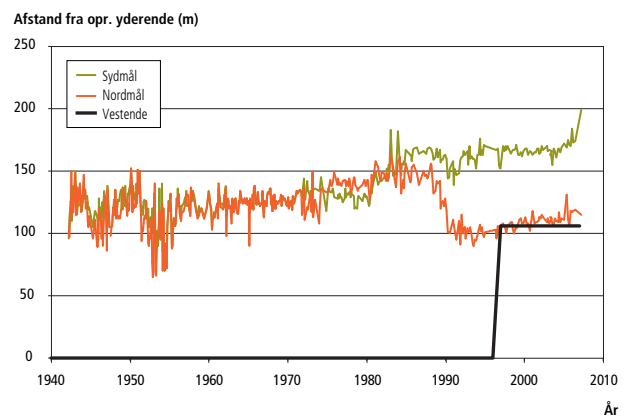
Figur 27. Høfde 66, østsiden af kanalen. Høfde målinger.



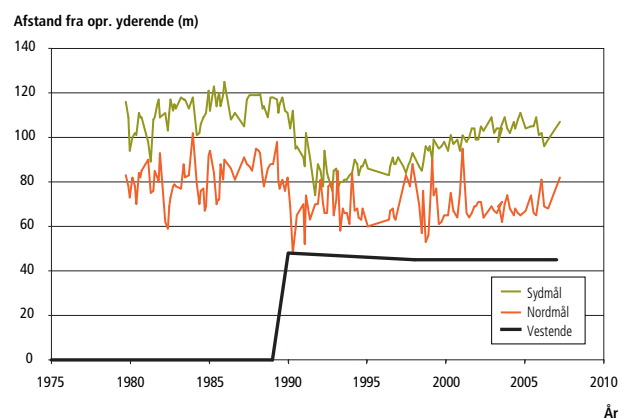
Figur 30. Høfde 69, østsiden af kanalen. Høfde målinger.



Figur 28. Høfde 67, østsiden af kanalen. Høfde målinger.



Figur 31. Høfde 70, østsiden af kanalen. Høfde målinger.



Figur 32. Høfde 71, østsiden af kanalen. Høfde målinger.

4.6 Vandføring og strømhastighed

Et større tværsnit i Thyborøn Kanal giver en forøgelse af den vandmængde, der kan føres ind og ud af Thyborøn Kanal, hvorimod sedimentaflejring på fjordgrundenes østlige sider betyder en øgning af kanalens længde og dermed en nedgang i vandføringsevnen.

Det har ikke været muligt at finde ældre tal for vandføringen i Thyborøn Kanal, men den er sandsynligvis vokset af følgende grunde:

1. Hvis det antages, at vandføringen ikke er øget, vil strømhastigheden i Thyborøn Kanal være faldet så meget, at der ikke kan ske erosion af sand. Dette er i modsætning til en iagttaget erosion på ca. 230.000 m³/år i det undersøgte område (svarende til 4,9 mio. m³ i perioden 1987 til 2008). I KI (1975) aflæses, at et normalt tidevand med et vandspejlsfald på 40-50 cm og et tværsnitsareal på 3000 m² giver en strømhastighed på 1,5 m/sek. Antages vandføringen at være uændret, vil et tværsnitsareal på 7600 m² give en strømhastighed på ca. 0,6 m/s. Da erosion i Thyborøn Kanal vurderet ud fra udviklingen i tværsnitsarealet er næsten konstant, skønnes det, at vandføringen vokser.
2. I Sørensen og Ingvarsdens (2007) er der for Løgstør fire 20-års vandstande fra 1981 til 2005 og ingen 20-års vandstande de første 40 år fra 1931 til 1971, selvom der i perioden fra 1931 til 1950 var mere blæsevej. Dette indikerer, at de forhold, der er bestemmende for højvande ved Løgstør, har ændret sig fra perioden før 1970 til efter 1980. En øget tilførsel af vand til Limfjorden, når der er højvande i Vesterhavet, skønnes at bidrage til den tidsmæssige fordeling af 20-års vandstande ved Løgstør.

KI (1975) konkluderer, at den hydrauliske modstand for hele kanalen ikke har ændret sig væsentligt siden 1926, selvom den hydrauliske modstand i selve kanalen er faldet jævnt siden 1937. Heri ses bort fra mindretalsudtalelsen fra Ministeriet for Offentlige Arbejder (1968) om, at den hydrauliske modstand blev formindsket med ca. 13 % i perioden 1946-1956 og med yderligere ca. 5% i perioden 1956-1962.

Da den hydrauliske modstand i selve kanalen er fortsat med at falde, og der ikke er konstateret væsentlige ændringer i fjordløbene, jf. nedenfor, vurderes, at den hydrauliske modstand for hele kanalen er faldet. I vurderingen af den hydrauliske modstand for hele kanalen er det væsentligt at tage hensyn til, at modstanden over fjordgrundene og fjordløbene er næsten nul under stormfloder eller høje vandstande.

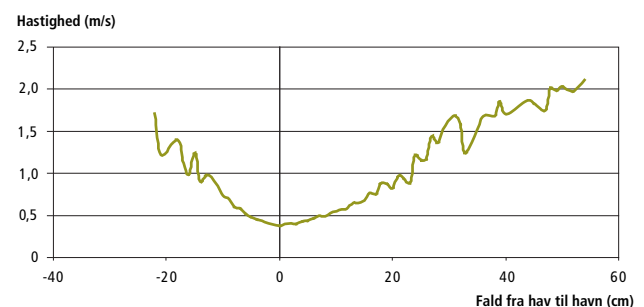
KDI har målt strømmen i Thyborøn Kanal i perioden fra 26/06/1996 til 20/03/1998. Målerens placering ses af Figur 33.

