

# Risikoanalyse af en klitbeskyttet kyst



**Kystdirektoratet**  
Danish Coastal Authority



Projekt	Risikoanalyse af en klitbeskyttet kyst
Startdato:	01.07.2002
Slutdato:	30.06.2006

Projektgruppe:	
Projektansvarlig (PA):	Per Sørensen
Projektleder (PL):	Holger Toxvig Madsen
Projektmedarbejdere (PM):	Søren Bjerre Knudsen Jens Bech Jørgensen Irene Andersen
Timeregistrering	11524
Kontering	11524
Godkendt af	<i>Per Sørensen</i>
Nøgleord	Risikoanalyse, sårbarhedsvurdering, klitbrud, oversvømmelse
Distribution	Internt, Transport- og Energiministeriet, www.kyst.dk, Det Kongelige bibliotek



## **Risikoanalyse af en klitbeskyttet kyst**

**Juni 2006**



# INDHOLD

## Referencer

<b>1 Indledning</b> .....	<b>2</b>
<b>2 Resumé</b> .....	<b>4</b>
<b>3 Beskrivelse af en risikoanalyse</b> .....	<b>7</b>
<b>4 Sårbarhedsvurdering</b> .....	<b>9</b>
4.1 Indledning .....	9
4.2 Beskrivelse af området.....	9
4.3 Sårbarhedsvurdering .....	11
4.3.1 Indledning.....	11
4.3.2 Skader på bygninger med indhold.....	11
4.3.3 Markskader .....	14
4.3.4 Skader på offentlige anlæg.....	16
4.3.5 Driftstab .....	17
4.3.6 Skader på klitbarrieren.....	19
4.3.7 Den samlede skade i forhold til oversvømmelsesvandstanden.....	20
<b>5 Fastlæggelse af sandsynligheden for oversvømmelse</b> .....	<b>21</b>
5.1 Indledning .....	21
5.2 Metodebeskrivelse .....	21
5.2.1 Indledning.....	21
5.2.2 Vandstandsstatistik og vandstandsforløb under storm .....	21
5.2.3 Data vedrørende skrænttilbagekningen .....	23
5.2.4 Skrænttilbagekningen for meget høje vandstande.....	25
5.2.5 Klitbarrieren og magasinvolumenet i baglandet .....	27
5.2.6 Fastlæggelse af klitbrud og beregning af indstrømningen .....	28
5.3 Sammenfatning af indstrømningsberegningerne .....	29
<b>6 Beregning af oversvømmelsesrisikoen</b> .....	<b>31</b>
6.1 Indledning .....	31
6.2 Beregning af risikoen .....	31



## REFERENCER

Kystinspektoret (1980). Holmsland Klit 80.

Kystinspektoret (1998). Oversvømmelsesscenarier.

Kystdirektoratet (2002). Højvandsstatistikker 2002.

Sekretariatet for Udvalget vedrørende sikkerhedsforanstaltninger mod stormflodsfaeren ved havdigerne i Tønder og Ribe amter (1973). Forstærkning af havdigerne i Tønder og Ribe amter. - Økonomisk vurdering.

Trafikministeriet (2003). Manual for samfundsøkonomisk analyse – anvendt metode og praksis på transportområdet.

Vellinga P. (1982). Beach and dune erosion during storm surges. Coastal Engineering, Vol. 6, 1982.

Visser P.J. (1998). Breach growth in sand-dikes. Ph.D.-afhandling.

### Indledning

Sikkerheden mod gennembrud af klitbarrieren på strækningen Lodbjerg - Nymindegab på den jyske vestkyst er mindst 100 år. Det betyder, at barrieren kan modstå storme med vandstande op til 100 års middeltidsafstand. Kontrollen af, at sikkerheden på et givet tidspunkt er til stede, sker ved at undersøge, om klitbredden målt mellem indre og ydre 5 m højdekurve er mindst 40 m. De 40 m er fremkommet ved analyse af klitfodstilbagerykningen under storme i slutningen af 1980'erne og begyndelsen af 90'erne. Analysen viste, at den maksimale tilbagerykning ville være 30 m. Dertil blev så lagt et sikkerhedstillæg på 10 m.

Metoden er let at anvende i praksis, og det har kunnet konstateres, at der ikke har været gennembrud i den periode, kriteriet har været anvendt. Der var således heller ikke gennembrud under orkanen den 8. januar 2005, hvor de registrerede vandstande på den nordlige del af strækningen havde en middeltidsafstand på ca. 100 år.

Selv om der altså ikke sker gennembrud ved vandstande med op til 100 års middeltidsafstand, er der naturligvis risiko for barrierегennembrud ved endnu sjældnere og dermed højere vandstande. Ved gennembrud vil der strømme vand ind i det lave område inden for klitbarrieren, og vandspejlsniveauet i området vil være afgørende for de totale skader.

I det foreliggende projekt kvantificeres risikoen. Ved at udsætte kysten for vandstande med varierende middeltidsafstand og bestemme indstrømningsmængden kan man beregne sandsynligheden for at få et vandspejl i f.eks. kote +3 m inden for klitbarrieren. For at få vandspejlsniveauer op til +5 m inden for klitbarrieren skal kysten udsættes for vandstande med fra 100 til 3 mio. års middeltidsafstand.

Uafhængigt heraf bestemmes den potentielle skade i baglandet i forhold til oversvømmelsesvandstanden. Skaden vokser selvfølgelig med vandstanden, og ved for de forskellige oversvømmelsesvandstande at akkumulere produktet af skadens størrelse i kr. og den lille sandsynlighed pr. år for vandstanden, fremkommer den såkaldte risiko, der er et beløb med enheden kr./år.

Metodeudviklingen og risikoberegningen er gennemført for strækningen fra Husby til Nymindegab. Der er under projektet gennemført en tilsvarende metodeudvikling for et dige, og en risikoberegning er gennemført for Ribe Kog, se rapporten "Risikoanalyse af et digebeskyttet område".

Projektet har samarbejdet med EU-projektet Comrisk, og fælles produkter er rapporteret under dette projekt. Det drejer sig om en oversigt over praksis for risikoanalyser i andre lande samt en behandling af skadepotentialet i Ribe Kog.

Hele projektet er gennemført i perioden 2002-06, og det indgår i Kystdirektoratets udviklingsprogram KUP for denne periode.

### Resumé

Rapporten indledes med en beskrivelse af, hvad der forstås ved en analyse og beregning af oversvømmelsesrisikoen. Det er de meget høje vandstande, hvor der kan ske brud på klitbarrieren, der er interessante i denne sammenhæng. For at kunne beregne risikoen for oversvømmelse skal der først gennemføres to af hinanden uafhængige delanalyser:

- En sårbarhedsvurdering der består af en opgørelse i kr. af den potentielle oversvømmelsesskade i baglandet i forhold til vandstanden her. Skaden vokser naturligvis stærkt med vandstanden.
- Fastlæggelse af sandsynligheden pr. år for oversvømmelse af baglandet til forskellige vandspejlsniveauer. Der skal altså bestemmes sandsynligheder for, at vandstanden når f.eks. +2, +3, +4 og +5 m.

Risikoen kan herefter beregnes ved at integrere produktet af skade og sandsynlighed pr. år for skaden. Resultatet bliver et beløb pr. år, og beløbet angiver forventningsværdien for den årlige oversvømmelsesskade.

Det er valgt at gennemføre risikoberegningen for strækningen Husby – Nymindegab, hvor højvandsbarrieren næsten på hele strækningen udgøres af en klit. I afsnit 4 er den gennemførte sårbarhedsvurdering af baglandet beskrevet. Det er de ca. 680 km<sup>2</sup> under kote +5 m, der behandles. Ca. halvdelen af arealet er vanddækket, mens den anden halvdel overvejende er et landbrugsområde. Der er dog også et meget stort antal sommerhuse i området.

Opgørelsen af skadepotentialet medtager kun de håndgribelige skader, der kan være enten direkte eller indirekte afhængig af, om de opstår under eller som en følge af oversvømmelsen. Skadeopgørelsen er struktureret på følgende måde:

- Skader på bygninger, indbo, maskiner inkl. biler, husdyrbesætninger samt afgrøder, foder og gødning opbevaret på ejendommen
- Skader på landbrugsjord og afgrøder på roden
- Skader på offentlige anlæg



- Driftstab for landbrugsbedrifter og huslejetab for beboelsesejendomme
- Skader på klitbarrieren.

Der er anvendt ejendomsoplysninger fra den Offentlige Informations-Server OIS og oplysninger om afgrødefordelingen fra Danmarks JordbrugsForskning. Til bedømmelse af skader inden for landbruget har landbrugs konsulenter fra Lemvigegnens Landboforening i Lemvig medvirket. Resultatet af opgørelsen er den sammenhæng mellem oversvømmelsesvandstand og skader fordelt på de forskellige skadetyper, der fremgår af skema 2.1. Det ses, at skader på bygninger med indhold er den dominerende skadetype, men skader på selve klitten udgør også en betydelig andel af de samlede skader.

Indre vandstand	Bygn. med indhold	Afgrøder	Offentlige anlæg	Driftstab landbrug	Driftstab boliger	Klit-retablering	I alt mio. kr.
0,5 m	0	6,9	0	58,6	3,1	753	822
1,0 m	75,4	5,8	5	51,9	6,5	874	1.019
1,5 m	177	7,2	11	67,7	12,8	995	1.271
2,0 m	387	8,3	24	79,7	20,9	1.116	1.636
2,5 m	733	9,9	44	96,4	37,4	1.237	2.158
3,0 m	1.379	11,4	80	110,2	61,8	1.358	3.000
3,5 m	2.472	12,4	140	118,6	77,8	1.479	4.300
4,0 m	3.450	13,5	195	128,8	94,4	1.599	5.481
4,5 m	4.526	14,3	257	136,6	114,3	1.720	6.768
5,0 m	5.810	15,5	335	148,1	145,5	1.841	8.295

Skema 2.1 Opgørelse af skader i mio. kr. i forhold til oversvømmelsesvandstanden

Den anden del af grundlaget for en risikoberegning består i en fastlæggelse af sandsynligheden for de forskellige oversvømmelsesvandstande. Forudsætningen for, at der kan ske oversvømmelse, er, at der er udviklet et klitbrud. Et klitbrud opstår, når skræntfoden under en storm er rykket så langt tilbage, at klitbarrieren er væk. Derfor er der gennemført en analyse af skrænttilbagerykningen siden 1977 i Kystdirektoratets vestkystlinjer på strækningen. På grundlag af analysens resultater suppleret med en anerkendt metode til beregning af skrænttilbagerykning er der opstillet en model for sammenhængen mellem vandstanden i havet under en orkan og middelværdi og spredning for skrænttilbagerykningen.

