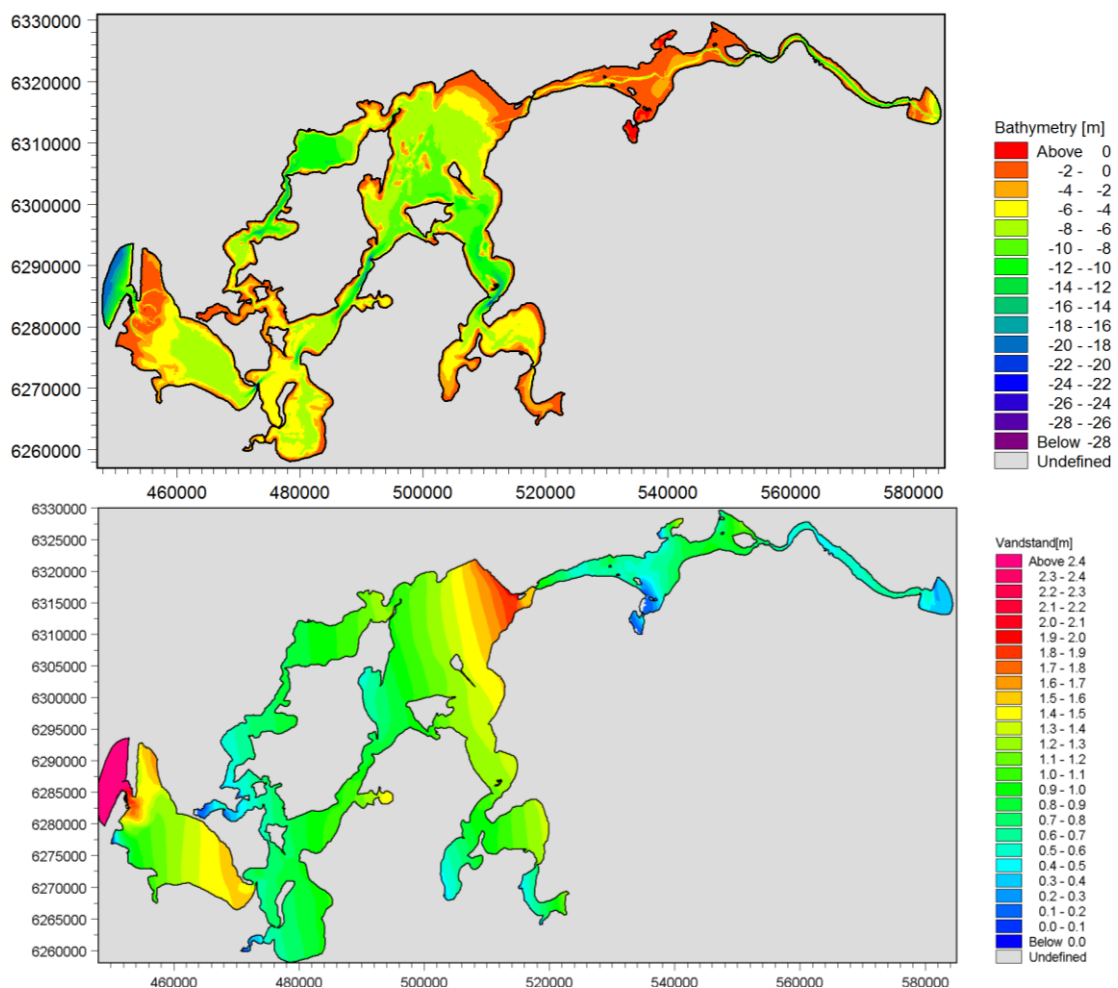


Stormflodsundersøgelse i Limfjorden

Modelgrundlag, kalibrering og følsomhedsanalyse



Stormflodsundersøgelse i Limfjorden

Agern Allé 5
2970 Hørsholm

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

Marts 2011

Klient Kystdirektoratet	Klientens repræsentant Signe Marie Ingvarsdén
--------------------------------	--

Projekt Stormflodsundersøgelse i Limfjorden	Projekt nr. 11807534
--	-----------------------------

Forfattere Bo Brahtz Christensen	Dato 4. marts 2011
	Godkendt af Rolf Deigaard

Revision	Beskrivelse	Udført	Kontrolleret	Godkendt	Dato
1	Opdateret Endelig Rapport	BBC	RD	RD	04.03.11
0	Foreløbig Rapport	BBC	RD	RD	22.12.10

Nøgleord	Klassifikation <input type="checkbox"/> Åben <input type="checkbox"/> Intern <input checked="" type="checkbox"/> Tilhører klienten
----------	---

Distribution Kystdirektoratet DHI:	Signe Ingvarsdén, Søren Bjerre Knudsen, Holger Toxvig BBC, RD	Antal kopier
--	---	--------------



INDHOLDSFORTEGNELSE

1	INDLEDNING	1-1
2	DATAGRUNDLAG	2-1
2.1	Batymetridata	2-1
2.1.1	Lokale batymetriopmålinger	2-2
2.2	Vinddata	2-4
2.3	Vandstandsdata	2-5
2.4	Bølgedata	2-6
2.5	Tidevandsdata	2-6
3	UDVÆLGELSE AF STORMFLODSHÆNDELSESR	3-1
3.1	Vandstandsforløb under stormhændelser	3-2
3.2	Vind under stormhændelser	3-5
3.3	Bølger under stormhændelser	3-7
4	MODELOPSÆTNING	4-1
4.1	Batymetri og beregningsnet	4-1
5	TIDEVANDSMODELLERING	5-1
5.1	Tidevandsstationer	5-1
5.2	Sammenligning af modelleret og konstituent beregnet tidevand	5-2
5.3	Tidevandsgenereret vandføring	5-7
5.4	Strømfordeling i Thyborøn Kanal og Nissum Bredning	5-8
6	BØLGEMODELLERING	6-1
6.1	Eksempler på resultater fra bølgemodellen	6-1
7	BØLGERS BETYDNING FOR STORMFLODSNIVEAUER	7-1
7.1	Analyse af Storm 1	7-1
7.1.1	Bølgereaktionskræfters indvirkning på vandstand	7-1
7.1.2	Bølgereaktionskræfters indvirkning på vandføring	7-3
7.2	Analyse af Storm 2	7-4
7.2.1	Bølgereaktionskræfters indvirkning på vandstand	7-4
7.2.2	Bølgereaktionskræfters indvirkning på vandføring	7-6
7.3	Analyse af Storm 3	7-6
7.3.1	Bølgereaktionskræfters indvirkning på vandstand	7-6
7.3.2	Bølgereaktionskræfters indvirkning på vandføring	7-8
7.4	Analyse af Storm 4	7-9
7.4.1	Bølgereaktionskræfters indvirkning på vandstand	7-9
7.4.2	Bølgereaktionskræfters indvirkning på vandføring	7-11
7.5	Analyse af Storm 5	7-11
7.5.1	Bølgereaktionskræfters indvirkning på vandstand	7-11
7.5.2	Bølgereaktionskræfters indvirkning på vandføring	7-13
7.6	Analyse af Storm 6	7-13
7.6.1	Bølgereaktionskræfters indvirkning på vandstand	7-13
7.6.2	Bølgereaktionskræfters indvirkning på vandføring	7-15