På grundlag af de målte data er den gennemsnitlige strømhastighed beregnet som funktion af forskellen mellem vandstandene målt i havet og i Thyborøn Havn, Figur 34. Ved små forskelle i vandstanden mellem hav og havn er der mange målinger, og den gennemsnitlige strøm er derfor bestemt med stor sikkerhed. Ved store forskelle i

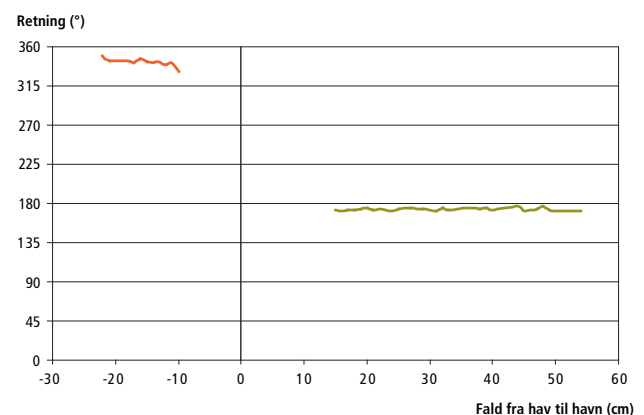
vandstanden er der få målinger, og der er større usikkerhed på den gennemsnitlige strøm. Generelt ses gennemsnitlige strømhastigheder på 1,0-1,5 m/s, når vandstanden er over 15 cm højere i havnen end i havet, og gennemsnitlige strømhastigheder på 1,0-1,5 m/s, når vandstanden i havet er 20-30 cm højere end i havnen, henholdsvis hastigheder på 1,5-2,0 m/s, når vandstanden er over 30 cm højere i havet end i havnen.



Figur 33. Placeringen af strømmåler (2.103) i Thyborøn Kanal.



Figur 34. Den gennemsnitlige strøm i Thyborøn Kanal som funktion af vandstands-forskel mellem hav og havn.

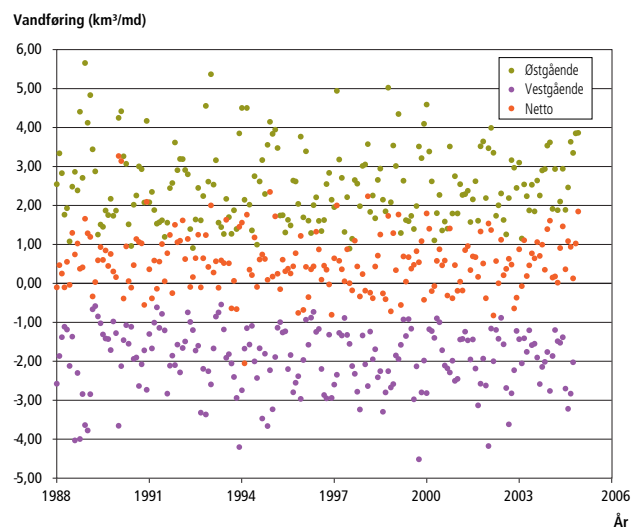


Figur 35. Strømreretning i Thyborøn Kanal som funktion af vandstands-forskel mellem hav og havn.

Strømmens retning er også beregnet for samtlige forskelle mellem hav og havn, Figur 35. Ved et stor vandspejlsfald fra havet til havnen løber strømmen mod syd (170 grader), og ved en lav vandstand i havet løber strømmen mod nord (340 grader). Når den gennemsnitlige forskel mellem hav og havn over en time er mellem -14 og 10 cm, kan der forekomme strøm, der løber den 'forkerte vej', hvorfor en gennemsnitlig retning ikke giver mening.

Der findes en del oplysninger om strømhastigheder, både målte og beregnede, i Thyborøn Kanal i ældre rapporter. Da KDI ikke har en fast vandstandsmåler i Nissum Bredning, og der først efter 1975 er målt vandstande i havet med en permanent måler, er det ikke lykkedes at finde ældre målinger af strømhastighed, der er direkte sammenlignelige med måledata fra 1996 til 1998.

Fra Naturstyrelsen, tidligere Miljøcenter Ålborg (Svend Åge Bendtsen), er modtaget månedlige vandføringer for Thyborøn, Aggersund og Hals fra 1988 til 2004. Tallene viser, jf. Figur 36, at der i hele perioden kommer 511 km³ vand ind ved Thyborøn, men 398 km³ løber ud igen. Det betyder, at det kun er 22 %, svarende til 113 km³ der løber ind i og fortsætter mod øst gennem Limfjorden. Den månedlige netto vandføring varierer fra -2,1 km³ til 3,3 km³, og selvom netto vandføringen beregnes per år, varierer den mellem 2,5 km³ og 12,7 km³.



Figur 36. Månedlige værdier for vandføring ved Thyborøn (Data fra Naturstyrelsen, tidl. Miljøcenter Aalborg).

4.7 Tidevandsprismet

Tidevandsprismet for Thyborøn Kanal er vanskeligt at definere, men det er større end arealet af Nissum bredning gange forskellen mellem middel højvande og middel lavvande.

Ifølge en empirisk beregnet formel er $A_{MSL} = \alpha_A * P$, hvor

A_{MSL} er tværsnitsarealet på det smalleste sted, α_A er $70 \cdot 10^6$ og P er tidevandsprismet.

For det første viser formelen, at tværsnittet burde være vokset med 8 %, da den daglige forskel mellem højeste og laveste vandstand er vokset fra 53 cm i 1975 til 57 cm i 2008, jf. Figur 4. Da tværsnittet er vokset med 18 % fra 1987 til 2005, tyder alt på, at Thyborøn Kanal ikke, som antaget i 1975, var stabil, men fortsat vokser, som det blev erkendt i 1999. For det andet viser formelen, at tværsnittet mindst skal være 9440 m². Da det aktuelle tværsnit kun er 8200 m², forventes at tværsnittet i Thyborøn Kanal fortsat vil vokse.

4.8 Satellit- og luftfoto

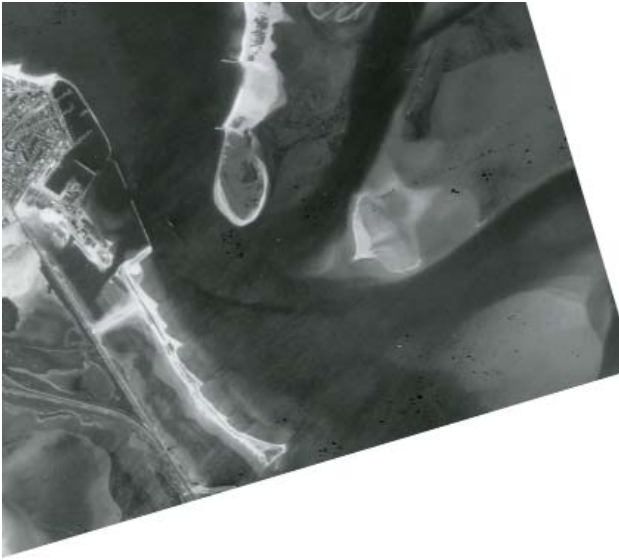
Der er valgt at se på den morfologiske udvikling ud fra satellit- og luftfoto i perioden 1969 til 2005. I 1969 bemærkes især den store bredde af Svanholm og fjordgrunden, der ligger øst for Svanholms sydspids, Figur 37.