Modellen er anvendt til at beregne omfanget af klitbrud ved de fire ekstremt høje vandstande +4, +4,5, +5 og +5,5 m i havet. For strækningerne med klitbrud er indstrømningen til baglandet herefter beregnet, og oversvømmelsesvandstanden er fastlagt. I skema 2.2 er sammenhørende værdier af ydre og indre vandstand angivet sammen med situationens middeltidsafstand.

Vandstand i havet	Middeltidsafstand	Oversvømmelsesvandstand
+4,0 m	2.375 år	+0,70 m
+4,5 m	23.043 år	+1,90 m
+5,0 m	238.421 år	+3,65 m
+5,5 m	2.616.532 år	+4,80 m

Skema 2.2 Oversvømmelsesvandstand for ekstreme vandstande i havet

Herefter er grundlaget til stede for at kunne beregne oversvømmelsesrisikoen. Beregningerne fremgår af skema 2.3. Den samlede risiko er altså 1,1 mio. kr. pr. år, og af skemaet fremgår det, hvilke situationer der især bidrager til risikoen. Risikoen er lille i betragtning af de store værdier i baglandet. Billedligt talt kan risikoen betragtes som den præmie, der skal betales for en højvandsforsikring for området.

Der er ikke bestemt en usikkerhed på risikoen, men det vurderes ud fra de anvendte beregningsprocedurer, at størrelsen er på den sikre side.

Indre vandstand	Vandstandsinterval	Sandsynlighed pr. år	Potentiel skade mio. kr.	Produkt mio. kr./år
0,5 m	0,25 m – 0,75 m	0,00077206	822	0,634
1,0 m	0,75 m – 1,25 m	0,00022810	1.019	0,232
1,5 m	1,25 m – 1,75 m	0,00009145	1.271	0,116
2,0 m	1,75 m – 2,25 m	0,00003040	1.636	0,049
2,5 m	2,25 m – 2,75 m	0,00001369	2.158	0,029
3,0 m	2,75 m – 3,25 m	0,00000670	3.000	0,020
3,5 m	3,25 m – 3,75 m	0,00000365	4.300	0,015
4,0 m	3,75 m – 4,25 m	0,00000215	5.481	0,011
4,5 m	4,25 m – 4,75 m	0,00000075	6.768	0,005
5,0 m	4,75 m – 5,25 m	0,00000029	8.295	0,002
			<b>Beregnet risiko</b>	<b>1,117</b>

Skema 2.3 Risikoberegning

### Beskrivelse af en risikoanalyse

For et dige eller en klitbarriere har der været tradition for at angive styrken som middeltidsafstanden for den vandstand, hvor der regningsmæssigt netop sker brud. På fællesaftalestrækningen Lodbjerg - Nymindegab er styrken af klitbarrieren mindst 100 år.

Ved højere vandstande kan der ske brud på barrieren med oversvømmelse af baglandet til følge. Det er disse situationer, der behandles i en risikoanalyse. For at kunne beregne risikoen for oversvømmelse skal der først gennemføres to af hinanden uafhængige delanalyser:

- En sårbarhedsvurdering der består af en opgørelse i kr. af den potentielle oversvømmelsesskade i baglandet i forhold til vandstanden. Skaden vokser naturligvis stærkt med vandstanden.
- Fastlæggelse af sandsynligheden pr. år for oversvømmelse af baglandet til forskellige vandspejlsniveauer. Der skal altså bestemmes sandsynligheder for, at vandstanden når f.eks. +2, +3, +4 og +5 m. For at kunne gøre det, skal der foreligge en brudmodel for et klitbrud samt en beregning af indstrømningsmængden.

Risikoen kan herefter beregnes ved at integrere produktet af skade og sandsynlighed pr. år, indtil produktet nærmer sig 0. Resultatet bliver et beløb pr. år, og beløbet, der betegnes risikoen, angiver forventningsværdien for den årlige oversvømmelsesskade. Da risikoen er et akkumuleret produkt af to talsæt, er begge talsæt lige vigtige for kvaliteten af den beregnede risiko. Der skal altså tilstræbes samme kvalitet for oversvømmelsessandsynlighederne og for opgørelsen af de potentielle oversvømmelseskader.

Når risikoen er beregnet, er spørgsmålet, hvordan tallet anvendes. Hvis der foreligger tilsvarende risikoberegninger for andre oversvømmelsestruede områder, kan risikotallene naturligvis anvendes til at rangordne områderne efter risiko, og rangordningen kan så indgå i grundlaget for en beslutning om, hvor der eventuelt skal sættes ind på en risikoreduktion. Risikoen for oversvømmelse kan også sammenlignes med risikotal

for andre typer af ulykker. Her kan tallene anvendes til en samfundsmæssig prioritering, men selv om risikotallene i princippet kan sammenlignes direkte, vil det formentlig være svært i praksis.

En af fordelene ved at arbejde med risiko i forbindelse med højvandsbarrierer i stedet for med den førnævnte styrke baseret på en vandstand med middeltidsafstand er, at risikobegrebet giver en bredere indgang til problemløsningen. Man kan jo reducere risikoen ved enten at gøre højvandsbarrieren stærkere, hvorved sandsynlighederne for de forskellige oversvømmelsesvandstande reduceres, eller man kan forsøge at reducere omfanget af skaden ved et givet vandspejlsniveau i baglandet. Et eksempel på det sidste er et velfungerende stormflodsberedskab med evakueringsplaner.

En reduktion af oversvømmelsesrisikoen er normalt ikke gratis. Til en vurdering af om der er fornuft i udgiften til at reducere risikoen, anvendes ofte den mere velkendte benefit/cost-analyse. For et givet tidsrum, der for statslige anlægsprojekter skal være 50 år jfr. (Trafikministeriet, 2003), beregnes nutidsværdien af anlægsudgiften og de løbende drifts- og vedligeholdelsesudgifter. Som rentefod ved tilbagediskonteringen anvendes en rentefod, der fremgår af Finansministeriets hjemmeside.

Benefit opgøres som nutidsværdien af risikoreduktionen. Man skal derfor beregne den nye risiko, hvorefter reduktionen kan bestemmes. Når det er en 50 års periode, der betragtes, kan man komme ud for, at risikoen ikke er den samme i hele perioden, således at der skal gennemføres en række risikoberegninger. Det ville eksempelvis være tilfældet, hvis investeringen vedrører en klitbarriere på en tilbagerykningsskyst. Hvis klitten ikke frit kan udvikle sig ind i land, vil barrieren i løbet af en 50 års periode blive smallere, og risikoen dermed større. Også vandspejlsstigningen i løbet af perioden vil alt andet lige også bevirke en forøgelse af risikoen.

Vedrørende oversvømmelsesrisikoen på Vestkysten er der så vidt vides kun gennemført én større benefit/cost-analyse. Det drejer sig om undersøgelsen fra 1973, der er rapporteret i (Sekretariatet, 1973). Her er der gennemført en meget omhyggelig fastlæggelse af benefit/cost-forholdet for hver af kogene inden for Vadehavsdigerne ved en forstærkning af digerne til styrkeniveauer fra 100 til 1.000 års middeltidsafstand. I den forbindelse er risikoen beregnet for hver af kogene med datidens diger.

# Sårbarhedsvurdering

## 4.1 Indledning

I dette afsnit gennemføres en sårbarhedsvurdering af området omkring Ringkøbing Fjord, og vurderingen samles i en skadehypsograf, der angiver den samlede skade som funktion af oversvømmelsesvandstanden i området. Skadehypsografen udgør den ene halvdel af grundlaget for at kunne beregne den samlede oversvømmelsesrisiko.

## 4.2 Beskrivelse af området

Sårbarhedsvurderingen er gennemført for området under kote +5 m DVR90. For dette område er der udarbejdet en højdemodel på grundlag af data i et 25 m net fra KMS. Områdets topografi fremgår af fig. 4.1. Det ses, at området især er lavt syd og øst for Ringkøbing Fjord. Fra det lave område omkring Ringkøbing Fjord er der forbindelse til de lave områder omkring Stadil Fjord og Vest Stadil Fjord og herfra videre op til Nørresø og Husby Sø. 5 m højdekurven lukker ikke området mod nord, idet der er en smal passage til Nissum Fjord. Dette forhold er det valgt at se bort fra ved fastlæggelsen af oversvømmelsesvandstanden, idet det er en rimelig forudsætning, at de to områder henholdsvis syd og nord for denne tærskel er fyldt op til nogenlunde samme vandspejlsniveau. Området afgrænses således mod nord af landevejen mellem Ulfborg og Husby.

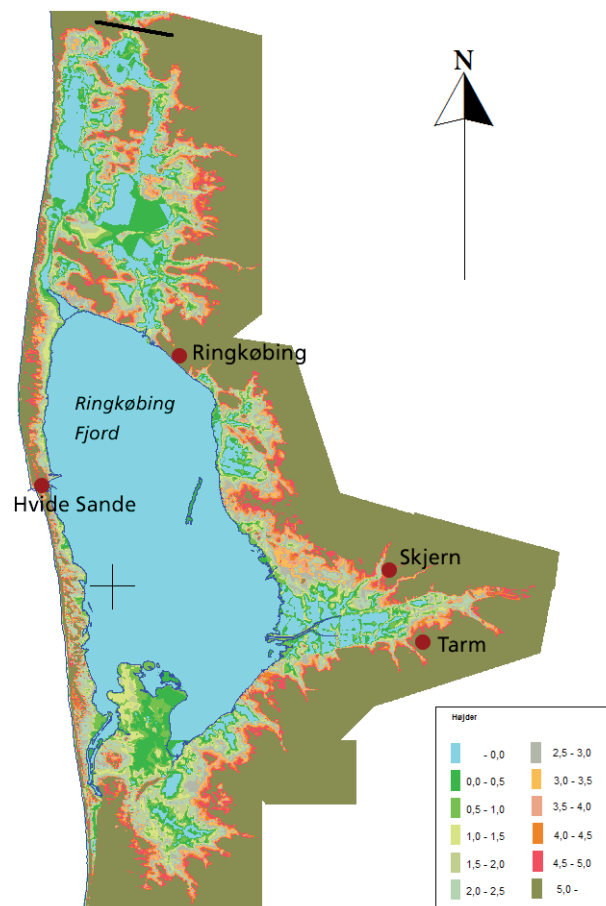


Fig. 4.1 Topografi for baglandet mellem Husby og Nymindegab

Det lave område er overvejende et landbrugsområde. De tre større byer Ringkøbing, Skjern og Tarm ligger generelt højere end kote +5 m, så det er kun meget begrænsede dele af disse byer, der vil blive påvirket af en oversvømmelse. Det er karakteristisk for det lave område, at der er et meget stort antal sommerhuse.