8	STORMFLODSMODELLERING	8-1
8.1	Nulpunktskorrigerede vandstande	8-1
8.2	Stormflodsniveauets følsomhed over for vindretningen	8-2
8.3	Simulerede stormfloder, Storm 1-6	8-9
8.3.1	Sammenligning af stormflodsvandstande	8-15
8.3.2	Simulering, Storm 1	8-16
8.3.3	Simulering, Storm 2	8-21
8.3.4	Simulering, Storm 3	8-26
8.3.5	Simulering, Storm 4	8-31
8.3.6	Simulering, Storm 5	8-36
8.3.7	Simulering, Storm 6	8-41
9	FØLSOMHEDSANALYSE	9-1
9.1	Følsomhed for ændring af dybderne i Thyborøn Kanal	9-1
9.1.1	Storm 1	9-3
9.1.2	Storm 2	9-10
9.2	Følsomhed for ændringer af fjordgrundene i Nissum Bredning	9-16
9.2.1	Storm 1	9-18
9.2.2	Storm 2	9-20
9.3	Følsomhed for ændring af løbenes dybder i Nissum Bredning	9-21
9.3.1	Storm 1	9-22
9.3.2	Storm 2	9-25
9.4	Følsomhed for ændringer i stormflodsintensitet	9-28
9.4.1	Storm 1	9-29
9.4.2	Storm 2	9-33
9.5	Følsomhed for ændringer af middelvandstand	9-36
9.5.1	Storm 1	9-36
9.5.2	Storm 2	9-37
9.6	Impulsudbredelse	9-38
9.6.1	Udbredelse af impuls fra vest	9-38
9.6.2	Udbredelse af impuls fra øst	9-43
10	HISTORISKE FORHOLD - 1958	10-1
10.1	Batymetri	10-1
10.2	Modellering af historiske storme	10-3
10.2.1	Modelrandvandstande	10-4
10.2.2	Vind	10-5
10.2.3	Sammenligning af målte og modellerede vandstande	10-5
10.3	Modellering af nutidige storme på historisk batymetri	10-9
10.3.1	Storm 1	10-9
10.3.2	Storm 2	10-14
10.3.3	Storm 3	10-18
10.3.4	Storm 4	10-21
10.3.5	Storm 5	10-25
10.3.6	Storm 6	10-29
10.3.7	Opsummering	10-33
11	FREMTIDIGE FORHOLD	11-1
11.1	Batymetri	11-2
11.1.1	Tværsnitsudvikling	11-4
11.2	Modellering af nutidige storme på fremtidig batymetri	11-9
11.2.1	Storm 1	11-9
11.2.2	Storm 2	11-10
11.2.3	Storm 3	11-11



11.2.4	Storm 4	11-12
11.2.5	Storm 5	11-12
11.2.6	Storm 6	11-13
12	INDSNÆVRET ÅBNING AF THYBORØN KANAL	12-1
12.1	Batymetrier.....	12-1
12.2	Stormflodsniveauer	12-3
12.2.1	Storm 1	12-3
12.2.2	Storm 2	12-7
12.3	Strømforhold i Thyborøn Kanal	12-11
12.3.1	Ændringer under storm	12-12
12.3.2	Ændringer under normale forhold.....	12-14
13	ÆNDRINGER I TIDEVANDSPRISME OG INDSTRØMNING.....	13-1
13.1	Tidevand	13-1
13.2	Ændring i indstrømning under stormflod.....	13-3
14	HØJVANDSSTATISTIK I DEN VESTLIGE DEL AF LIMFJORDEN	14-1
14.1	Modellerede storme	14-1
14.2	Modellerede vandstande	14-3
14.3	Højvandsstatistik baseret på modellerede vandstande.....	14-14
14.4	Højvandsstatistik baseret på korrektion af målinger	14-25
14.4.1	Thyborøn Havn	14-26
14.4.2	Lemvig	14-28
14.4.3	Løgstør	14-29
14.4.4	Skive.....	14-31
15	REFERENCER	1

BILAG

A	Vandstandsdata
B	Bølgedata
C	Tidevandsdata



1 INDLEDNING

Denne rapport indeholder et studie af stormflodshændelser i Limfjorden for at belyse betydningen af ændringer i forholdene ved Thyborøn. Seks nutidige referencestorme er anvendt til at kalibrere og verificere modellens evne til at simulere vandstandsvariationer i Limfjordssystemet under stormhændelser. Endvidere er modellens evne til at forudsige vandstandsvariationer under historiske stormhændelser verificeret ved at afvikle en signifikant stormhændelse fra 1954 med en 1958 batymetri af forholdene ved Thyborøn.

Der er udført en række følsomhedsanalyser for at belyse ændringer af fjordgrundenes koteniveau, dybdeforholdene i Thyborøn kanal og løbene i Nissum Bredning betydning for stormflodsniveauerne i Limfjordssystemet. Endvidere er der også undersøgt betydningen af en indsnævret åbning i form af en forlængelse af hofde 59 og 72.

Sluttelig er 30 historiske stormhændelser simuleret med en batymetri fra 2005, en historisk batymetri fra 1958 og en skønnet fremtidig batymetri for 2060. Simuleringerne er anvendt til analyse af ekstremværdier svarende til 2005 forhold og til de fremtidige forhold i 2060 i den vestlige del af Limfjordssystemet.



2 **DATAGRUNDLAG**

Kystdirektoratet har indsamlet og leveret hovedparten af det foreliggende datagrundlag til DHI med enkelte undtagelser. De indsamlede rådata er leveret af Farvandsvæsenet, Kystdirektoratet, DMI og DMU. Datagrundlaget udgøres af følgende type informationer.

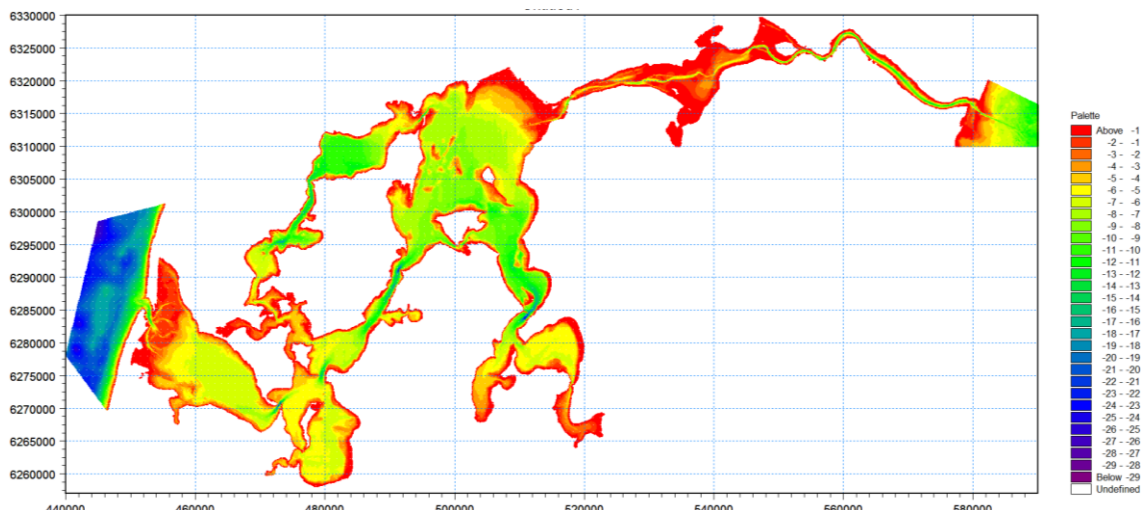
- Farvandsvæsenets dybdemodeller for Kattegat Nord og Nordsøen.
- Lokale batymetriopmålinger i Limfjorden.
- Lokale vinddata fra Thyborøn, Ålborg og Hals.
- Målte tidsserier af vandstand for Thyborøn Hav, Thyborøn Havn, Lemvig, Thisted, Mors, Skive, Hvalpsund, Løgstør, Nibe, Ålborg og Hals Barre.
- Bølgedata fra Fjaltring.

De modtagne målte tidsserier refererer enten til UTC-tid eller dansk normal tid afhængig af leverandør. Alle data som ikke refererer til dansk tid er konverteret hertil, idet denne tidsangivelse er valgt som reference i de hydrodynamiske modelberegninger.

2.1 **Batymetridata**

Det overordnede batymetrigrundlag for Limfjordsmodellen udgøres af et ekstrakt fra Farvandsvæsenets dybdemodeller af Kattegat Nord og Nordsøen. Kattegat Nord modellen er sammensat af data med en cellestørrelse på 50 x 50 m, mens Nordsøen (den vestlige del af Limfjorden) er opløst med 100 x 100 m - begge i dataprojektionen UTM-32, datum WGS 84. Databasens indhold bygger på opmålingsaktiviteter foretaget siden slutningen af 1800-tallet og frem til 2006. Det må derfor forventes, at der vil være områder, hvor databasens indhold afviger fra de faktiske forhold. Blandt andet er der konstateret større afvigelser fra søkortet ved Ålborg, hvor sejlrenden og dybder ved kaj anlæg ikke er afspejlet korrekt. I dette område har det derfor været nødvendigt at lave en manuel korrektion af batymetrien for at få afspejlet nutidige forhold.

Udtrukne data fra Farvandsvæsenets dybdemodel er vist i Figur 2-1 og består af 268.999 datapunkter.