På fotoet fra 1984, Figur 38, er det tydeligt, at Svanholm er vokset mod syd, mens den vestlige del af Svanholm er eroderet. Heraf ses også, at Langholm Løb og Gåseholm Løb løber ud i Thyborøn Kanal syd for Thyborøn Havn og tvinger ebbestrømmen i Thyborøn Kanal til at løbe tæt forbi Thyborøn Havn.

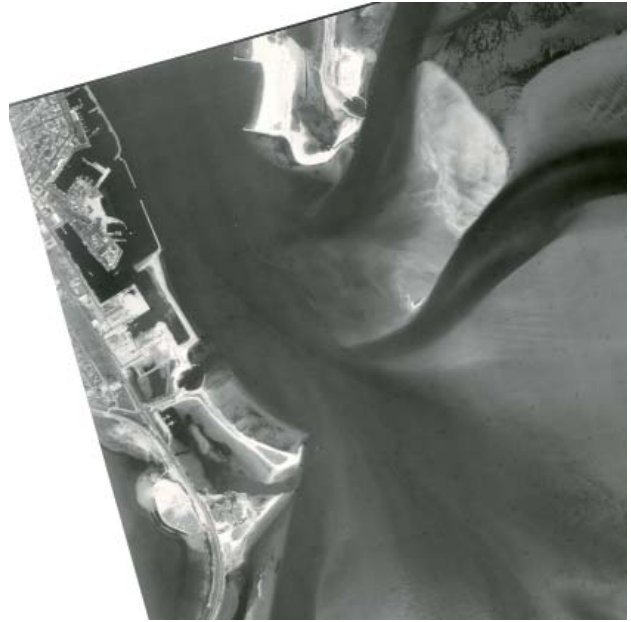
I 1986 ses en kraftig erosion syd for hofde 65, og Svanholm er blevet meget smal, Figur 39. De mange lokalmålinger af Svanholm viser, at den sydligste del af Svanholm vokser mod vest, indtil indvindingen af sand påbegyndes i 1983.

I 1990 er Svanholm næsten væk, og udløbet fra Langholm Løb befinder sig nu, hvor Svanholm lå tidligere, og den grund, der lå øst for sydspidsen af Svanholm, er næsten væk, Figur 40. Udløbet fra Gåseholmløb ligger endnu øst for færgelejet på Thyborøn-siden.

På det seneste foto fra 2005 er det tydeligt, at Gåseholmløbet har fundet et nyt udløb umiddelbart syd for hofde 65, Figur 41.



Figur 37. Foto, Thyborøn Kanal, 1969.



Figur 40. Foto, Thyborøn Kanal, 1990.



Figur 38. Foto, Thyborøn Kanal, 1984.



Figur 41. Foto, Thyborøn Kanal, 2005.



Figur 39. Foto, Thyborøn Kanal, 1986.

4.9 Sammenfatning

Udviklingen af Thyborøn Kanal er analyseret og vurderet ud fra tværsnit, pejleplaner og differensplaner, og høfde målinger er anvendt til at beskrive kystlinjens udvikling. Endvidere er udvikling i strømforhold og i tidevandsprismet vurderet.

Med inddragelse af ældre undersøgelser er det vist, at tværsnittet af Thyborøn Kanal løbende udvides. I perioden 1910–2005 ses en samlet forøgelse i tværsnittet med 150 %. I løbet af 1980'erne forsvinder Svanholm, primært som resultat af sandindvinding i området. Erosionen fortsætter, efter at Svanholm er forsvundet. I takt med erosionen af Svanholm ses, at det smalleste sted gradvist flytter længere ud i kanalen, hvilket betyder en forøgelse af det mindste tværsnit med 2000 m³.

Både de maksimale dybder og de generelle dybder er løbende øget. Fra en besejlingsdybde på under 7 m i 1914, øges denne gradvist til 7 m i 1966, 8 m i 1988 og 9 m i 2000. En flytning af kanalens hovedløb mod øst har dog betydet, at der ikke har været en naturlig 9 m besejlingsdybde ind til Thyborøn Havn de seneste år, hvor opgravning af sediment har været nødvendig.

Ud fra differensplaner mellem de gentagne opmålinger i perioden 1987-2008 er flytningen af kanalen dokumenteret, dels ved de store aflejringsmængder foran havneindsejlingen og dels ved erosion øst herfor, hvor Thyborøn Kanal (hovedløbet) gradvist over en 2 km strækning har flyttet sig mod øst væk fra indsejlingen til Thyborøn Havn.

Samlet set er der beregnet en netto erosion i området på omkring 0,23 mio. m³/år i perioden 1987–2008, svarende til i alt omkring 4,9 mio. m³.

Målinger af kystlinjen støtter ovenstående vurdering af tilsanding foran havnen og forflytning af kanalen mod øst. Der sker i gennem-

snit tilvækst på vestsiden af kanalen. Tilsvarende synes høfderne på østsiden at virke efter hensigten, idet der opsamles sand på opstrøms side, og sandet næsten når ud til høfdeenderne på samtlige høfder. Der ses dog erosion nedstrøms høfde 65, der vurderes at hænge sammen med gentagne afkortninger af høfderne.

Ud fra antagelser om og målinger af vandføring og strøm i kanalen, vurderes, at den hydrauliske modstand for kanalen som helhed er faldet. Vandføringsmålinger fra 1998-2004 viser, at af det vand, der løber ind i Limfjorden, løber 22 % mod øst gennem fjorden, mens den resterende del løber ud igen gennem Thyborøn Kanal.

Thyborøn Kanal er vokset gennem tiden. En generel betragtning vedrørende tidevandsprismet i Nissum Bredning, sammenholdt med de øvrige opmålinger og analyser i kanalen, gør, at det forventes, at tværsnittet i Thyborøn Kanal fortsat vil vokse fremover.

Kysttekniske analyser

En primær årsag til at Svanholm er forsvundet, er, som tidligere fastslået, indvindingen af sand på og ved Svanholm. For at udelukke at det kan være tilførsel af sand fra Limfjordstangerne, er fodring på og erosion af Limfjordstangerne undersøgt for at se, om der er et markant skift i 1983, der kan korreleres med udviklingen af Svanholm. Før 1983 er den sydvestligste del af Svanholm under udbygning, og efter 1983 sker der kraftig erosion af Svanholm.