Arealet af området under kote +5 m inkl. Ringkøbing Fjord og andre vanddækkede områder er 677 km<sup>2</sup>. Arealfordelingen i de forskellige koteintervaller fremgår af skema 4.1.

Kote	Areal (km <sup>2</sup> )	Akk. areal (km <sup>2</sup> )
vand	337,4	337,4
0 - 0,5	61,6	399,1
0,5 - 1,0	38,5	437,5
1,0 - 1,5	32,8	470,3
1,5 - 2,0	29,4	499,7
2,0 - 2,5	36,3	536,0
2,5 - 3,0	35,0	571,0
3,0 - 3,5	24,5	595,4
3,5 - 4,0	23,7	619,1
4,0 - 4,5	25,1	644,3
4,5 - 5,0	33,2	677,4

Skema 4.1 Arealfordeling efter kote for det lave område

## 4.3 Sårbarhedsvurdering

### 4.3.1 Indledning

I dette afsnit foretages en opgørelse af den potentielle skade i området omkring Ringkøbing Fjord i afhængighed af oversvømmelsesvandstanden. Til skader regnes kun håndgribelige skader, der så enten er direkte eller indirekte skader. De direkte skader opstår under selve oversvømmelsen og omfatter bl.a. skader på bygninger, indbo, afgrøder og offentlige anlæg, medens indirekte skader er en følge af oversvømmelsen som f.eks. driftstab. Der medregnes altså ikke uhåndgribelige skader som f.eks. den frygt for gentagelse af oversvømmelsen, der må forventes at opstå. Der er endvidere regnet med, at der på grund af det velfungerende stormflodsberedskab ikke vil omkomme mennesker i forbindelse med oversvømmelsen.

Skadeopgørelsen er baseret på den metodik, der blev anvendt i den tidligere omtalte benefit/cost-undersøgelse fra 1973 (i det følgende B/C73) for området inden for digerne langs Vadehavet (Sekretariatet, 1973). Skadeopgørelsen er struktureret på følgende måde:

- Skader på bygninger, indbo, maskiner inkl. biler, husdyrbesætninger samt afgrøder, foder og gødning opbevaret på ejendommen
- Skader på landbrugsjord og afgrøder på roden
- Skader på offentlige anlæg
- Driftstab for landbrugsbedrifter og huslejetab for beboelsesejendomme
- Skader på klitbarrieren.

Der er anskaffet ejendomsoplysninger fra den Offentlige InformationsService (OIS) og oplysninger om afgørdefordelingen fra Danmarks Jordbrugsforskning. Der er også rekvireret oplysninger om besætningsfordelingen i området fra Det Centrale Husdyrs Register. Til bedømmelse af skader inden for landbruget har landbrugskonsulenter fra Lemvigegnens Landboforening i Lemvig medvirket.

### 4.3.2 Skader på bygninger med indhold

Ved behandlingen af bygningskader m.m. skelnes mellem helårsboliger, landbrug og ferieboliger. På grundlag af de geokodede ejendomsoplysninger er bygningsværdien beregnet som ejendomsværdi minus grundværdi. Da værdien af industribygninger udgør under 3% af den samlede bygningsværdi i området, er industribygninger medtaget under landbrug. Fordelingen af bygningsværdien på koteintervaller fremgår af skema 4.2.

Kote	Helårsboliger mio. kr.	Landbrug m.v. mio. kr.	Ferieboliger mio. kr.
0 - 0,5	18,8	3,2	136,8
0,5 - 1,0	19,4	12,9	151,7
1,0 - 1,5	78,0	32,7	237,2
1,5 - 2,0	103,4	118,4	298,1
2,0 - 2,5	322,6	116,1	501,9
2,5 - 3,0	591,0	286,5	628,8
3,0 - 3,5	362,7	225,3	441,3
3,5 - 4,0	334,4	216,4	491,8
4,0 - 4,5	438,2	290,1	561,2
4,5 - 5,0	924,7	240,8	635,0
I alt	3.193	1.543	4.084

Skema 4.2 Bygningsværdiens fordeling i forhold til koten

Fastlæggelsen af skaden på indholdet i bygningerne er baseret på, at værdien af indholdet udgør en karakteristisk andel af bygningsværdien. I skema 4.3 er anført de anvendte værdier svarende til en bygningsværdi på 1 mio. kr.

Værdi	Helårsbolig	Landbrug m.v.	Feriebolig
Bygning	1.000.000	1.000.000	1.000.000
Indbo m.m.	500.000	150.000	200.000
Maskiner og transportmidler	100.000	400.000	15.000
Husdyrbesætning		300.000	
Afgrøder, foder og gødning		100.000	
I alt pr. 1 mio. kr. bygningsværdi	1.600.000	1.950.000	1.215.000

Skema 4.3 Skønnet værdi af indhold i bygningerne i forhold til bygningsværdien

Værdierne i skema 4.3 for landbrug er fastsat på grundlag af regnskabsresultater fra kvægbrug og svinebrug, hvorefter der er beregnet et vægtet gennemsnit for landbrug som helhed. Tallet for indbo m.m. afspejler, at værdien af stuehusets indbo er fordelt på hele bygningsmassens værdi altså inkl. avlsbygningerne. Ved sammenligning af fordelingen af værdierne i landbruget med de tilsvarende tal fra B/C73 fremgår det, at der er sket en betydelig ændring, hvilket naturligvis skyldes de store ændringer, der er sket med hensyn til driftsformerne inden for landbruget fra 1970'erne til i dag.

For helårs- og ferieboliger er tallene fastlagt som skønnede værdier. Det skal bemærkes, at værdien af biler, som tilfældet også var for landbrug, kun indgår med 50%, idet den øvrige halvdel skønnes at blive anvendt til at køre væk fra det oversvømmede område. For ferieboliger er der for værdien af biler endvidere taget hensyn til, at oversvømmelsen finder sted om vinteren, hvor en stor del af ferieboligerne står tomme.



Størrelsen af skaden ved en oversvømmelse er afhængig af vandspejlets højde i forhold til gulvkoten samt af typen af værdier. Svarende til opdelingen i skema 4.3 er skema 4.4, 4.5 og 4.6 opstillet med skadeprocenter og samlet skade pr. 1 mio. kr. bygningsværdi. Skadeprocenterne svarer til dem, der er anvendt i B/C73. Dog er skadeprocenterne for maskiner m.v. forhøjet, idet den større anvendelse af elektronik gør dem mere følsomme over for vand.

Vandstand over gulv		0,5 m		1,5 m		2,5 m		3,5 m		4,5 m	
Alle beløb i mio. kr.	Værdi	Skade	Beløb	Skade	Beløb	Skade	Beløb	Skade	Beløb	Skade	Beløb
Bygning	1,0	30%	0,3	43%	0,43	57%	0,57	70%	0,7	83%	0,83
Indbo	0,5	70%	0,35	74%	0,37	79%	0,395	83%	0,415	88%	0,44
Maskiner m.v.	0,1	20%	0,02	80%	0,08	80%	0,08	80%	0,08	80%	0,08
I alt	1,6		0,67		0,88		1,045		1,195		1,35

Skema 4.4 Værditab for helårsboliger ved forskellige vandstande over gulvniveau

Vandstand over gulv		0,5 m		1,5 m		2,5 m		3,5 m		4,5 m	
Alle beløb i mio. kr.	Værdi	Skade	Beløb	Skade	Beløb	Skade	Beløb	Skade	Beløb	Skade	Beløb
Bygning	1,0	30%	0,3	43%	0,43	57%	0,57	70%	0,7	83%	0,83
Indbo	0,15	70%	0,105	74%	0,111	79%	0,12	83%	0,125	88%	0,13
Maskiner m.v.	0,4	20%	0,08	80%	0,32	80%	0,32	80%	0,32	80%	0,32
Husdyr	0,3	50%	0,15	100%	0,3	100%	0,3	100%	0,3	100%	0,3
Afgrøder m.v.	0,1	50%	0,05	100%	0,1	100%	0,1	100%	0,1	100%	0,1
I alt	1,95		0,685		1,261		1,41		1,545		1,68

Skema 4.5 Værditab for landbrug ved forskellige vandstande over gulvniveau

Vandstand over gulv		0,5 m		1,5 m		2,5 m		3,5 m		4,5 m	
Alle beløb i mio. kr.	Værdi	Skade	Beløb	Skade	Beløb	Skade	Beløb	Skade	Beløb	Skade	Beløb
Bygning	1,0	30%	0,3	43%	0,43	57%	0,57	70%	0,7	83%	0,830
Indbo	0,2	70%	0,14	74%	0,14	79%	0,158	83%	0,166	88%	0,176
Maskiner m.v.	0,015	20%	0,003	80%	0,012	80%	0,012	80%	0,012	80%	0,012
I alt	1,22		0,443		0,59		0,740		0,878		1,018

Skema 4.6 Værditab for ferieboliger ved forskellige vandstande over gulvniveau

Ved hjælp af skema 4.4, 4.5 og 4.6 er værditabet knyttet sammen med bygningsværdien, og det er derfor muligt at beregne det samlede værditab for en given oversvømmelsesvandstand for bygninger med indhold i de forskellige koteintervaller. Gulvkoten er fastlagt således: Bygninger f.eks. i koteintervallet +2 m - +2,5 m har en middelbeliggenhed svarende til kote +2,25 m. Med en sokkelhøjde på 0,25 m får man gulvkoten +2,5 m. Ved en vandstand i baglandet på f.eks. +4 m vil vandstanden over gulvniveau være 1,5 m, og skaden fastlægges svarende hertil.