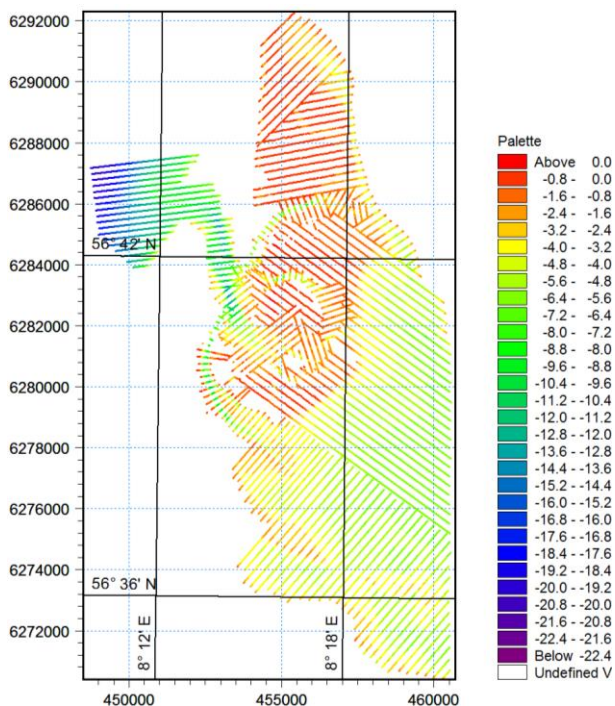


Figur 2-1 Limfjords batymetridata fra Farvandsvæsenets database. Den vestlige del af fjorden er opløst i et 100 x 100 m net, mens den østlige del af fjorden er opløst i et 50 x 50 m net.

2.1.1 Lokale batymetriopmålinger

For at forbedre detaljeringsgraden af Limfjordsmodellens batymetri er Farvandsvæsenets dybde data suppleret eller erstattet med nyere lokale opmålinger. Disse opmålinger er foretaget ved Thyborøn Kanal, Oddesund og Aggersund, hvor et detaljeret kendskab til batymetrien er vigtig, idet disse områder repræsenterer de største hydrauliske enkelttab i Limfjorden samt adskiller fjordens bassiner.

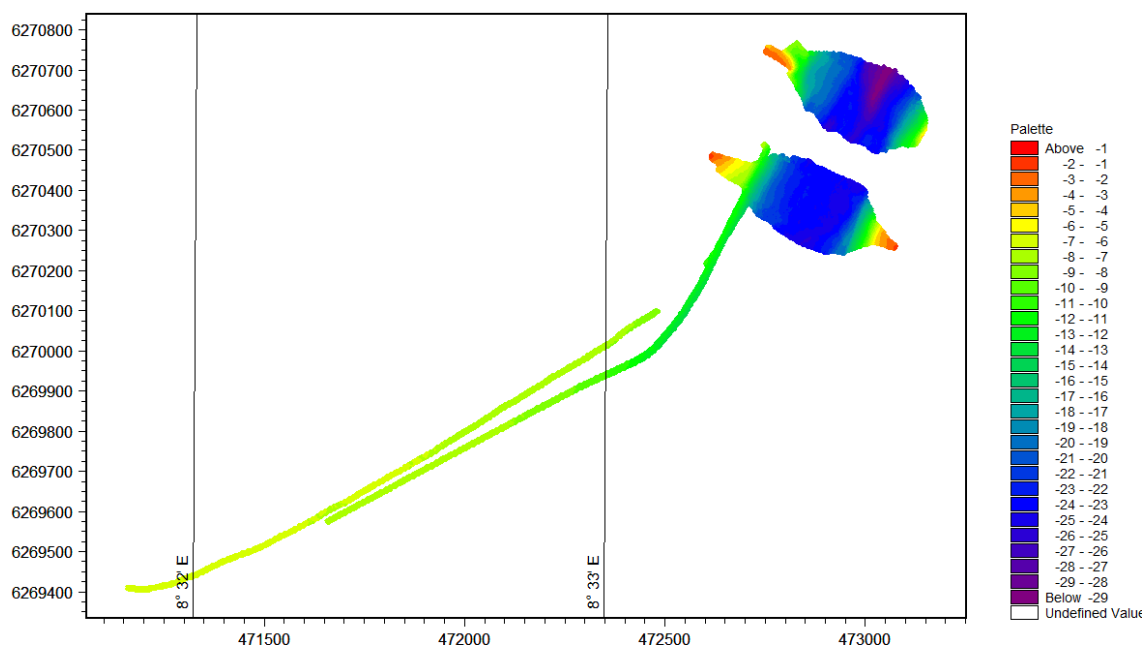
De anvendte batymetridata for Thyborøn Kanal og omkringliggende områder er fra år 2005 og består af 236.350 datapunkter. Pejledataene er vist i Figur 2-2 nedenfor.



Figur 2-2 Kystdirektoratets opmålte batymetri fra 2005 af området ved Thyborøn.

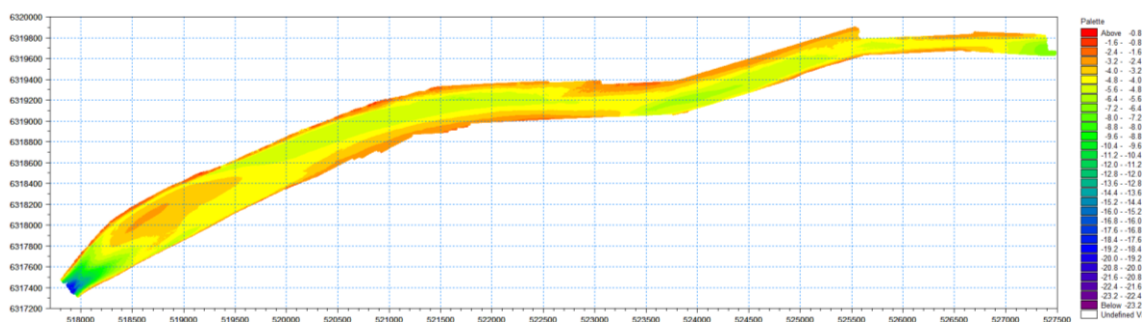
Til modellering af historiske forhold er de i Figur 2-2 viste pejledata erstattet med pejledata fra 1958. Disse data er vist og plottet i Figur 10-1. I de øvrige områder er de batymetriske ændringer skønnet at være relativt begrænsede og derfor ikke erstattet.

Analogt til Figur 2-2 er batymetridata fra 2010 af området ved Oddesund vist i Figur 2-3. Pejledataene er i dette område sammensat af 46.905 datapunkter.



Figur 2-3 Kystdirektoratets opmålte batymetri af området ved Oddesund.

Endelig er batymetridata fra 2010 af området øst for Aggersund vist i Figur 2-4 nedenfor. Pejledataene er i dette område sammensat af 980.766 datapunkter.



Figur 2-4 Kystdirektoratets opmålte batymetri af området øst for Aggersund.

Alle de benyttede batymetridata refererer til UTM zone 32 og WGS-84. De benyttede dybder er antaget at referere til det vertikale datum DVR90.



2.2 **Vinddata**

Vindens styrke og retning har en afgørende betydning for niveauet af stormflodsvandstande inde i fjorden, idet vindens påvirkning alene er i stand til at fremkalde signifikante vandspejlsforskelle på tværs af fjorden og indenfor de enkelte bassiner. Til at inddrage vindens påvirkning i Limfjorden under stormflodshændelser er der blevet indhentet vindtidsserier fra DMI for stationerne i Thyborøn, Ålborg og Hals. De tre vindtidsserier er alle karakteriseret af, at tidsangivelsen refererer til UTC, og at detaljeringsniveauet er øget i takt med den teknologiske udvikling. I teksten nedenfor er en række hovedinformationer om de angivne vinddata.

Thyborøn

- Tidsserien dækker perioden fra 1960-2010.
- Perioden 1960 til november 2000 indeholder data i form af 3 timers middelvind og retning.
- Efterfølgende periode indeholder data i form af 10 minutters middelvind og retning.

Ålborg

- Tidsserien dækker perioden fra 1953-2010.
- Perioderne 1953-1981 og 1986 til februar 2003 indeholder data i form af 3 timers middelvind og retning.
- Perioden 1982-1985 indeholder data i form af 1 times middelvind og retning.
- Perioden februar 2003-2010 indeholder data i form af 10 minutters middelvind og retning.