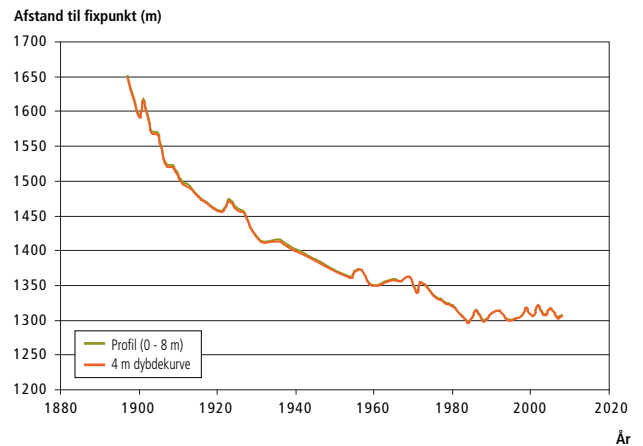
5.1 Sedimenttilførsel

For at undersøge om tilførslen af sand til Thyborøn Kanal har ændret sig med tiden er tilbagerykningen og de tilførte sandmængder undersøgt for 3 delstrækninger på vestkysten. Da fastlæggelse af materialevandringens nulpunkter langs vestkysten har en væsentlig indflydelse på resultatet, er de officielle nulpunkter taget fra KI (1999). Ved at dele strækningen fra Thyborøn til Ferring sø i to delstrækninger er det muligt at vurdere, hvor meget fastlæggelse af nulpunktet betyder for tendensen i udviklingen.

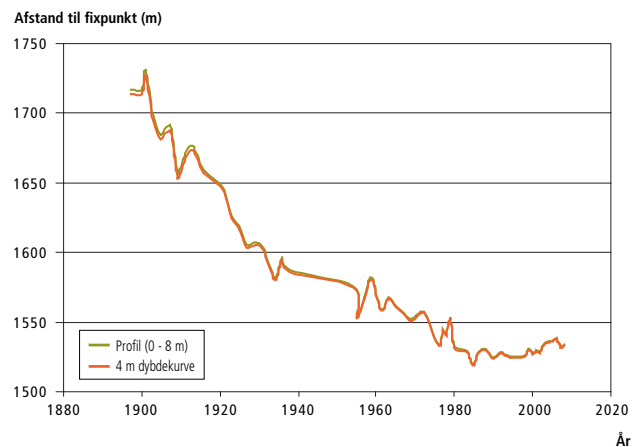
Til beregning af sandmængderne er sandprocenterne fra KDI (2001) benyttet. Da der udelukkende ses på ændringer i tilførslen af sand til Thyborøn Kanal, er bidraget for områder med en dybde over 8 m ikke medtaget. Det betyder, at de beregnede mængder er mindre end de, der rent faktisk kommer ind i Thyborøn Kanal. Det ville være ønskeligt at beregne tilførslen af sand per år som eroderet sandmængde plus tilført fodringssand, men dette er ikke muligt, da standardafvigelsen på målingerne er for stor. Sandmængden beregnes i stedet som følger: Først beregnes tilbagerykningen af profilet fra kote 0 til kote -8 m, jf. Figurene 42-44. Herefter beregnes den gennemsnitlige tilbagerykning for 4 perioder. Den gennemsnitlige tilbagerykning ganges med profilets højde, svarende til 12 m (fra kote -8 m til +4 m), strækningens længde og den gennemsnitlige sandprocent.

Der er generelt stor erosion fra 1897 til 1980, hvorefter erosionen aftager på grund af sandfodring. Alle tre strækninger har haft en gennemsnitlig fremrykning af profilet i den sidste periode. Den totale fremrykning på 79 m fra 1897 til 1900 fra Langerhuse til Ferring Sø (KI-linje 4350 til 4520) betragtes som en fejl, da det anses for usandsynligt, at der er aflejret $79 \cdot 8 \cdot 11360 = 7,2$ mio. m^3 sand på strækningen på 3 år. Fejlen er, at pælene, man målte fra, først blev indmålt i 1913, og en række pæle forsvandt, inden de blev indmålt. Da KDI har større erfaring med vestkystens udvikling i dag end i 1913, kan fejlen sandsynligvis reduceres ved hjælp af gamle kort.

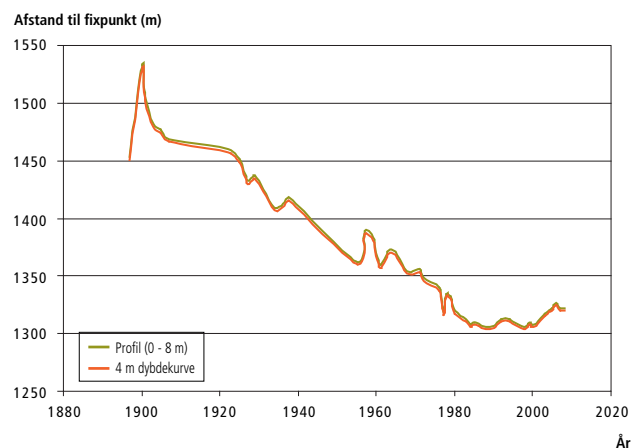
For at reducere bidraget fra måleøjagtigheder er sandtransporten fra de 3 delstrækninger og ind i Thyborøn Kanal opdelt i 5 perioder 1897-1927, 1927-1957, 1957-1986, 1986-1996 og 1996-2008, Figur 45.



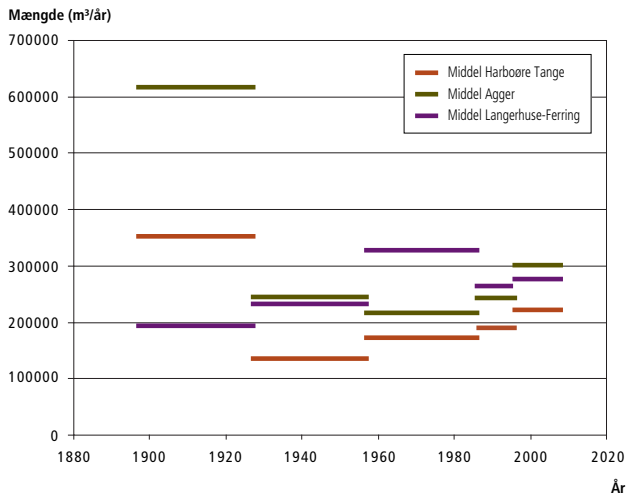
Figur 42. Profiltilbagerykning, Agger Tange, 1897-2008.