I skema 4.7 er skaden for de enkelte bygningstyper samt den samlede skade anført for forskellige oversvømmelsesvandstande. Det fremgår, at skaden vil være størst på ferieboliger på grund af det meget store antal og den generelt lavere beliggenhed end de øvrige bygningstyper, jfr. skema 4.2.

Oversvømmelses- vandstand	Helårsboliger mio. kr.	Landbrug m.m. mio. kr.	Ferieboliger mio. kr.	I alt mio. kr.
0,5 m	0	0	0	0
1,0 m	12,6	2,2	60,6	75,4
1,5 m	27,6	12,0	138	177
2,0 m	83,8	39,0	264	387
2,5 m	165	134	435	733
3,0 m	403	258	718	1.379
3,5 m	853	525	1.094	2.472
4,0 m	1.210	808	1.433	3.450
4,5 m	1.577	1.124	1.825	4.526
5,0 m	2.035	1.491	2.284	5.810

Skema 4.7 Størrelsen af skaden på bygninger med indhold i forhold til oversvømmelsesvandstanden

### 4.3.3 Markskader

Hvis dyrkede arealer oversvømmes med saltvand, går det ud over afgrøden, hvis den er etableret, samt udbyttet den følgende vækstsæson. I B/C73 er der medtaget et notat udarbejdet af professor dr.agro. H.C. Aslyng, Landbohøjskolen og forstander lic.agro. Lorens Hansen, Statens Markforsøg, hvor udbyttetabet kvantificeres.

Det fremgår af notatet, at det, der er afgørende, er saltindholdet i jorden, når vækstsæsonen begynder i april. En oversvømmelse, der sker i november, vil på grund af udvaskning efterlade mindre salt i jorden i april end en oversvømmelse, der finder sted i februar. I notatet er der medtaget en graf, der viser saltindholdet i jorden i april som funktion af, hvornår oversvømmelsen har fundet sted.

Salt i jorden virker forskelligt på de forskellige afgrøder. Af de viste kurver fremgår det, at den procentvise udbyttenedgang er mindst for byg, større for havre og hvede og størst for rug og rødkløver. Ud fra oplysninger om normaludbyttet for de forskellige afgrøder er værdien af udbyttetabet beregnet for de forskellige afgrøder i afhængighed af oversvømmelsestidspunktet. Det er også oplyst, at der skal tilføres gips til jorden for at reducere effekten af oversvømmelsen.

Notatet er udarbejdet for marskjord, og oplysningerne kan derfor ikke nødvendigvis direkte anvendes på landbrugsjorden omkring Ringkøbing Fjord. Derfor har notatet været forelagt landbrugskonsulenten, der endvidere har drøftet problematikken med landskonsulenten for planteavl.

Konklusionen på konsulentens tilbagemelding er, at kurverne i notatet også kan anvendes for jord og afgrøder omkring Ringkøbing Fjord. I forhold til på marskjord trækker saltvandet ganske vist hurtigere ned på sandede jordarealer, men til gengæld vaskes saltet hurtigere ud igen. De to forhold trækker altså hver sin vej. Den eneste principielle ændring i forhold til vurderingen for marsken er, at der ikke skal tilføres gips til jorden.

For området omkring Ringkøbing Fjord er de 18 vigtigste afgrøder gennemgået sammen med landbrugskonsulenten. For vinterafgrøderne f.eks. vinterhvede, rug, vinterbyg og vinterraps er der regnet med, at oversvømmelse vil medføre, at afgrøden går ud, så der må sås om i foråret f.eks. med vårbyg. Omkostningerne til etableringen af vinterafgrøden er derfor tabt. Det drejer om ca. 1.500 kr./ha.

Udbyttet af vårafgrøderne vil efter en oversvømmelse blive reduceret på grund af salt i jorden. For hver afgrøde er middeludbyttetabet beregnet. Da udbyttetabet er meget afhængigt af i hvilken vintermåned, oversvømmelsen sker, er udbyttetabet for de enkelte måneder vægtet med antallet af storme med en vandstand blandt de 20 højeste, der er målt i Hvide Sande. De beregnede udbyttetab for de vigtigste vårafgrøder fremgår af skema 4.8.

Afgrøde	Udbyttenedgang
Vårhvede og kartofler	6,9%
Vårbyg, vårraps, markærter og majs til ensilering	1,1%
Havre	5,6%
Bederoer	4,7%
Græs	10,3%

Skema 4.8 Nedgang i udbytte efter oversvømmelse for forskellige vårafgrøder

På grundlag af landbrugskonsulentens oplysninger om normaludbyttet pr. ha. samt priserne pr. 100 kg eller pr. foderenhed er det økonomiske tab for de vigtigste afgrøder beregnet og vist i skema 4.9. For vinterafgrøderne skyldes den største del af tabet den førømtalte ekstra etablering af en afgrøde.

Afgrøde	Tab kr./ha
Vinterafgrøder	1.542
Vårhvede	252
Vårbyg	42
Havre og blandsæd	201
Vårraps	32
Markærter	34
Kartofler	1.428
Fodersukkerroer	487
Majs til ensilering	88
Korn til ensilering	59
Græs og kløver i omdrift	633
Græs uden for omdrift	295

Skema 4.9 Tab pr. ha efter oversvømmelse for forskellige afgrøder

Fra Dansk JordbrugsForskning er der skaffet oplysninger om afgrødefordelingen inden for området omkring Ringkøbing Fjord. For hvert koteinterval er afgrødefordelingen fastlagt, og ved anvendelse af oplysningerne

i skema 4.9 er det samlede afgrødetab i de enkelte koteintervaller i tilfælde af oversvømmelse beregnet. I skema 4.10 er afgrødetabet anført i forhold til oversvømmelsesvandstanden.

Oversvømmelsesvandstand	Afgrødetab mio. kr.
0,5 m	6,9
1,0 m	5,8
1,5 m	7,2
2,0 m	8,3
2,5 m	9,9
3,0 m	11,4
3,5 m	12,4
4,0 m	13,5
4,5 m	14,3
5,0 m	15,5

Skema 4.10 Afgrødetab i forhold til oversvømmelsesvandstanden.

#### 4.3.4 Skader på offentlige anlæg

Ved oversvømmelse vil der ske skade på de offentlige anlæg i området. En omfattende rengøring af alle oversvømmede veje vil naturligvis blive nødvendig, og endvidere vil det blive nødvendigt at oprense grøfter, vandløb samt kloakledninger. Det vigtigste spørgsmål i forhold til omfanget af den totale skade på offentlige anlæg er imidlertid, hvor stor en del af det offentlige vejsystem og forsyningsnet, der tager skade og dermed skal repareres eller udskiftes.

I B/C73 er skaden på offentlige anlæg sat til 10% af den rene bygnings-skade. Man anfører i rapporten, at egentlige erfaringer med skader som følge af oversvømmelse med saltvand er sparsomme, og at anvendelsen af de 10% er baseret på, at det efter Sekretariatets mening fører til en rimelig størrelse af værditabet.

Hvis man undlader at gå ind i en detaljeret fastlæggelse af omfanget af offentlige anlæg i de forskellige koteintervaller, forekommer det fornuftigt at anvende skaden på bygningsmassen i koteintervallerne som udgangspunkt for skadeopgørelsen på offentlige anlæg. Derved tages der både hensyn til, at omfanget af de offentlige anlæg må være stærkt korreleret med antallet af bygninger, og at skaden på offentlige anlæg må stige med vandstanden.

Anvendelse af B/C73's opgørelsesmetode for området omkring Ringkøbing Fjord betyder, at skaden på offentlige anlæg får et omfang ved de forskellige vandstande, som det fremgår af skema 4.11. Størrelsesordenen vurderes som værende rimelig.

Oversvømmelsesvandstand	Skade på offentlige anlæg mio. kr.
0,5 m	0
1,0 m	5
1,5 m	11
2,0 m	24
2,5 m	44
3,0 m	80
3,5 m	140
4,0 m	195
4,5 m	257
5,0 m	335

Skema 4.11 Opgørelse af skader på offentlige anlæg

### 4.3.5 Driftstab

Efter en oversvømmelse vil der gå et stykke tid, inden beboelse og landbrugsejendomme er klar til beboelse og produktion igen. Derfor indgår der en beregning af det forventede driftstab for landbrugsejendomme samt huslejetab for beboelse.

#### Driftstab for landbrugsejendomme

De direkte værditab for landbrugsbedrifter som følge af skader på bygninger og indbo m.m. samt markskader er behandlet i afsnit 4.3.2 og 4.3.3. Driftstabet omfatter det tab, der vil være i en animalsk produktion i det tidsrum, der går, inden produktionsforholdene er retableret, og besætningerne er tilbage i staldene.

I B/C73 er der regnet med, at der vil gå et tidsrum på i gennemsnit et halvt år efter oversvømmelsen, inden normal produktion finder sted. Det er klart, at det tidsrum er afhængigt af størrelsen af det oversvømmede område. Hvis det kun er 5-10 gårde, hvor produktionen er ødelagt, og besætningerne er druknet, vil produktionen hurtigere kunne komme i gang igen, end hvis det er alle gårde inden for området, der har været oversvømmet. På grundlag af drøftelser med landbrugskonsulenten er det valgt at bibeholde det halve år som et godt estimat for varigheden af den gennemsnitlige afbrydelse af produktionen.

På grundlag af oplysninger fra landbrugskonsulenten er det gennemsnitlige årlige dækningsbidrag beregnet for henholdsvis en kvægbesætning og en svinebesætning. Der er anvendt et årligt dækningsbidrag på 13.000 kr. for en ko, 3.500 kr. for en so og 100 kr. for et slagtesvin. For kvægbesætningen bliver det årlige dækningsbidrag 1,3 mio. kr., medens det er 1,05 mio. kr. for en svinebesætning. Idet tallene vægtes svarende til antallet af de to besætningstyper, får man et mistet dækningsbidrag og dermed driftstab for et halvt år på ca. 6.000 kr. pr. ha. Dette tal er korrigeret for prisudviklingen langt større end det tilsvarende tal fra B/C73. Forklaringen er dels, at antallet af dyr pr. ha. er væsentligt større end i 1973, dels at produktiviteten pr. dyr er forøget. I skema 4.12 er driftstab anført i forhold til oversvømmelsesvandstanden.