Hals

- Tidsserien dækker perioderne 1985-1991 og 2002-2010.
- Perioden 1985-1991 indeholder data i form af 3 timers middelvind og retning.
- Perioden 2002-2010 indeholder data i form af 10 minutters middelvind og retning.

Den hydrodynamiske model tillader kun brug af en vindtidsserie indeholdende vindhastighed og retning eller i form af et tidsvarierende vindfelt over hele modelområdet indeholdende atmosfæretrykket og to vindkomponenter. Der har ikke været adgang til vindfelter før i projektets slutfase, så stormflodsmodelleringen er derfor baseret på målte vindtidsserier. Thyborøn og Ålborg tidsserien er derfor valgt til beskrivelse af vindforholdene i hele modelområdet, vel vidende, at de faktiske forhold (vindhastighed og retning) vil kunne afvige længere inde i fjorden.



2.3 Vandstandsdata

Repræsentative vandstandsdata ved modelområdet ydre rande er vigtige, idet disse bruges til at drive ind- og udstrømning til/fra modelområdet. Den hydrodynamiske models ydre modelrand mod vest er placeret således, at forholdene med god tilnærmelse kan beskrives ved hjælp af målinger fra Thyborøn Hav måleren, mens den østlige rand beskrives ved hjælp af enten Hals Barre Fyr 1 eller Fyr 2.

Vandstandsdata fra stationer indenfor modelområdet er ligeledes vigtige, idet disse bruges til at kalibrere og verificere den hydrodynamiske model. Endvidere er modellens hovedformål at belyse, hvordan en række faktorer som for eksempel klimarelaterede vandstandsstigninger og fortsat migration af Thyborøn Kanal vil påvirke stormflods niveauerne i Limfjorden.

Løbende vandstandsregistrering i Limfjorden foretages af Kystdirektoratet, DMI og DMU. DMI's vandstandsmålere refererer til UTC-tid, mens de to øvrige refererer til dansk normal tid. Måleseriernes længde og kvalitet varierer fra station til station. I *Tabel 2-1* nedenfor er der angivet informationer om målerlokalitet, måleperiode, leverandør af data samt en beregnet middelvandstand i måleperioden. Vandstandstidsserierne for hver af de 14 stationers måleperiode er i øvrigt plottet op og vist i Bilag A.

Tabel 2-1 Oversigt over vandstandsdata i Limfjorden.

Målerlokalitet	Måleperiode	Leverandør	Middelvandstand [m]
Hals Barre Fyr I	2001-2010	DMI	-0,08
Hals Barre Fyr II	2001-2010	DMI	-0,07
Hvalpsund	1995-2009	DMU	0,13
Lemvig	2001-2010	DMI	0,18
Løgstør	1985-2009	DMU	0,13
Mors	2005-2010	DMI	0,16
Nibe	1993-2007	DMU	0,06
Rønbjerg	2001-2010	DMI	0,12
Skive	2000-2010	DMI	0,15
Thisted	2001-2010	DMI	0,10
Thyborøn Hav	1975-2010	Kystdirektoratet	0,06
Thyborøn Havn	1974-2010	Kystdirektoratet	0,05
Øland-Attrup	1996-2009	DMU	0,09
Ålborg Øst	1987-2009	DMU	-0,01

Alle vandstandsstationerne refererer i teorien til DVR90, men som det ses af variationerne i tidsseriernes middelvandstand er det overvejende sandsynligt, at der er mindre afvigelser herfra på de enkelte stationer.



2.4 **Bølgedata**

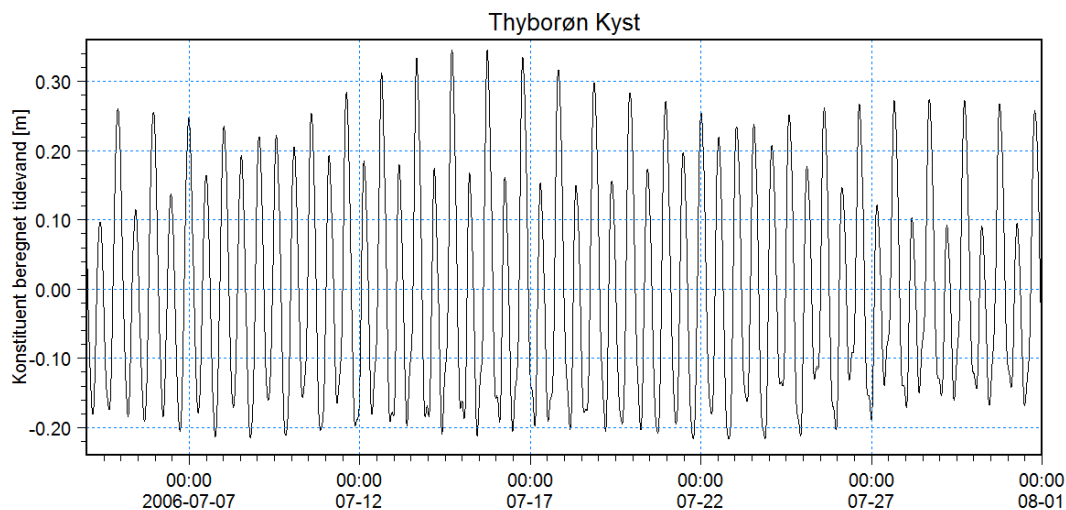
Bølger har relativ lille indflydelse på stormflodsniveauerne i de indre dele af Limfjorden, men ude på den åbne Vesterhavskyst bliver der genereret bølgedrevne strømme langs med kysten i takt med at bølgerne bryder. Om hvorvidt effekten af de brydende bølger (bølgereaktionskraften) under storm bidrager til en mærkbar forøget indstrømning gennem Thyborøn Kanal er uklart, men skal søges belyst i dette studie.

Repræsentative bølgedata på den ydre vestlige modelrand antages at kunne beskrives med observationer fra Fjaltring. Den rå Fjaltring tidsserie omfatter perioden: 1992-2010. Denne tidsserie er suppleret med en kontinuert DHI version (1992-2007), hvor data er sammensat af målte og modellerede værdier. Informationer fra DHI tidsserien om bølgehøjder, bølgeperioder og middelbølgeretninger er plottet op og vist i Bilag B.

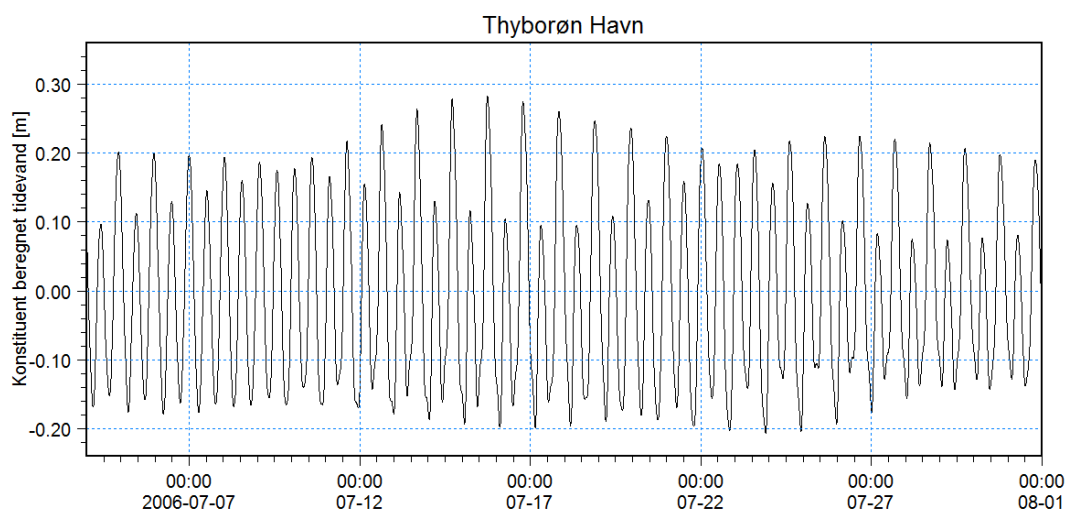
2.5 **Tidevandsdata**

Som en del af verifikationen af den hydrodynamiske model er der indhentet beregnet tidevand for perioden januar 2006 til og med marts 2007. Tidevandstidsserierne er leveret af DMI og fundet på baggrund af en række tidevandskonstituenten. Tidsserierne refererer til UTC-tid og omfatter stationerne: Thyborøn Kyst (Hav), Thyborøn Havn, Lemvig, Thisted, Løgstør, Skive, Ålborg Øst og Hals Barre. Tidevandstidsserierne er plottet og vist i figurerne i Bilag C. Af de viste plot fremgår det, at tidsserierne for hver enkelt station har forskellige middelvandstande. Endvidere fremgår det, at tidevandet for Ålborg Øst, som indeholder nogle uforklarlige langperiodiske svingninger, enten er fejlbehæftet eller baseret på en række konstituenten, som ikke er benyttet til beregning af tidevand i de øvrige stationer.