Figur 43. Profiltilbagerykning, Harboøre Tange, 1897-2008.



Figur 44. Profiltilbagerykning, Langerhuse-Ferring Sø, 1897-2008.



Figur 45. Gennemsnitlig transport af sand til Thyborøn Kanal fra tre vestkyststrækninger: Agger Tange hhv. Harboøre Tange og Langerhuse-Ferring. Transporten er opdelt i 5 delperioder mellem 1897 og 2008.

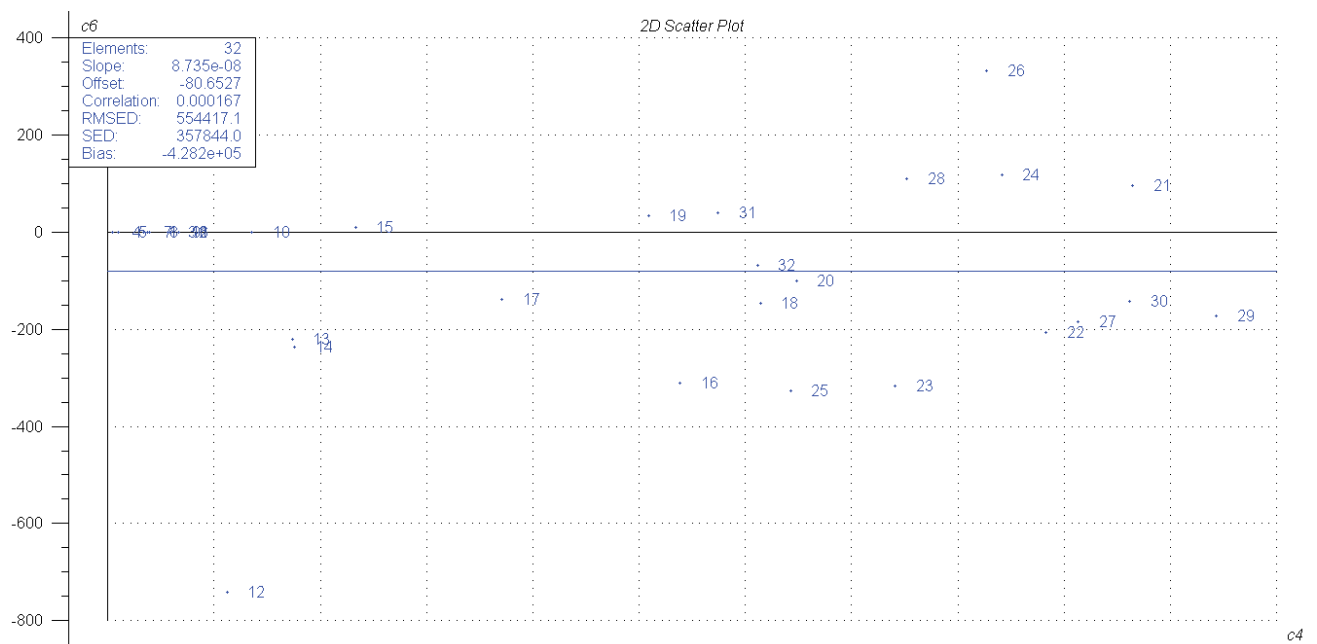
Transporten er beregnet som gennemsnitlig erosion plus gennemsnitlig fodring i perioderne. Generelt er transporten aftaget fra perioden 1897-1927 til perioden 1927-1957. At det ikke gælder for strækningen fra Langerhuse til Ferring skyldes ovennævnte fejlbehæftede fremrykning fra 1897 til 1900 på ca. 80 m. Forklaringen på, at transporten ind i Thyborøn Kanal falder, er, at høfderne blokerer for en stadig større del af sedimenttransporten, når profilet bliver stejlere, og høfdelængden bevares. Desuden medvirker den naturlige forlængelse af den undersøiske del af høfden også begrænsende på transporten.

Fra den næstsidste periode 1986-1996 til den sidste periode 1996-2008 ses for alle tre delstrækninger et øget bidrag til transporten ind i kanalen. For to af strækningerne er bidraget til transporten

ind i kanalen steget de seneste tre perioder af flere grunde: For det første er påvirkningen fra vind og bølger steget siden 1950, for det andet vil Thyborøn Kanals stigende vandføringsevne øge erosionen af Limfjordstangerne, og for det tredje 'gavner' fodringer de nedstrøms strækninger. Grunden til at fodringer 'gavner' nedstrøms strækninger er, at transportkapaciteten ikke kan udnyttes, hvis dele af erosionen foregår i ler. Når en strækning er fodret, vil der normalt være sand i hele profilet og transportkapaciteten kan potentielt udnyttes 100 %.

Tilførslen af sand til Thyborøn Kanal er forøget fra perioden 1957-1986 til den efterfølgende periode 1986-1996. Det virker ikke sandsynligt, at en lille stigning i den tilførte sandmængde fører til erosion i nordsiden af kanalen og aflejring i sydsiden af kanalen. For det første er forøgelsen i sandmængden af samme størrelsesorden både syd og nord for kanalen, og for det andet burde tilførslen af sand fra Agger Tange aftage, hvis dette skulle forklare, at Svanholm forsvinder.