Oversvømmelsesvandstand	Driftstab i landbruget mio. kr.
0,5 m	58,6
1,0 m	51,9
1,5 m	67,7
2,0 m	79,7
2,5 m	96,4
3,0 m	110,2
3,5 m	118,6
4,0 m	128,8
4,5 m	136,6
5,0 m	148,1

Skema 4.12 Landbrugets driftstab i forhold til oversvømmelsesvandstanden

### Driftstab for beboelse og feriehuse

I en periode efter oversvømmelsen vil beboelse og feriehuse ikke kunne anvendes. Som for landbrugsejendomme vil den periode, der går, inden husene er bragt tilbage i udgangstilstanden, være afhængig af størrelsen af det område, der er blevet ramt af oversvømmelse. I C/B73 har man sat perioden til et halvt år, og denne periodelængde er også blevet anvendt her.

Driftstabet består i afsavn af egen bolig eller feriehus eller mistet huslejeindtægt. I C/B73 er der taget udgangspunkt i den gamle lejeværdi for egen bolig, og på grundlag heraf er driftstabet i et halvt år sat til 2% af ejendomsværdien. Med denne beregningsmetode kan driftstabet opgøres i forhold til oversvømmelsesvandstanden, og resultatet fremgår af skema 4.13.

Oversvømmelsesvandstand	Driftstab for beboelse/feriehuse mio. kr.
0,5 m	3,1
1,0 m	6,5
1,5 m	12,8
2,0 m	20,9
2,5 m	37,4
3,0 m	61,8
3,5 m	77,8
4,0 m	94,4
4,5 m	114,3
5,0 m	145,5

Skema 4.13 Driftstab for beboelse/ferieboliger i forhold til oversvømmelsesvandstanden

### 4.3.6 Skader på klitbarrieren

Oversvømmelse sker ved, at der under orkan sker indstrømning gennem et antal brud i klitbarrieren. Forud for de egentlige klitbrud er der sket en betydelig skrænttilbagerykning, hvorved 40 – 100 m klit er forsvundet. Sammen med den klit inden for bruddene, der spules væk under indstrømningen, er der tale om et betydeligt klitareal, der går tabt under de situationer, der fører til oversvømmelse af baglandet.

Værdien af de mistede klitarealer er opgjort som udgiften ved en retablering ved hjælp af indpumpet sand samt hjelmeplantning. Det er klart, at der vil gå lang tid, inden det således etablerede område har en naturmæssig kvalitet som det mistede klitområde. Dette tab medtages imidlertid ikke.

Indstrømningsberegninger er gennemført for fire ekstremt høje vandstande i havet jfr. afsnit 5.3. For hvert af disse scenarier er den gennemsnitlige skrænttilbagerykning samt de strækningslængder, hvor der sker brud, fastlagt. Ved bestemmelsen af udgiften til klitretablering er det forudsat, at der opbygges en klitbredde svarende til skrænttilbagerykningen, idet klitten dog kun opbygges til kote +6 m. Endvidere er der regnet med, at klitområdet inden for bruddene retableres til ca. 1 km inden for kysten.

For hvert af de fire scenarier er udgiften til retablering af klitten beregnet, idet der er anvendt en pris på 70 kr./m<sup>3</sup> sand inkl. tilplantning med hjelme. For hvert af scenarierne foreligger der jfr. afsnit 5.3 en oversvømmelsesvandstand for baglandet, og ved sammenkobling af disse med de beregnede retableringsudgifter, kan retableringsudgiftens variation med oversvømmelsesvandstanden lægges fast. Sammenhængen fremgår af skema 4.14.

Oversvømmelsesvandstand	Retablering af klit mio. kr.
0,5 m	753
1,0 m	874
1,5 m	995
2,0 m	1.116
2,5 m	1.237
3,0 m	1.358
3,5 m	1.479
4,0 m	1.599
4,5 m	1.720
5,0 m	1.841

Skema 4.14 Udgiften til klitretablering i forhold til oversvømmelsesvandstanden

### 4.3.7 Den samlede skade i forhold til oversvømmelsesvandstanden

I skema 4.15 er de opgjorte skader anført, og den samlede skade er opgjort. Det fremgår, at skader på bygninger med indhold er den dominerende skadetype, men skader på selve klitten udgør også en betydelig andel af de samlede skader. På fig. 4.2 er sammenhængen mellem den samlede skade og oversvømmelsesvandstanden vist grafisk.

Indre vandstand	Bygn. med indhold	Afgrødetab	Off. anlæg	Driftstab landbrug	Driftstab boliger	Klit	I alt mio. kr.
0,5 m	0	6,9	0	58,6	3,1	753	822
1,0 m	75,4	5,8	5	51,9	6,5	874	1.019
1,5 m	177	7,2	11	67,7	12,8	995	1.271
2,0 m	387	8,3	24	79,7	20,9	1.116	1.636
2,5 m	733	9,9	44	96,4	37,4	1.237	2.158
3,0 m	1.379	11,4	80	110,2	61,8	1.358	3.000
3,5 m	2.472	12,4	140	118,6	77,8	1.479	4.300
4,0 m	3.450	13,5	195	128,8	94,4	1.599	5.481
4,5 m	4.526	14,3	257	136,6	114,3	1.720	6.768
5,0 m	5.810	15,5	335	148,1	145,5	1.841	8.295

Skema 4.15 Samlet opgørelse af skader i forhold til oversvømmelsesvandstanden – priseniveau 2006

Skade (mia. kr.)

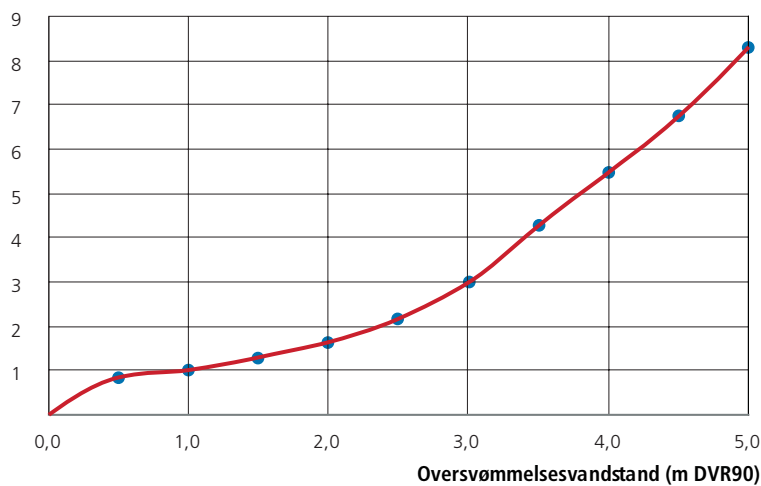


Fig. 4.2 Samlet skade i forhold til oversvømmelsesvandstanden



# Fastlæggelse af sandsynligheden for oversvømmelse

## 5.1 Indledning

Den anden del af grundlaget for en risikoberegning for strækningen Husby - Nymindegab er viden om sandsynligheden for de forskellige oversvømmelsesvandstande. Derfor er der udviklet en model for, hvordan et eventuelt brud i klitbarrieren opstår. Ved anvendelse af denne model kan indstrømningen til baglandet beregnes for forskellige ekstreme vandstandssituationer i havet. Modeludviklingen er sket med udgangspunkt i Kystdirektoratets data vedrørende skræntfodstilbagerykning under historiske storme.

## 5.2 Metodebeskrivelse

### 5.2.1 Indledning

I dette afsnit beskrives den metode, der er anvendt til at beregne, hvilken oversvømmelsesvandstand, der må forventes i baglandet, hvis vandstanden i havet er f.eks. +5,00 m DVR90. Den meget lille sandsynlighed for denne vandstand i havet vil så blive knyttet til den beregnede vandstand i baglandet, idet der forudsættes en enetydig sammenhæng mellem vandstanden i havet og vandstanden i baglandet. I afsnit 5.3 sammenfattes de gennemførte indstrømningsberegninger, og der er angivet en midtidsafstand for de beregnede oversvømmelsesvandstande.

### 5.2.2 Vandstandsstatistik og vandstandsforløb under storm

Det er vandstanden sammen med bølgeførholdene i havet, der bevirker et eventuelt brud i klitbarrieren og efterfølgende indstrømning til baglandet. Hyppigheden af de situationer, der kan føre til brud, fastlægges i forhold til vandstandsstatistikken for Hvide Sande Havn jfr. (Kystdirektoratet, 2002).

Vandstandsstatistikken er udarbejdet på grundlag af data fra perioden 1931-2002. For ankomstfordelingen er benyttet en Poisson-proces med intensiteten  $\lambda = 1,035$  hændelser pr. år, medens der for højdefordelingen er benyttet en trunkeret Weibull-fordeling med afskæringsniveau  $\gamma = 199$  cm og parametrene  $\alpha = 1,148$  og  $\beta = 232,544$ . På fig. 5.1 er vandstandsstatistikken vist i en udgave, der også medtager de helt ekstreme vandstande op til +6 m. Det er klart, at usikkerheden er betydelig, når middeltidsafstanden er over 200 år på grund af dataperiodens længde.