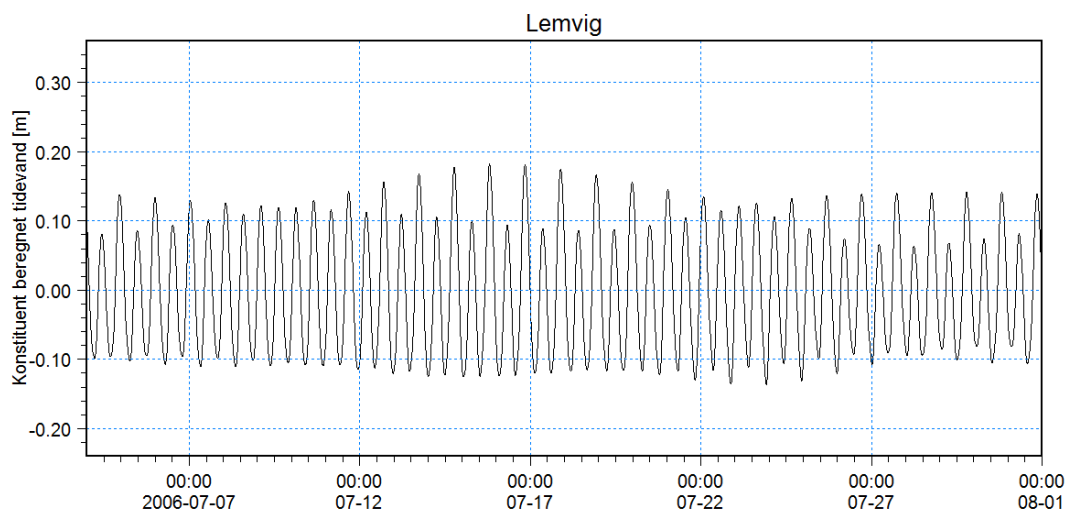
Den store variation i middelvandstand indebærer, at tidevandstidsserierne ikke kan bruges til verifikation af modellen uden at blive modificeret til samme nulpunkt. Til at verificere den hydrodynamiske models evne til at beskrive tidevandet i Limfjorden er det valgt at benytte dataene for juli måned 2006. Disse data er alle blevet nulpunktsjusteret for at undgå, at tidevandet overlejres af en drivende vandspejlsgradient fra Thyborøn til Hals Barre, og således at modelleret og beregnet tidevand kan sammenlignes direkte. Opløsningen af tidevandet i tidsserierne er på 10 minutter. De nulpunktsjusterede tidevandstidsserier er vist i de følgende figurer for to efterfølgende nip og flod tidevands-cykler (28 dage). Bemærk der er benyttet den samme skala i alle figurer, således at man kan få en klar fornemmelse af, hvordan tidevandet dæmpes ind mod midten af fjorden.



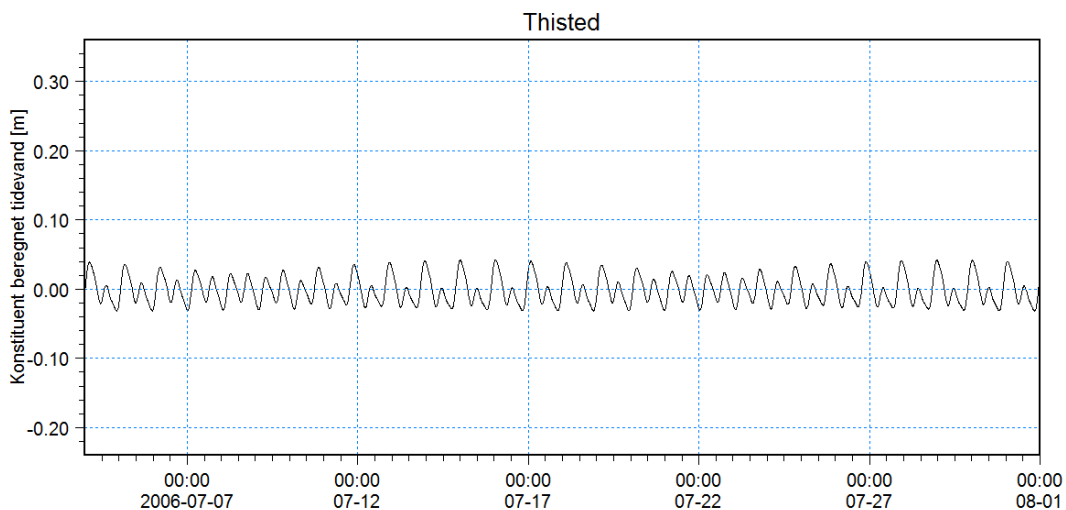
Figur 2-5 *Konstituentberegnet tidevand for Thyborøn Kyst juli 2006.*



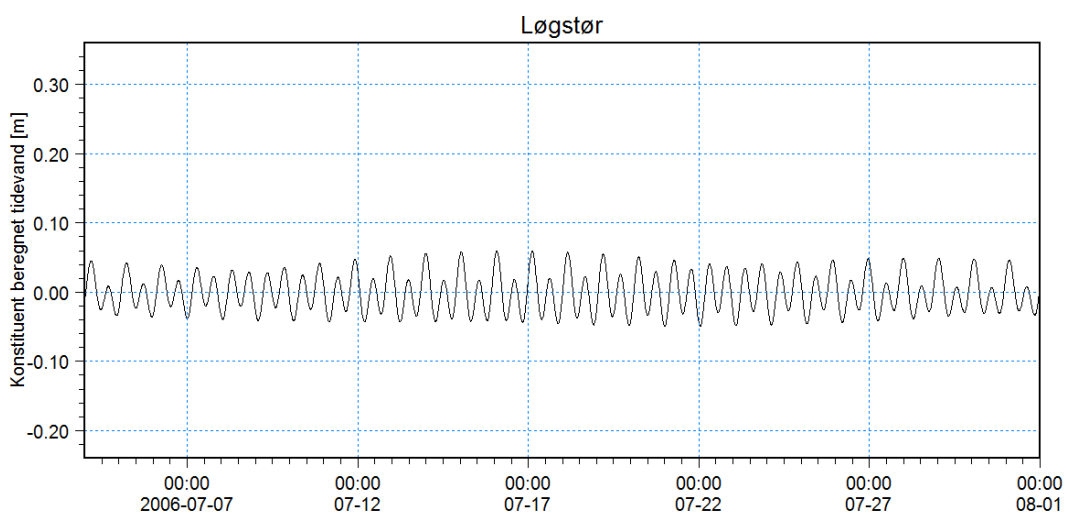
Figur 2-6 *Konstituentberegnet tidevand for Thyborøn Havn juli 2006.*



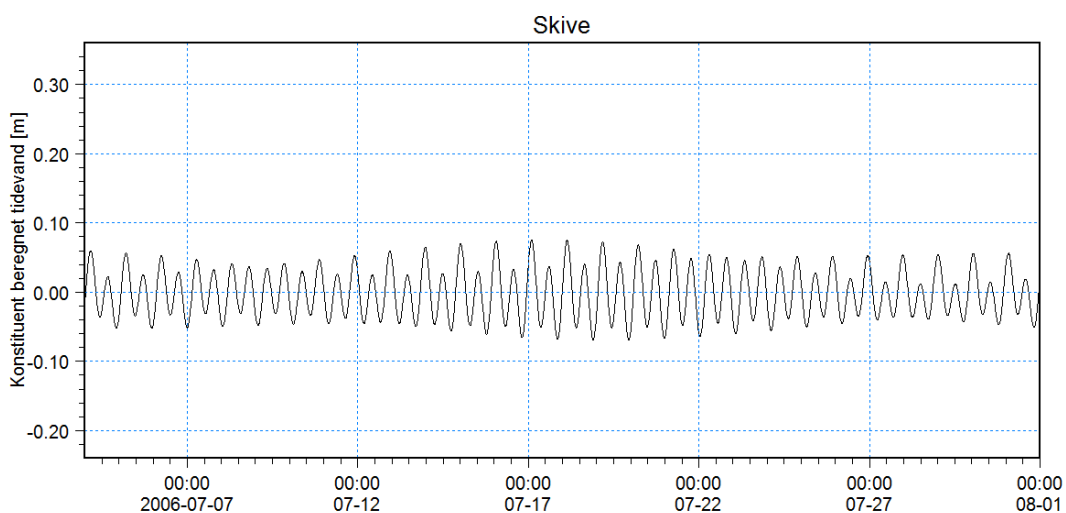
Figur 2-7 *Konstituentberegnet tidevand for Lemvig juli 2006.*