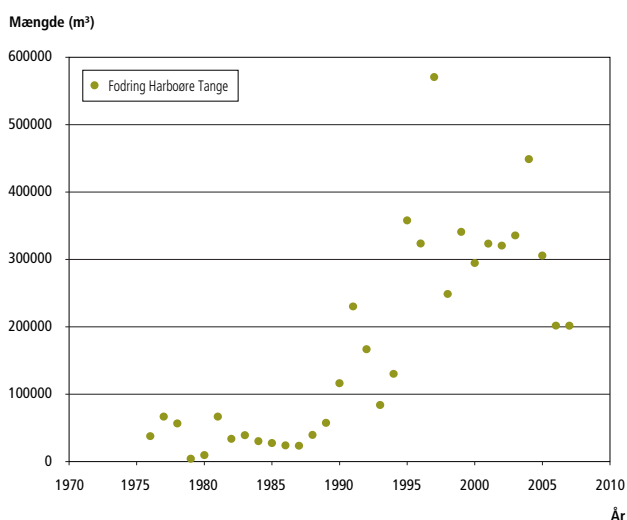
Erosionen af Svanholm kan beregnes på flere måder. Undersøgelser viser, at Svanholm er stabil eller vokser indtil 1983, hvorefter Svanholm forsvinder på få år. Længden af Svanholm og 8 m kurven i et tværsnit syd for høfde 65 har været overvejet som beskrivende parameter, men valget er faldet på erosionen beregnet på grundlag af den lokale måling af Svanholm. Erosionen beregnes fra linje 50000 til linje 50900 i afstande fra 800 m til 1500 m under kote -1 m. Den årlige fodring fra vestkystlinje 4210 til linje 4520 er sammenlignet med erosionen i dette område, Figur 46. Figuren viser, år for år, sammenhængen mellem fodring på Harboøre Tange og den årlige erosion. Afbildningen af datasættene er tilfældig, og der er således ingen korrelation mellem fodringerne på Harboøre Tange og erosionen ved Svanholm. Det samme er tilfældet med korrelationen mellem fodringen på Agger Tange og erosionen af Svanholm (ikke afbildet).



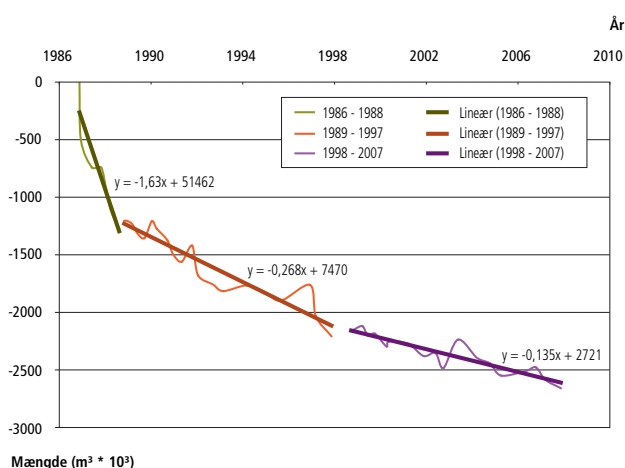
Figur 46. Scatterplot, der viser, at der ikke er sammenhæng mellem fodringsmængder på Harboøre Tange og erosion ved Svanholm, jf. tekst

Ses på fodringen på Harboøre Tange, Figur 47, og erosionen ved Svanholm, Figur 48, hver for sig, er det også svært at se nogen sammenhæng. Fodring på Harboøre Tange starter i 1976, og der er ingen markant ændring i fodringsindsatsen i 1983, der kan forklare, at Svanholm pludselig begynder at forsvinde. Fodringen på Agger Tange (ikke vist) udviser tilsvarende ingen sammenhæng med erosionen ved Svanholm.

Erosionen af Svanholm er begyndt, eller forstærket, ved indvinding af sand i Thyborøn Kanal, og den største erosion foregår i perioden fra 1986 til 1988, samtidig med at der indvindes sand. Det er dog tydeligt, at erosionen af Svanholm fortsætter efter, at indvinding ophører i 1991. Forklaringen på den fortsatte erosion er, at Thyborøn Kanal er flyttet 300 m mod øst, og Gåseholmsløb er flyttet 800 m mod nord fra 1983 til 2005. Flytningen af Gåseholmsløb, og i mindre grad Langholmløb, betyder, at forholdene fra før 1983 ikke gendannes, selvom indvindingen af sand i kanalen er ophørt. Ændringerne omkring Svanholm betragtes som irreversible. Det er teoretisk muligt at genskabe forholdene fra før 1983, men økonomisk anses det for urealistisk.



Figur 47. Sandfodring på Harboøre Tange (linje 4210–4520).



Figur 48. Udvikling i erosionsmængder ved Svanholm, 1986–2008, samt de gennemsnitlige rater i tre perioder, jf. tekst.

5.2 Ændring af løb og flader i fjorden

Gennembruddene af Limfjordstangerne har haft stor betydning for udviklingen af især de nærmeste fjordområder, dels som følge af en total ændring af strømbilledet i fjorden, dels som følge af aflejring af store mængder materiale, der gennem løbene er blevet tilført fjorden. At Thyborøn Kanal har fået så stor dimension hænger sammen med, at arealet af den vestlige Limfjord/Nissum bredning er stort, og at gennembruddet skete ud for de dybere områder af Nissum Bredning.

Omkring år 1900 findes tre hovedløb; Sælhundeholmsløb, Gåseholmsløb og Kobberødløb, som stadig eksisterer i dag. For at beskrive udviklingen siden 1917 er 'løbsmidterne' til forskellige tidspunkter frem til 2005 optegnet, og løbsbevægelserne er indikeret ved pile, Tegning 26.

Indtil 1937 sker en del ændringer af løbenes beliggenhed, hvorefter der iagttages en jævn udviklingstendens for de 3 nævnte hovedløbs vedkommende, når der ses bort fra området omkring Svanholm. Kobberødløbs beliggenhed udviser udpræget grad af stabilitet. Det har således i de sidste ca. 70 år haft næsten samme beliggenhed i hele løbets længde. Strækningen mellem Kobberødløb og Svanholm, der kaldes Langholmløbet, har dog haft en vandring mod NV på ca. 200 m.

For Gåseholmsløbs vedkommende er der i hele den undersøgte periode sket en jævn omlejring af løbet. Den del af løbet, der ligger nærmest kanalen, har foretaget en jævn sydgående vandring fra 1917 til et tidspunkt mellem 1972 og 1987, sandsynligvis 1983. Mellem 1972 og 1987 begynder denne del af løbet at vandre mod nord/finde et nyt løb 800 m mod nord. Det er denne flytning, der er med til at gøre det meget vanskeligt at få gendannet Svanholm. Den del af Gåseholmsløbet, der ligger længere inde i fjorden, har foretaget en stor nordgående vandring på ca. 500 m fra 1937 til 1972. Fra 1972 til 2005 vandrer kanalen lidt mod nord.

Sælhundeholmsløbet udviser også en betydelig men jævn vandring i den undersøgte periode. Således har ca. 1500 m af den midterste del af løbet i perioden 1937 til 2005 foretaget en vandring af størrelsesordenen 500 m. I den sydligste del af Sælhundeholmsløbet sker der en forsat tilsanding, hvorfor det her er nødvendigt at foretage jævnlige oprensninger.