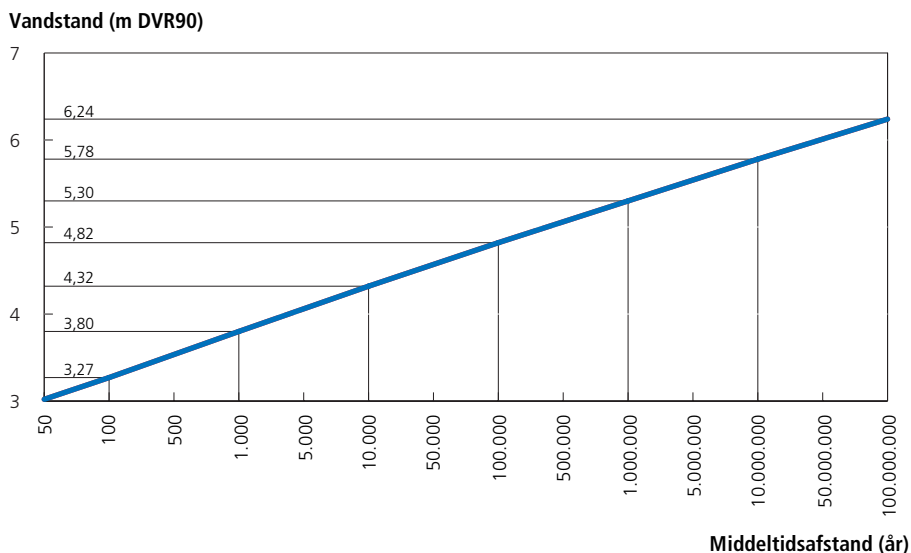


Fig. 5.1 Ekstrapoleret udgave af vandstandsstatistikken for Hvide Sande Havn

Ud over maksimalvandstanden i havet har vandstandsforløbet umiddelbart før og efter kulminationstidspunktet stor betydning for udviklingen af et eventuelt brud og for den efterfølgende indstrømning. Ved at beregne gennemsnittet af vandstandsforløbet under de fem højeste vandstandssituationer ved Hvide Sande, Thorsminde, Ferring og Thyborøn er der fremkommet det vandstandsforløb, der fremgår af fig. 5.2. Det antages, at dette vandstandsforløb også er gældende for de meget høje vandstande helt op til +5,5 m.

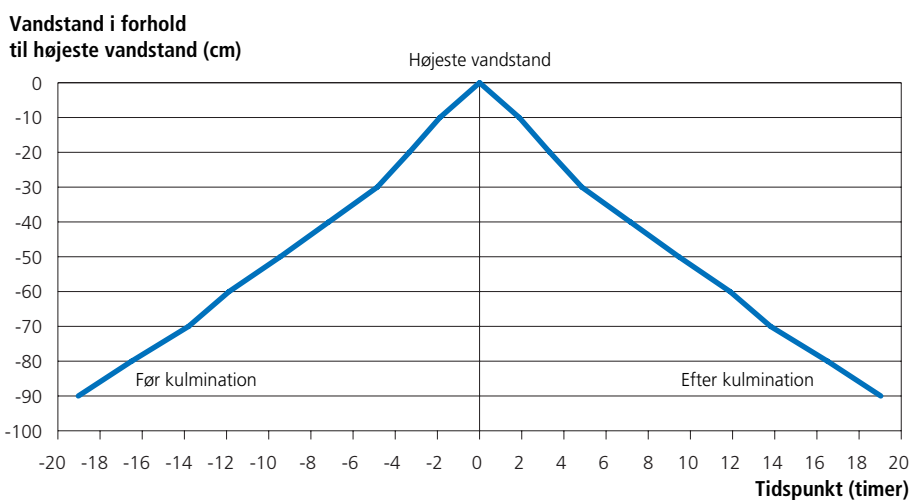


Fig. 5.2 Standardvandstandsforløb under storm for Vestkysten

### 5.2.3 Data vedrørende skrænttilbagerykningen

Den brudmodel, der skal opbygges, skal anvendes på strækningen Husby – Nymindegab. Derfor er det skrænttilbagerykningen under storm på denne strækning, der er analyseret, og som er lagt til grund for modeludviklingen. På den måde må den variation i skrænttilbagerykningen, der er karakteristisk for strækningen, automatisk blive medtaget i modellen.

Det er vestkystprofiler målt siden 1977, der er grundlaget for analysen. Der er ganske vist efter fire storme i perioden gennemført en detaljeret indmåling af skræntkanten på en del af strækningen. Disse detailmålinger er imidlertid ikke repræsentative for hele strækningen, og de er derfor ikke udnyttet. For hver af de 46 vestkystlinjer er skrænttilbagerykningen mellem to på hinanden følgende målinger bestemt. Bestemmelsen er i første omgang foretaget ved anvendelse af KI-menuen, men på grund af fodring, strandskrabning og enkelte profiler, hvor opmålingen ikke er ført helt til skrænttoppen, er der foretaget en kvalitetssikring ved en visuel gennengang af profilerne. I tilfælde af at strandfodring eller strandskrabning bevirker, at det ikke er den naturlige skrænt, der rykker tilbage under storm, er linjen udeladt for det pågældende år. Denne udeladelse vil ikke forringe datamaterialet. Sammenfattende gælder der, at de skræntfodstilbagerykningsdata, der er kommet ud af analysen, svarer til en situation, hvor stranden enten ikke netop er fodret, eller hvor fodringssandet er ved at være fordelt på stranden. Det vil således være en tilsvarende udgangssituation, som brudmodellen opbygges for.

Analysen har givet 22 datasæt med skrænttilbagerykning. For syv af datasættene gælder der imidlertid, at tiden mellem de to vestkystmålinger har været to i stedet for et år. Det har været forsøgt at behandle disse datasæt, så de kunne indgå på linje med de øvrige. For at undgå tvivl om datakvaliteten, er det imidlertid valgt at holde dem uden for den videre analyse. Det betyder bl.a., at data hørende til den højeste vandstandssituation ved Hvide Sande siden 1931 den 26. januar 1990 ikke indgår.

Tilbage er der 15 datasæt for storme med vandstande mellem 1,70 og 3,01 m DVR90 svarende til middeltidsafstande på fra under 1 år til 32 år. Ud over den situation, der har givet den højeste vandstand i løbet af året mellem to vestkystmålinger, har der været mindre hårde situationer, der også kan have medført skrænttilbagerykning. Dette forhold forringer imidlertid ikke datasættets kvalitet i forhold til anvendelsen, idet det vil være en vinters samlede skrænttilbagerykning, der udgør truslen for klitbarrieren.

For hvert af datasættene er middelværdi og standardafvigelse bestemt. Det fremgår, at for især datasæt med lille middelværdi er fordelingen skæv, idet der er en overrepræsentation af meget små tilbagerykninger. På figur 5.3, 5.4 og 5.5 fremgår henholdsvis middeltilbagerykningens variation med vandstanden, standardafvigelsens variation med vandstanden og sammenhængen mellem middelværdi og standardafvigelse.

### Middel skrænttilbagerykning (m)

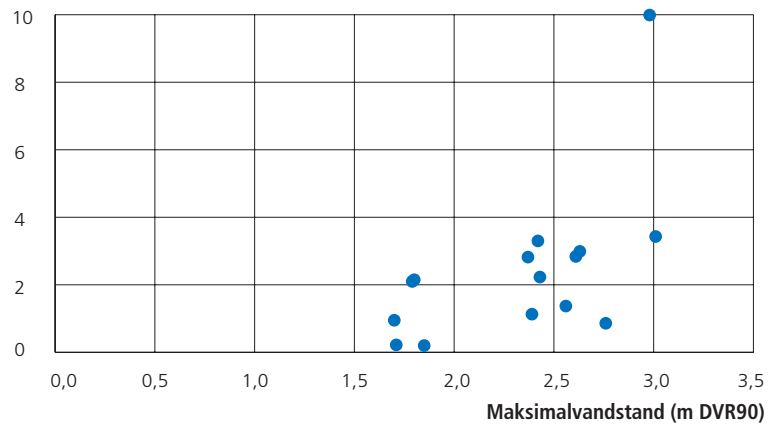


Fig. 5.3 Middelt af skræntfodstilbagerykningen i forhold til maksimalvandstanden

### Standardafvigelse på skrænttilbagerykning (m)

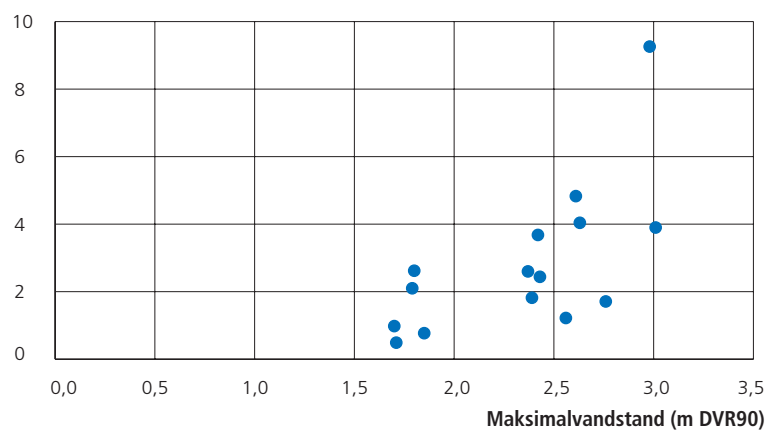


Fig. 5.4 Standardafvigelsen for skræntfodstilbagerykningen i forhold til maksimalvandstanden

### Standardafvigelse på skrænttilbagerykning (m)

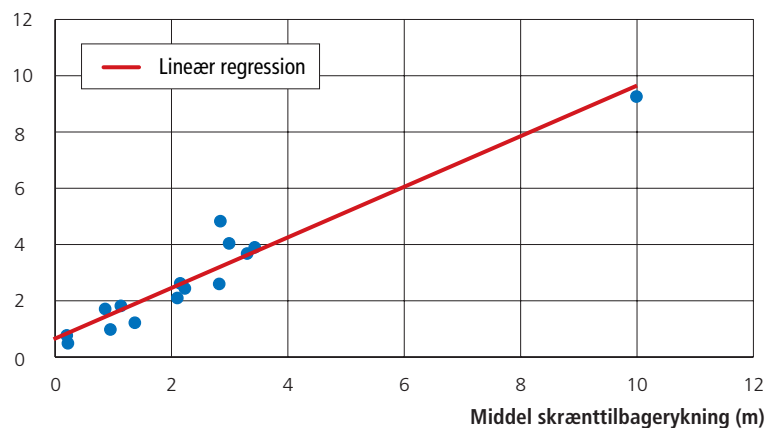


Fig. 5.5 Sammenhørende værdier af standardafvigelse og middel skræntfodstilbagerykning

Fig. 5.3 viser, at der er stor spredning på middel af skræntfodstilbagerykningen i forhold til den højeste vandstand under stormen. Det fremgår bl.a., at der er en betydelig forskel mellem skræntfodstilbagerykningen under de to situationer med maksimalvandstand på ca. 3 m. Under 1981-stormen er skræntfodstilbagerykningen ca. 3 gange større end under

orkanen i januar 2005. Vandstandsforløbet omkring kulminationstidspunktet er nogenlunde ens under de to situationer, så det er ikke her, forklaringen ligger. Der er heller ikke forskel på strandens bredde forud for de to situationer. Derimod er bølgeenergien for de perioder, hvor vandstanden er over 2,5 m, mere end dobbelt så stor for vinteren med 1981-stormen end for vinteren med 2005-orkanen.