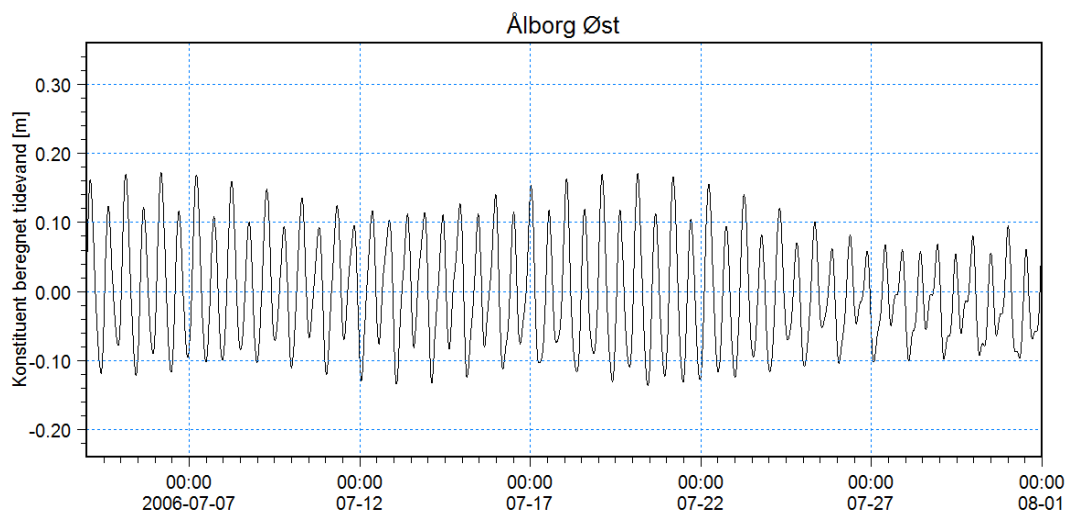
Figur 2-8 Konstituentberegnet tidevand for Thisted juli 2006.



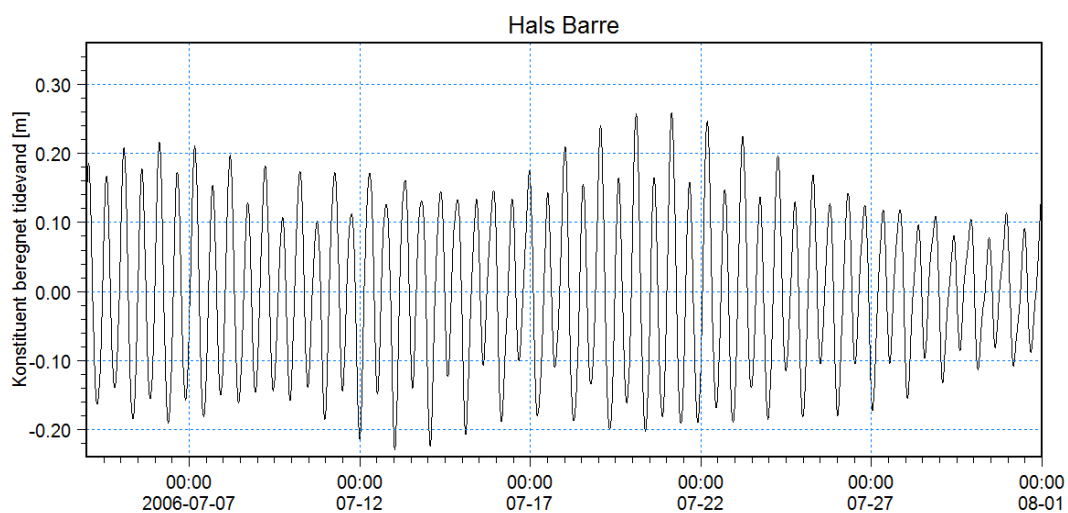
Figur 2-9 Konstituentberegnet tidevand for Løgstør juli 2006.



Figur 2-10 Konstituentberegnet tidevand for Skive juli 2006.



Figur 2-11 Konstituentberegnet tidevand for Ålborg Øst juli 2006.



Figur 2-12 Konstituentberegnet tidevand for Hals Barre juli 2006.

Tidevandet for Thyborøn Kyst og Hals Barre anvendes som drivende randbetingelser i den hydrodynamiske Limfjordsmodel.



3 UDVÆLGELSE AF STORMFLODSHÆNDELSE

Kalibreringen af den hydrodynamiske Limfjordsmodel er foretaget på baggrund af seks udvalgte stormflodshændelser i perioden omkring 2005, hvor batymetrien ved Thyborøn er opmålt. De seks stormflodshændelser er udvalgt ud fra følgende kriterier:

- Høj vandstand ved Thyborøn Hav og Thyborøn Havn målerne
- Brugbare vandstandsdata ved Hals Barre Fyr I eller Fyr II
- Høj vandstand ved Løgstør

En gennemgang af tidsserierne for perioden 2005-2009 resulterede i en udskillelse af 12 hændelser, som potentielt vil kunne bruges. Fire af disse hændelser skiller sig markant ud fra de øvrige i form af markant højere observerede vandstande ved Thyborøn og er derfor selvskrevne. De to resterende hændelser er valgt i dialog med Kystdirektoratet ved at se på perioden 2000 til 2009 og ud fra et kriterium om, at hændelsen resulterede i en relativ høj vandstand ved Løgstør. De herved fundne 14 hændelser er listet nedenfor i Tabel 3-1. Fed skrift markerer, at hændelsen er udvalgt til kalibreringen af den hydrodynamiske model.

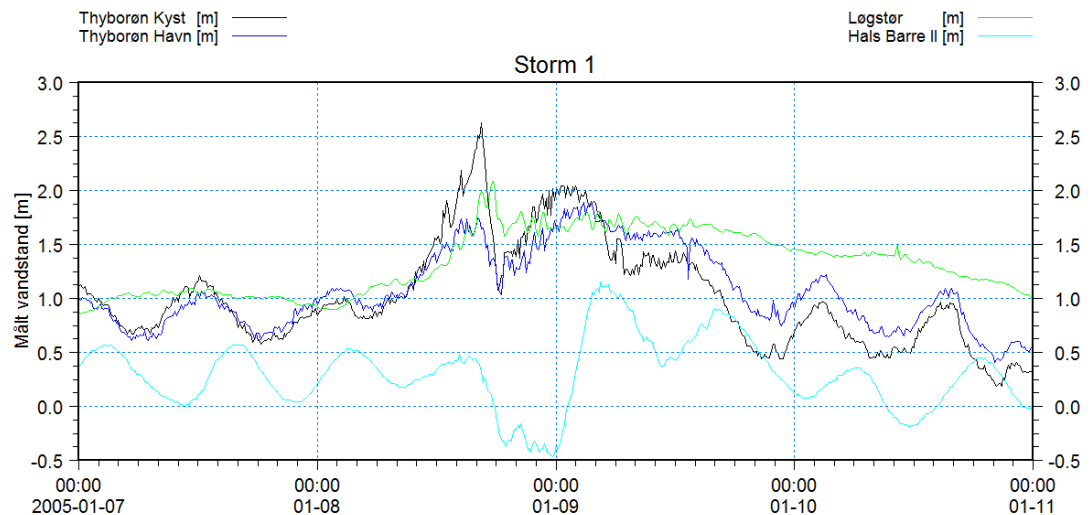
Tabel 3-1 Højvandshændelser i perioden 2000-2009 med reference til DVR90.