I KI (1995) er gjort forsøg på at forudsige beliggenheden af 8 m kurven i 2000 og 2005, Tegning 27 og Tegning 28. Forudsigelsen på Agger Tange-siden stemmer fint overens med den observerede udvikling. Mellem høfde 72 og 68 er der, som forudsagt, sket en kraftig tilbagerykning af 8 m kurven. Syd for høfde 66 og 65 er der også, som forudsagt, sket en kraftig tilbagerykning af 8 m kurven. Mellem høfde 68 og 66 er der, som forudsagt, sket meget lidt.

På Thyborøn-siden er der forudsagt en fremrykning af 8 m kurven ud for høfde 61. Der har været en fremrykning af 8 m kurven i dette område, men fremrykningen vandrer ind i kanalen og er i 2008 ud for høfde 63. En fremrykning af 8 m kurven foran indsejlingen er forudsagt, men den meget kraftige fremrykning af 8 m kurven syd for indsejlingen til Thyborøn Havn er ikke forudsagt, selvom der har været en meget kraftig fremrykning fra 1987 til 1995, og fremrykningen følger tilbagerykningen af 8 m kurven ved Svanholm.

5.3 Sammenfatning

Der har ikke kunnet findes en årsagssammenhæng mellem udviklingen på vestkysten, herunder inddragelse af sandfodringsmængder de seneste årtier, og erosionen i området ved Svanholm begyndende i 1980'erne. Her ses den største erosion fra 1986 til 1988, samtidig med at der indvindes sand, og erosionen fortsætter efter ophør af indvinding i 1991. Forklaringen på den fortsatte erosion er, at Thyborøn Kanal er flyttet 300 m mod øst, og Gåseholmsløb er flyttet 800 m mod nord fra 1983 til 2005. Ændringerne omkring Svanholm betragtes som irreversible.

Der er sket og sker løbende import af sediment til Limfjorden, der aflejres på fjordgrundene. Dette har naturligvis medført en opbygning samtidig med, at placeringen af løbene Sælhundeholmsløb, Gåseholmsløb og Kobberødløb ændrer sig. Løbenes vandring er dokumenteret.

KI (1995) har forudsagt beliggenheden af 8 m kurven i 2000 og 2005 med nogen succes. Den store fremrykning foran indsejlingen til Thyborøn Havn er dog ikke forudset.

Konklusioner

Udgangspunkt for analyserne har været ønsket om en øget forståelse af udviklingen i Thyborøn Kanal og af sammenhænge mellem udviklingen i kanalen og vandstanden i Limfjorden. Hovedtræk af Thyborøn Kanals udvikling er beskrevet, og analyserne har fokuseret på ændringer i de morfologiske forhold, herunder de udførte anlægsarbejders indvirkning, og på de hydrografiske forhold i kanalen. Hovedvægten i analyserne er lagt på sammenhængen mellem sandindvinding i kanalen fra 1986 til 1991, afkortning af høfderne på Agger Tange-siden, erosion af Svanholm, sandfodring på Limfjordstangerne, beliggenhed af fjordløbene og tilsanding foran Thyborøn Havn.

Som nævnt i indledningen, baserer denne tekniske rapport på undersøgelser udført i 2009. Delresultater herfra er anvendt til at specificere yderligere undersøgelser for Thyborøn Kanal og den vestlige Limfjord, der afrapporteres/er afrapporteret i beslægtede tekniske rapporter og beslutningsnotater fra Kystdirektoratet. I nedenstående konklusioner gives derfor kun i begrænset omfang plads til anbefalinger, idet disse allerede indgår i de videre analyser andetsteds.

I årtierne efter kanalens dannelse sker en kraftig udvikling med erosion langs vestkysten og udvikling i kanalen. I takt med de store kystbeskyttelsesarbejder, først på vestkysten og senere i kanalen, bliver Thyborøn Kanal fikseret i, stort set, samme position frem til 1983. Det er væsentligt for forståelsen af udviklingen, at Thyborøn Kanal uden menneskeligt indgreb vil vandre mod nord, fordi tilførslen af sand til kanalen fra syd er ca. 3 gange så stor som tilførslen af sand fra nord.

Analysen viser, at tværsnittet og dermed vandføringsevnen i Thyborøn Kanal er vokset væsentligt siden 1862, herunder i perioden 1950-1983. I perioden 1983-2008 er kanalen vandret mod nord og øst, og vandføringsevnen er fortsat med at vokse. KI (1975) vurderer, at kanalen i hovedsagen er stabil i retning og tværsnit, og at den fremtidige opgave vil være at bibeholde den opnåede stabilitet. Dette planlægges i 1975 opnået ved at vedligeholde de eksisterende høfder. Det står dog nu klart, at kanalens tværsnit, og dermed også vandføringsevnen, er vokset i lang tid også før 1975.

Kanalens beliggenhed var stabil fra 1950erne til 1983, men Thyborøn Kanal (sejlløbet) har flyttet sig ca. 300 m mod øst ud for Thyborøn Havn fra 1983 til 2009. Kanalens flytning mod øst har medført en nødvendig oprensning foran Thyborøn Havn i 2007 og i 2008 for at bevare besejlingsdybden. Grunden til det opståede behov for oprensning er, at Thyborøn Kanal endnu ikke har afsluttet flytningen mod øst, og en væsentlig del af aflejringen foran Thyborøn Havn fra 1983 til 2006 er foregået mellem 8 og 14 meters dybde. En væsentlig grund til, at Thyborøn Kanal er begyndt at vandre mod øst ud for Thyborøn Havn, er indvinding af sand i kanalen i 1980erne. Dette har medført, at Svanholm er forsvundet, og at fjordløbene har flyttet sig. Afkortning af høfderne på Agger Tange-siden, og specielt afkortning af høfde 65, har ikke medført en gendannelse af Svanholm, men har forstærket kanalens vandring mod øst.

I perioden 1950-1983 var det muligt at fastholde kanalens beliggenhed. Udbygning af høfderne til de længder, de havde før 1983, vil tvinge Thyborøn Kanal tilbage mod den tidligere beliggenhed af kanalen. Den udvikling, der tidligere er sket med Thyborøn Kanal, har vist, at det er muligt at fastholde beliggenheden af kanalen ved hjælp af høfder. Intet tyder dog på, at høfderne forhindrer kanalens tværsnit og vandføringsevne i at vokse.