Fig. 5.4 viser, at standardafvigelsen på skrænttilbagerykningen også stiger med vandstanden, samt at spredningen igen er betydelig. Til gengæld viser fig. 5.5 en meget entydig sammenhæng mellem standardafvigelse og middel for skræntfodstilbagerykningen.

Kystdirektoratets krav til klitbarrieren ved indgangen til vinteren er, at bredden i kote +5 m er mindst 40 m. Det svarer til, at sikkerheden mod gennembrud er 100 år MT eller mere. Idet 100 års vandstanden ved Hvide Sande er +3,27 m, fremgår det af fig. 5.3 og 5.4, at de behandlede datasæt for skrænttilbagerykningen ikke giver anledning til at ændre kravet til barrierebredden.

#### 5.2.4 Skrænttilbagerykningen for meget høje vandstande

For at kunne fastlægge omfanget af brud i klitbarrieren og indstrømning til baglandet skal skræntfodstilbagerykningen ved de meget høje vandstande i havet estimeres.

Umiddelbart kunne det overvejes at ekstrapolere den sammenhæng mellem den gennemsnitlige skræntfodstilbagerykning og vandstanden, som fremgår af fig. 5.3. At det imidlertid ikke kan være den rigtige metode at anvende, fremgår bl.a. af, at de ekstrapolerede tilbagerykninger ved vandstande i havet på 4-6 m er for små til at virke troværdige. Der må således forventes en væsentligt hurtigere stigning af skræntfodstilbagerykningen med vandstanden ved de høje vandstande end den stigning, som fremgår af datamaterialet for de små vandstande.

En anerkendt metode til at beregne skrænttilbagerykningen under storm er den hollandske stormprofilmetode (Vellinga, 1982). Metoden bygger på den antagelse, at det profil, der udsættes for høj vandstand og bølger under en storm, vil omformes til et såkaldt stormprofil bestemt af vandstanden, bølgehøjden og klitsandets kornstørrelse. Størrelsen af tilbagerykningen af klitskrænten bestemmes af, at den eroderede mængde i klitten netop er i stand til at fylde den øvrige del af profilet op, så stormprofilen fremkommer, se fig. 5.6.

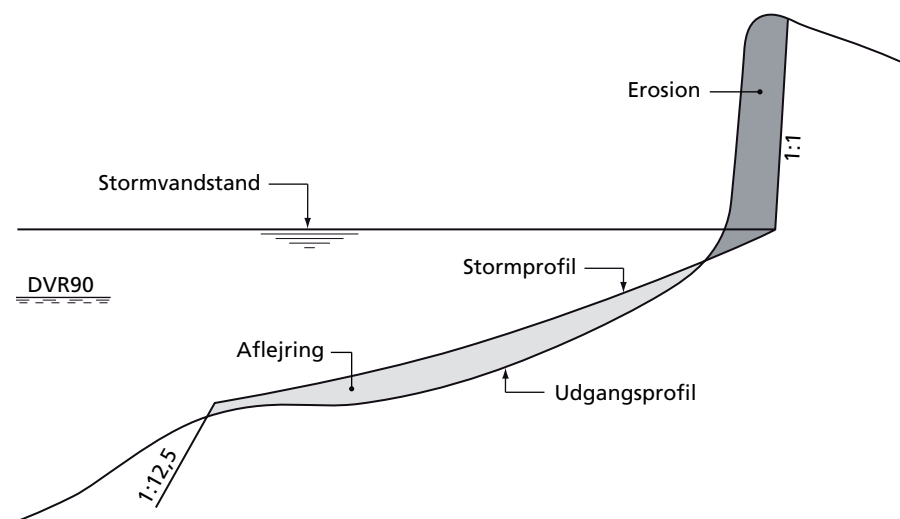


Fig. 5.6 Princippet i stormprofilmetoden

Stormprofilet er bestemt for en række høje vandstande med tilhørende estimeret bølgehøjde. Ved hjælp af KI-menuen er forøgelsen af skrænttilbagerykningen herefter bestemt fra den ene vandstand til den næste, idet der for strækningen er anvendt en middelklitkote på +13 m. Resultatet af beregningerne er, at skrænttilbagerykningen stiger lineært med vandstanden, og at en vandspejlsstigning på 1 m giver en forøgelse af skrænttilbagerykningen på 20,9 m.

Opgaven er så at kombinere dette estimat for de meget høje vandstande med de måledata, som fremgår af fig. 5.3. Hvis man beregner middel af skrænttilbagerykningen for de vandstands niveauer, der er dækket af måledata, fremgår det, at stigningen i tilbagerykningen tager til med stigningen i vandstand fra ca. 1,7 m til ca. 3 m. Den bedste kurve gennem punkterne er fastlagt, og fra, hvor kurvehældningen passer med ovennævnte stigning på 20,9 m i tilbagerykningen pr. m stigning i vandstanden, anvendes denne retliniede sammenhæng. Den fremkomne sammenhæng fremgår af fig. 5.7.

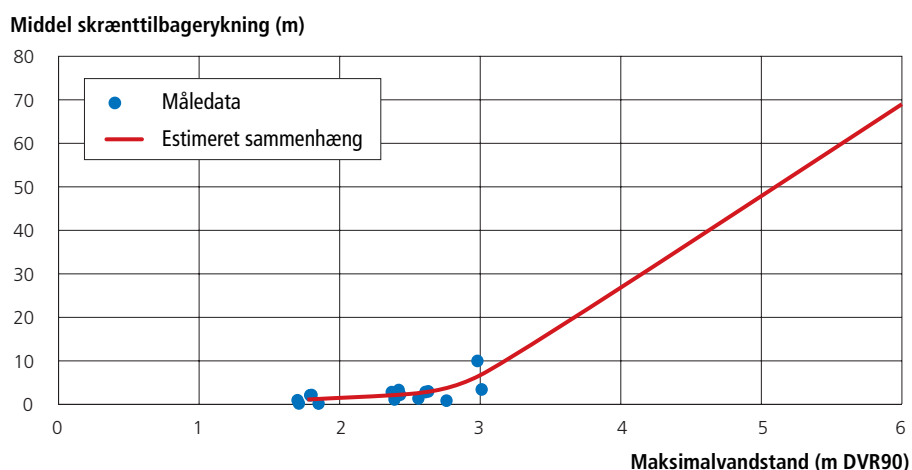


Fig. 5.7 Sammenhæng mellem skræntfodstilbagerykning og vandstand ved meget høje vandstande

At sammenhængen mellem skrænttilbagerykning og vandstand er anderledes for de forholdsvis lave vandstande end for de meget høje vandstande, skyldes variationen i udgangsprofilerne inden stormen. For de relativt lave vandstande har dette forhold stor betydning for middel af tilbagerykningen, medens det ikke betyder så meget for de meget høje vandstande.

Sammenhængen er grundlaget for beregningen af, hvor i klitbarrieren der vil ske brud. Som måledata har vist, er der under den enkelte storm stor variation i størrelsen af skrænttilbagerykningen. Variationen beskrives ved standardafvigelsen på fordelingen af tilbagerykningen. Af fig. 5.5 fremgår det, at der er en lineær sammenhæng mellem standardafvigelsen og middelværdien for tilbagerykningen. Denne sammenhæng kan ikke ekstrapoleres til de meget høje vandstande. En stor del af variationen skyldes nemlig førnævnte forskel i udgangsprofilerne inden stormen. Det antages, at den største af de standardafvigelser, der er fundet for vandstande på ca. +3 m, også vil være gældende for højere vandstande. Derfor er det i forbindelse med klitbrudsanalysen valgt at anvende en standardafvigelse på 10 m.

### 5.2.5 Klitbarrieren og magasinvolument i baglandet

Det er klitbarrierens bredde, der er bestemmende for, hvor der sker brud. På grundlag af en laserscanning af strækningen er klitbredden bestemt for hver m på langs ad kysten. Ved fastlæggelsen af bredden er der taget hensyn til, at det skal være den effektive bredde i forhold til brud og indstrømning, der medtages. Bredden af en høj klit inden for en lavning er derfor kun medregnet, såfremt lavningen ikke har forbindelse med baglandet. I skema 5.1 er klitbarrierens breddefordeling anført. Den anvendte breddeopdeling er valgt af hensyn til beregningsproceduren for brudberegningen. Ved denne beregning holdes de korte strækninger med skråningsbeskyttelse ved Vedersø Klit og Søndervig udenfor. Derfor reduceres strækningslængderne svarende hertil.

Barrierebredde (m)	Strækning (km)
Under 45	1,890
45 - 55	1,240
55 - 65	1,710
65 - 75	2,040
75 - 85	2,290
Over 85	45,830
I alt	55,0

Skema 5.1 Strækningslængde for de forskellige bredder af klitbarrieren

For at kunne fastlægge den vandstand, som indstrømning medfører i baglandet, skal man anvende magasinvolumenet her. På grundlag af arealerne i skema 4.1 er sammenhængen på fig. 5.8 mellem oversvømmelsesvandstand og volumen bestemt.