Højvandshændelse	Målt vandstand Thyborøn Hav [m]	Målt vandstand Thyborøn Havn [m]	Målt vandstand ved Løgstør [m]
14. december 2000	1,64	1,21	1,3
29. januar 2002	2,05	1,28	1,32
8.-9. januar 2005	2,63	1,89	2,05
5. december 2006	1,73	1,35	1,11
1.-2. januar 2007	1,79	1,43	1,27
12. januar 2007	2,29	1,78	1,74
14. januar 2007	1,72	1,40	1,50
19. januar 2007	1,64	1,34	0,99
21. januar 2007	1,72	1,38	1,15
19. marts 2007	2,13	1,64	1,41
1.-2. februar 2008	1,81	1,36	1,33
1.-2. marts 2008	2,22	1,60	1,30
4. oktober 2009	1,85	1,36	1,12
18. november 2009	2,06	1,27	1,00

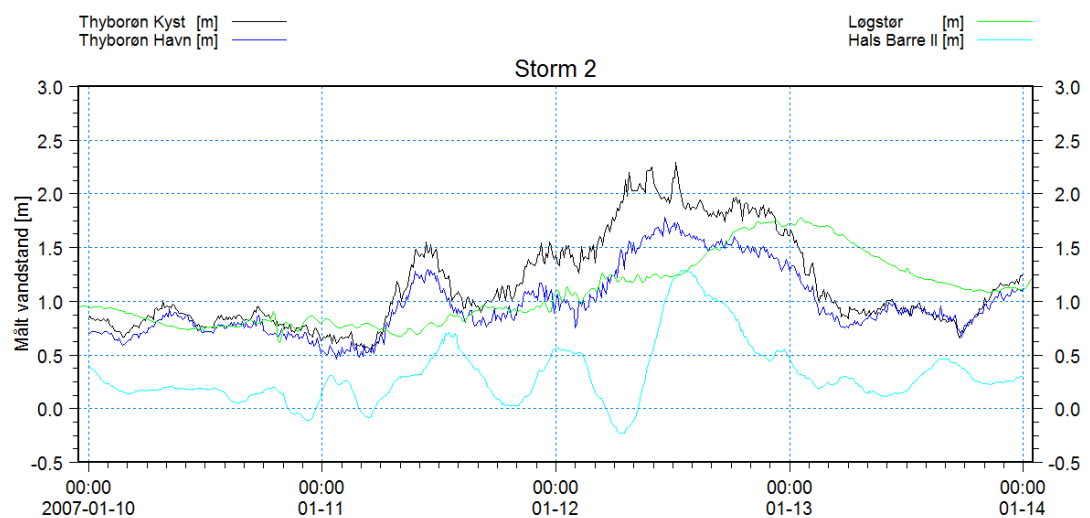


3.1 Vandstandsforløb under stormhændelser

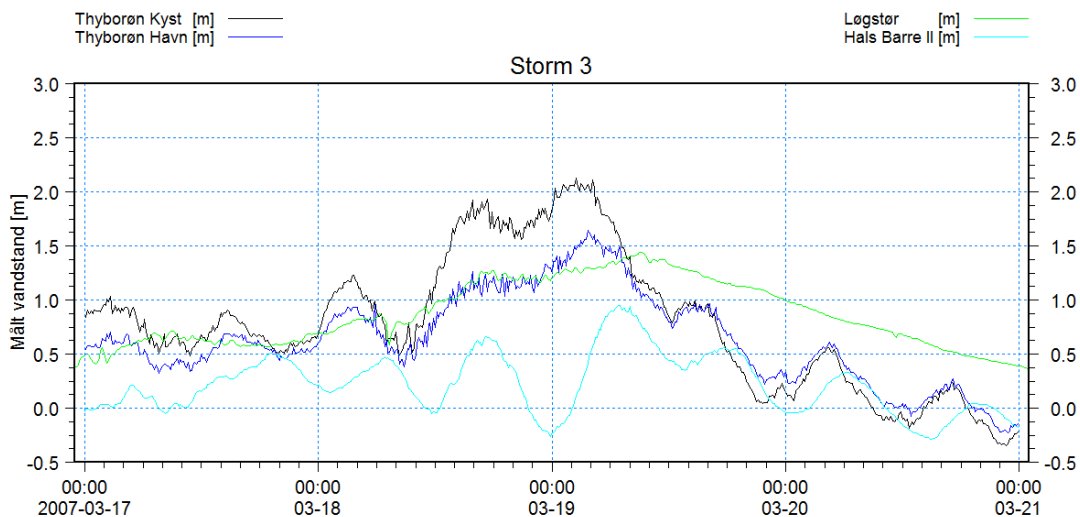
Forløbet af vandstande ved Thyborøn Kyst (Hav), Thyborøn Havn, Løgstør og Hals Barre er plottet i de følgende figurer for hver af de seks udvalgte stormflodshændelser. De målte vandstande ved Thyborøn Hav og Hals Barre anvendes som drivende randbetingelser på den hydrodynamiske model af Limfjorden.



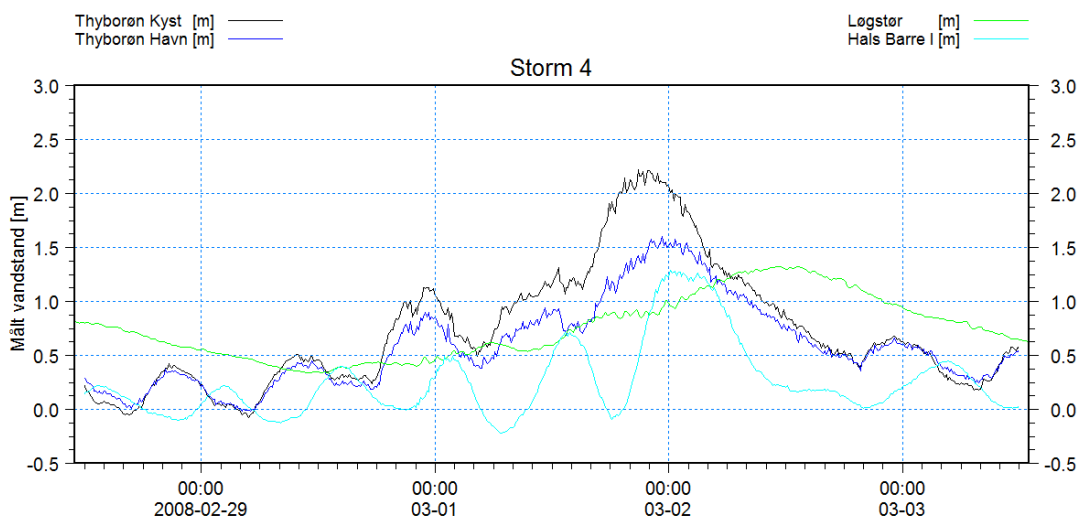
Figur 3-1 Observerede vandstande ved Thyborøn Hav, Thyborøn Havn, Løgstør og Hals Barre Fyr II under Storm 1.



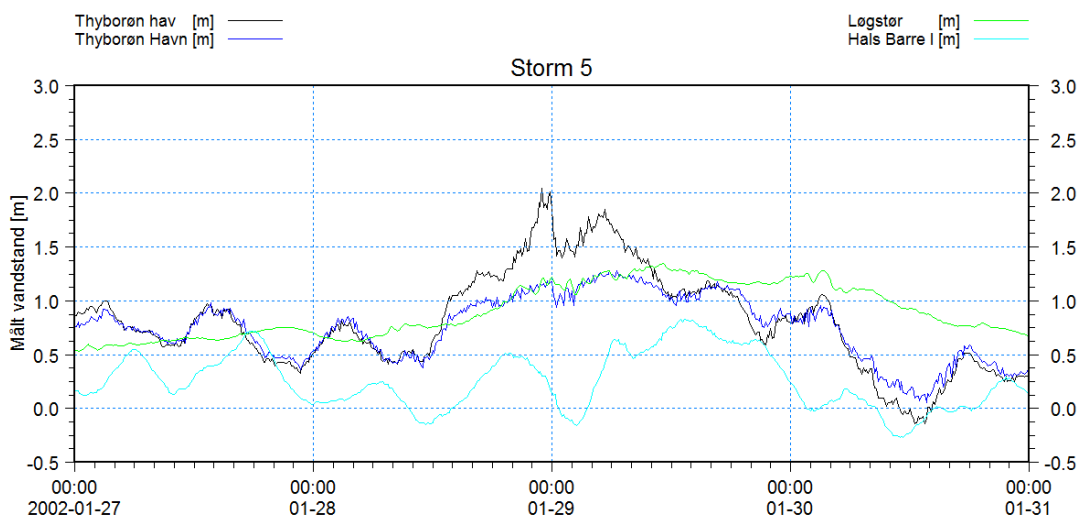
Figur 3-2 Observerede vandstande ved Thyborøn Hav, Thyborøn Havn, Løgstør og Hals Barre Fyr II under Storm 2.