Netop en fortsat øgning i vandføringsevnen vil, ifølge analysen, påvirke stormflodsvandstandene i den vestlige Limfjord. Fremadrettet bør der derfor arbejdes med løsninger for kanalen, der som minimum formår at fastholde den nuværende vandføring. Samtidig bør de positive og negative effekter af Thyborøn Kanals flytning og eventuelle udvidelse undersøges nøje, herunder besejlingsforholdene til Thyborøn Havn. Blandt andet begrundet i flytningen af det mindste tværsnit mod nord og vest i kanalen, bør en generel sandindvinding ud for Thyborøn By, der vil øge vandføringen, undgås, udover nødvendige oprensninger. Da det er meget store sandmængder (~ 900.000 m³/år), der passerer forbi indsejlingen til Thyborøn Havn, kan det ikke udelukkes, at oprensningsbehovet er stigende.

Tiltag til at begrænse udviklingen i tværsnit og vandføringsevne bør sættes i forhold til nedsat erosion på Limfjordstangerne, tilsanding foran havnen og stormflodsvandstande i Thyborøn by og Limfjorden. Det anbefales, at den voksende vandføring i Thyborøn Kanal dokumenteres ved hjælp af målinger og nye beregninger. Desuden bør virkningen af den øgede vandføring på hele Limfjorden og besejlingsdybden undersøges og sammenholdes med virkningen på miljøet af de arbejder, der skal udføres, hvis vandføringen skal nedsættes. Det kunne i denne forbindelse være ønskeligt, at der installeres en vandstandsmåler øst for fjordgrundene, og at der opstilles et måleprogram med en strømmåler til at fastlægge vandføringen i Thyborøn Kanal under forskellige forhold.

KI (1995) bemærker, at der indtil 1995 ikke har eksisteret en egentlig handlingsplan for vedligeholdelsen af høfderne langs Thyborøn Kanal. Vedligeholdelsen, herunder justeringen af høfdelængder, er blevet udført ud fra en løbende vurdering af den enkelte høfdes tilstand sammenholdt med kystudviklingen omkring høfden. Dette er korrekt, idet opgaven ifølge KI (1975) dog er at bibeholde den opnåede stabilitet i forhold til Thyborøn Kanals retning og tværsnit. Dette gøres ved fortsat at vedligeholde de eksisterende høfder i kanalen og forklarer strandfodringerne i perioden 1982-1987 af vestsiden af Svanholm syd for høfde 67. I 1995 var målsætningen ud for Thyborøn, at der ikke må forekomme kysttilbagerykning mellem havnen og høfde 59. På Agger Tange-siden tages der i 1995 ikke hensyn til fastholdelse af Thyborøn Kanal men kun til beskyttelse af vej og færgehavn, og målsætningen er således en kontrolleret tilbagerykning. Tilbagerykningen af Svanholms kystlinje startede i 1983 og er fortsat til 2009. Dette vurderes at medvirke til tilsandingen ved Thyborøn Havn og til forøgelsen af kanalens mindste tværsnit.

Fremadrettet kunne målsætningen for kystbeskyttelse på Harboøre Tange-siden af kanalen være, at sikkerhedsniveauet fra 1995 mht.

kystlinjens placering opretholdes, mens kystlinjen på Agger Tangesiden fastholdes på nuværende placering og, om muligt, flyttes mod vest. De nuværende høfder vedligeholdes, og en evt. udbygning af disse indgår i den videre vurdering, herunder en etapevis udbygning af høfde 65. Her bør undersøges, om det er nødvendigt at bundsikre et større område omkring høfdeenden for at forhindre, at der eroderes i bunden af kanalen i stedet for i vestsiden af kanalen.

Der er ikke fundet signifikante sammenhænge mellem fodringerne på Limfjordstangerne og flytningen af Thyborøn Kanal eller mellem ændringer i vinden og flytningen af Thyborøn Kanal.

Flytningen af Gåseholmsløb, Langholmsløb og Thyborøn Kanal har medført så store ændringer i strømforholdene, at det anses for usandsynligt at Svanholm naturligt vil gendannes.

For øvrige forhold vedrørende løsningsforslag til håndtering af udviklingen i Thyborøn Kanal fremover, herunder forlængelse af høfde 58/59 og/eller 72, etablering af højvandsbarriere mv.; og problemer med tilsanding foran havnen, henvises til øvrigt materiale udgivet af Kystdirektoratet.

Referencer

- 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. 85 s. – Faglig rapport fra DMU, nr. 578.
- DTH, 1961. Vandstandsforhold i Limfjorden med åben og lukket Thyborøn Kanal. Laboratoriet for havnebygning. Danmarks Tekniske Højskole. Thyborønudvalget af 1957. Rapport no. 4. Oktober 1961.
- Hollebrandse, F.A.P., 2005. Temporal development of the tidal range in the southern North Sea. Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands.
- KDI, 2001. Sedimentbudget Vestkysten. Kystdirektoratet.
- KDI, 2002. Højvandsstatistikker 2002. Kystdirektoratet.
- KDI, 2003. Vestkysten '02. Kystdirektoratet.
- KI, 1975. Limfjordstangerne, 1975. Kystinspektoret.
- KI, 1995. Thyborøn Kanal 1995. Kystinspektoret.
- KI, 1997. Højvandsstatistikker '97. Kystinspektoret.
- KI, 1999. Thyborøn 25 års eftersyn. Kystinspektoret.
- Larsen, T. og Beck, J.B., 2009. Stormflodsvandstande i Limfjorden ved lukning af Thyborøn Kanal. Teknik & Miljø (Stads- og Havneingeniøren) 2009(1), 54-57.
- Miljøstyrelsen, 1991. Danmarks vindklima fra 1870 til nutiden. Havforskning fra Miljøstyrelsen nr. 2. 1991.
- Ministeriet for Offentlige Arbejder, 1968. Betænkning vedrørende Thyborøn Kanal, Betænkning nr. 472 fra udvalget af 2. marts 1957.
- Siegismund, F. og Schrum, C., 2001. Decadal change in the wind forcing over the North Sea. Climate Research, 18, 39-45.
- Sørensen, C. og Ingvarsen, S.M., 2007. Højvandsstatistikker 2007. Kystdirektoratet.
- Thyborønudvalget, 1959. Stormflodsvandstande i Limfjorden med åben Thyborøn Kanal.
- Thyborønudvalget af 1957. Laboratoriet for Havnebygning, Danmarks Tekniske Højskole. Rapport no. 3.