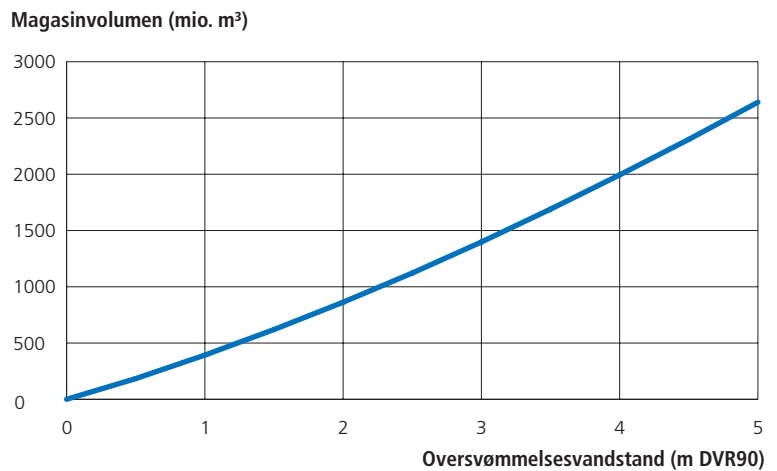


Fig. 5.8 Volumenhypsograf for baglandet

### 5.2.6 Fastlæggelse af klitbrud og beregning af indstrømningen

I dette afsnit gennemgås, hvordan oversvømmelsesvandstanden i baglandet fastlægges for en given meget høj vandstand i havet. Gennemgangen er baseret på beregningsforløbet for vandstanden +5 m, der har en middeltidsafstand på over 200.000 år.

Først fastlægges vandstandsforløbet omkring kulminationstidspunktet. Det sker på grundlag af standardvandstandsforløbet på fig. 5.2.

På fig. 5.7 aflæses, at skrænttilbagerykningen hørende til vandstanden +5 m er 48 m. Dette er middelværdien, og som anført i afsnit 5.2.4 er standardafvigelsen estimeret til 10 m. Med spring på disse 10 m er klitbarrieren behandlet for skrænttilbagerykninger på 18, 28, 38, 48, 58, 68 og 78 m, idet konsekvenserne senere vægtes svarende til, at tilbagerykningerne følger en normalfordeling.

Skrænttilbagerykningen antages ud fra de historiske data jfr. fig. 5.3 at begynde, når vandstanden på vej op passerer +2,5 m. Efter kulminationstidspunktet antages skrænttilbagerykningen at ophøre, når vandstanden er faldet til 1 m under den maksimale vandstand. Antagelsen er baseret på stormprofiltankegangen jfr. fig. 5.6. I det foreliggende eksempel betyder det, at skrænterosionen ophører, når vandstanden er faldet til +4 m. Dermed er der fastlagt en varighed af skrænttilbagerykningen, og tilbagerykningen pr. time kan herefter bestemmes for hver af de syv skrænttilbagerykninger, der behandles.

For at fastlægge skrænttilbagerykningens virkning på klitbarrieren behandles denne svarende til breddeopdelingen i skema 5.1. Klitbarrieren på 35 – 45 m behandles som en barriere på 40 m osv. Hvis man så tager barrieren på 40 m og sammenkæder den med de syv skrænttilbagerykninger, kan man fastlægge i hvilke tilfælde, der sker brud. Ved skrænttilbagerykningerne 18, 28 og 38 m sker der ikke brud, medens der sker brud ved skrænttilbagerykningerne 48, 58, 68 og 78 m. Ud fra de beregnede skrænttilbagerykninger pr. time kan man så fastlægge det tidspunkt, hvor der sker brud. Fra dette tidspunkt vil der ske indstrømning til baglandet, så længe vandstanden her er lavere end vandstanden udenfor.



Til anvendelse ved fastlæggelsen af den samlede indstrømningsmængde, er indstrømningen/time beregnet pr. m kyst for alle ydre vandstande fra +5 m til +0,5 m. Der er regnet med, at bunden af bruddet ligger i kote +0,5 m, og at denne tærskel strækker sig 400 m i øst/vest-retningen. Disse forudsætninger er tidligere anvendt af Kystinspektoret ved beregning af indstrømningen på strækningen jfr. (Kystinspektoret, 1980) og (Kystinspektoret, 1989). Der regnes med indløbstab og gennemstrømningstab, samt at der er kritisk dybde ved tærsklens østlige afslutning. På kulminationstidspunktet, hvor vandstanden i havet er +5 m, får man en strømhastighed på 5,1 m/s svarende til en indstrømningsmængde på 49.500 m<sup>3</sup>/time pr. m kyst. Hvordan indstrømningen bestemmes, når vandstanden i baglandet begynder at spille en rolle, behandles senere.

Med kendskab til indstrømningens afhængighed af den ydre vandstand kan brudsituationerne svarende til skrænttilbagerykning på henholdsvis 48, 58, 68 og 78 m behandles. Fra det fastlagte brudtidspunkt bestemmes indstrømningsmængden for hver 5 timer, og den akkumulerede indstrømningsmængde kan fastlægges for de samme tidspunkter.

Nu kan det gennemsnitlige indstrømningsforløb for barrierebredden 40 m fastlægges som et vægtet gennemsnit for de syv analyserede skrænttilbagerykninger, idet vægtningen sker ud fra antagelsen om, at skrænttilbagerykningen er normalfordelt.

Efter samme princip er det gennemsnitlige indstrømningsforløb fastlagt for barrierebredderne 50, 60, 70 og 80 m.

Ved anvendelse af opgørelsen i skema 5.1 over den samlede længde af strækninger med hver af barrierebredderne kan det gennemsnitlige indstrømningsforløb for hele strækningen Husby - Nymindegab beregnes.

Indstrømningen medfører gradvis opfyldning af det lave område i baglandet. På grundlag af en analyse af vandstandsdata fra målerne i Ringkøbing Fjord forud for og under stormsituationer i perioden 1980-2002 sættes vandstanden i fjorden til +0,5 m, når indstrømningen begynder. Ved anvendelse af volumenhyposografen fig. 5.8 kan oversvømmelsesvandstanden så fastlægges svarende til beregningstidspunkterne.

Når oversvømmelsesvandstanden i baglandet bliver højere end overfladen af den kritiske strømning, regnes der ikke længere med kritisk strømning. Indstrømningen herefter, indtil indstrømningen ophører, og den maksimale oversvømmelsesvandstand er nået, er bestemt overslagsmæssigt.

### 5.3 Sammenfatning af indstrømningsberegningerne

Ved anvendelse af den metodik, der er beskrevet i afsnit 5.2, er indstrømningen og oversvømmelsesvandstanden bestemt for vandstandene +4, +4,5, +5 og +5,5 m i havet.

Som det er fremgået, bygger den anvendte metodik på, at gennemstrømningsåbningens størrelse bestemmes af skrænttilbagerykningen. Det er imidlertid klart, at efter at der er sket brud et sted i klitten, og indstrøm-

ningen er begyndt, vil der ske en udvidelse af gennemstrømningsåbningen på langs ad kysten. Visser har i sin ph.d.-afhandling (Visser, 1998) beskæftiget sig med denne problematik i den model, han har opstillet for brududviklingen i et sanddige langs en kanal eller flod. Han opdeler brududviklingen i fem faser, og i de sidste to faser sker der bl.a. en udvikling af bruddet i digets længderetning.

Ud fra klitbreddens variation på strækningen antages det typiske antal brud ved alle vandstandssituationer at være 6. På grundlag af Vissers afhandling er den typiske længdeudvidelse sat til 100 m pr. brud. Derfor er strækningen med klitbredde under 45 m i indstrømningsberegningerne forøget med 600 m.

Resultatet af beregningerne for de fire maksimalvandstande i havet er samlet i skema 5.2 sammen med middeltidsafstandene, der jo kan overføres direkte til oversvømmelsesvandstandene.

Vandstand i havet	Middeltidsafstand	Oversvømmelsesvandstand
+4,0 m	2.375 år	+0,70 m
+4,5 m	23.043 år	+1,90 m
+5,0 m	238.421 år	+3,65 m
+5,5 m	2.616.532 år	+4,80 m

Skema 5.2 Oversvømmelsesvandstand for ekstreme vandstande i havet

# Beregning af oversvømmelsesrisikoen

## 6.1 Indledning

I dette afsnit beregnes den årlige risiko for oversvømmelse af strækningen Husby – Nymindegab på grundlag af det opgjorte skadepotentiale i afsnit 4 og de fastlagte middeltidsafstande for oversvømmelsesvandstande i afsnit 5.

## 6.2 Beregning af risikoen

Risikoen beregnes som integralet af produktet af oversvømmelsesvandstandenes sandsynligheder pr. år og den potentielle skade opgjort i kr. I praksis foretages beregningen ved at inddele oversvømmelsesvandstandene i passende intervaller, hvorefter produkterne beregnes for hvert interval og til sidst summeres.

I skema 6.1 er beregningsgrundlaget vist. Det fremgår, at den beregnede oversvømmelsesrisiko er 1,1 mio. kr. pr. år. Det må anses for en lille risiko i betragtning af de store værdier i baglandet.

Det er meget vanskeligt at sige noget kvantitativt om usikkerheden på den fremkomne risiko. Da risikoen beregnes ved multiplikation af to af hinanden uafhængige talsæt, kan det være værd at sammenligne usikkerheden på de to talsæt. Her må usikkerheden på fastlæggelsen af de indre vandstande være betydeligt større end usikkerheden på opgørelsen af skadepotentialet. Argumentet er, at der som grundlag for indstrømningsberegningerne blev gjort nogle forudsætninger, som har meget stor indflydelse på den samlede indstrømningsmængde. Eksempler herpå er f.eks. valget af standardvandstandsforløbet og tærskelkoten. De trufne valg samt det forhold, at der ikke er taget hensyn til terrænet i baglandet, gør, at indstrømningsmængden formentlig er overvurderet, således at den fremkomne risiko må antages at være i overkanten.

Indre vandstand	Vandstandsinterval	Sandsynlighed pr. år	Potentiel skade mio. kr.	Produkt mio. kr./år
0,5 m	0,25 m – 0,75 m	0,00077206	822	0,634
1,0 m	0,75 m – 1,25 m	0,00022810	1.019	0,232
1,5 m	1,25 m – 1,75 m	0,00009145	1.271	0,116
2,0 m	1,75 m – 2,25 m	0,00003040	1.636	0,049
2,5 m	2,25 m – 2,75 m	0,00001369	2.158	0,029
3,0 m	2,75 m – 3,25 m	0,00000670	3.000	0,020
3,5 m	3,25 m – 3,75 m	0,00000365	4.300	0,015
4,0 m	3,75 m – 4,25 m	0,00000215	5.481	0,011
4,5 m	4,25 m – 4,75 m	0,00000075	6.768	0,005
5,0 m	4,75 m – 5,25 m	0,00000029	8.295	0,002
			<b>Beregnet risiko</b>	<b>1,117</b>

Skema 6.1 Risikoberegning