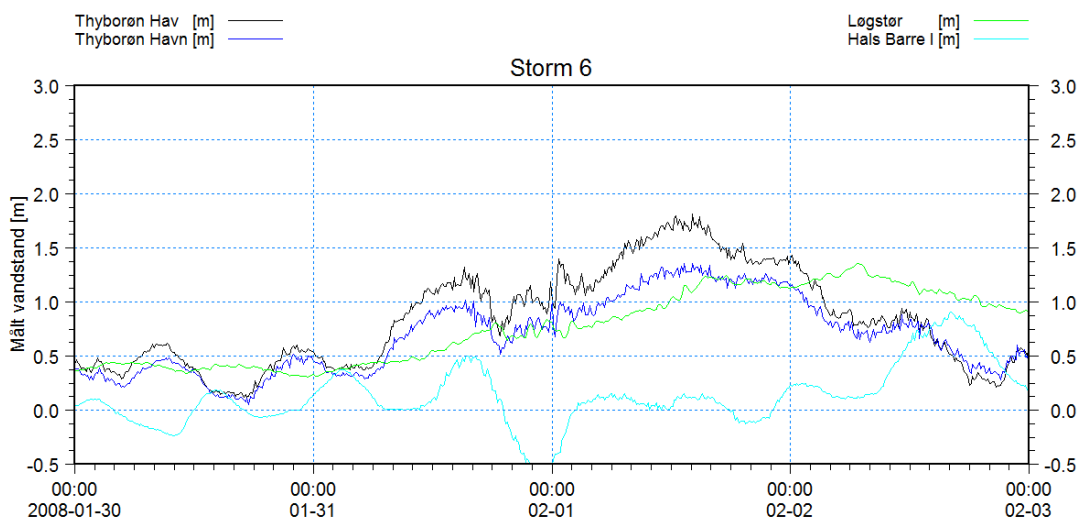
Figur 3-3 Observerede vandstande ved Thyborøn Hav, Thyborøn Havn, Løgstør og Hals Barre Fyr II under Storm 3.



Figur 3-4 Observerede vandstande ved Thyborøn Hav, Thyborøn Havn, Løgstør og Hals Barre Fyr I under Storm 4.



Figur 3-5 Observerede vandstande ved Thyborøn Hav, Thyborøn Havn, Løgstør og Hals Barre Fyr I under Storm 5.



Figur 3-6 Observerede vandstande ved Thyborøn Hav, Thyborøn Havn, Løgstør og Hals Barre Fyr II under Storm 6.

Tabel 3-2 Observerede maksimalvandstande.

Hændelse	Thyborøn Hav [m DVR90]	Thyborøn Havn [m DVR90]	Løgstør [m DNN]
Storm 1A	2,63	1,75	2,09
Storm 1B	2,04	1,89	1,81
Storm 2	2,29	1,78	1,77
Storm 3	2,13	1,64	1,44
Storm 4	2,22	1,60	1,32
Storm 5	2,05	1,28	1,35
Storm 6	1,81	1,36	1,36

Den observerede maksimalvandstand for hver af de seks hændelser er angivet i Tabel 3-2 for Thyborøn Hav, Thyborøn Havn og Løgstør. Storm 1 hændelsen kan i realiteten opfattes som indeholdende to hændelser og er derfor adskilt i hændelserne 1A og 1B.

For bedre at kunne vurdere ekstremiteten af de seks udvalgte hændelser er der i Tabel 3-3 angivet en række statistiske middelvandstande for de tre stationer, som er udregnet på baggrund af Ref. /1/.

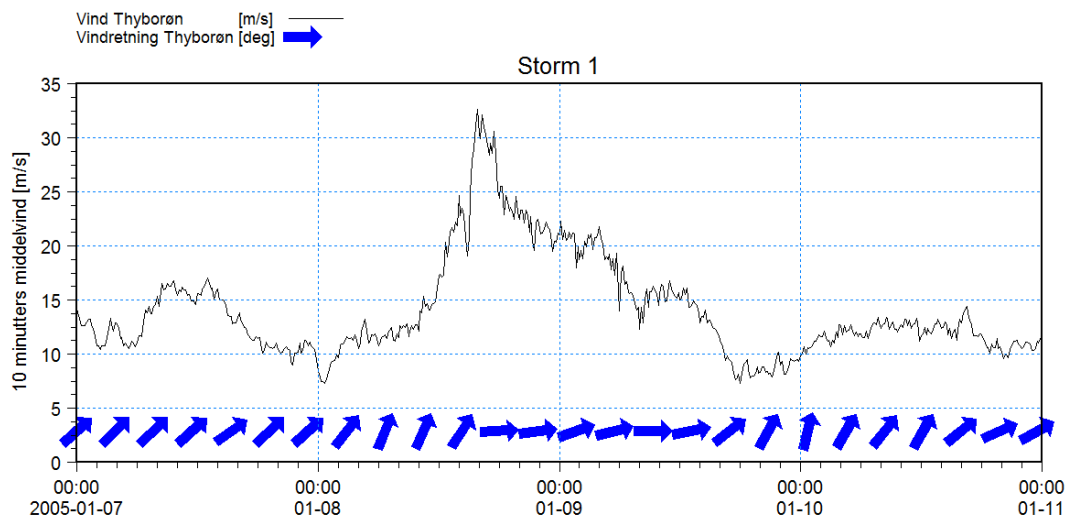
Tabel 3-3 Statistiske middelvandstande 100 år, 50 år, 20 år og 1 år med reference til DVR90.

Hændelse	Thyborøn Hav [m]	Thyborøn Havn [m]	Løgstør [m]
VS ₁₀₀	2,61	1,90	1,94
VS ₅₀	2,51	1,84	1,81
VS ₂₀	2,37	1,76	1,64
VS ₁	1,81	1,28	1,13

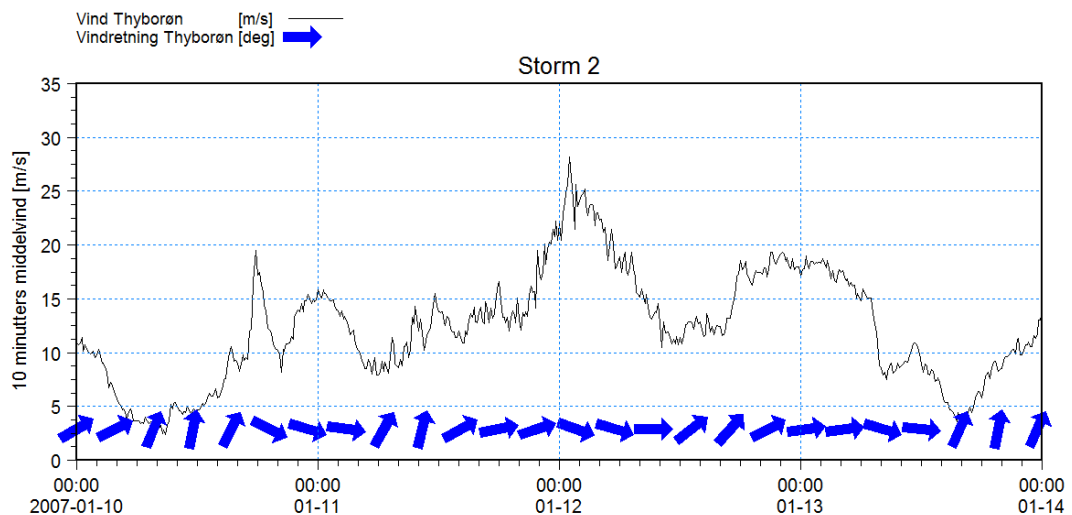
Heraf ses, at Storm 1 udgør hvad der omtrent svarer til en 100 års hændelse ved Thyborøn, mens den ved Løgstør er endnu mere ekstrem.

3.2 Vind under stormhændelser

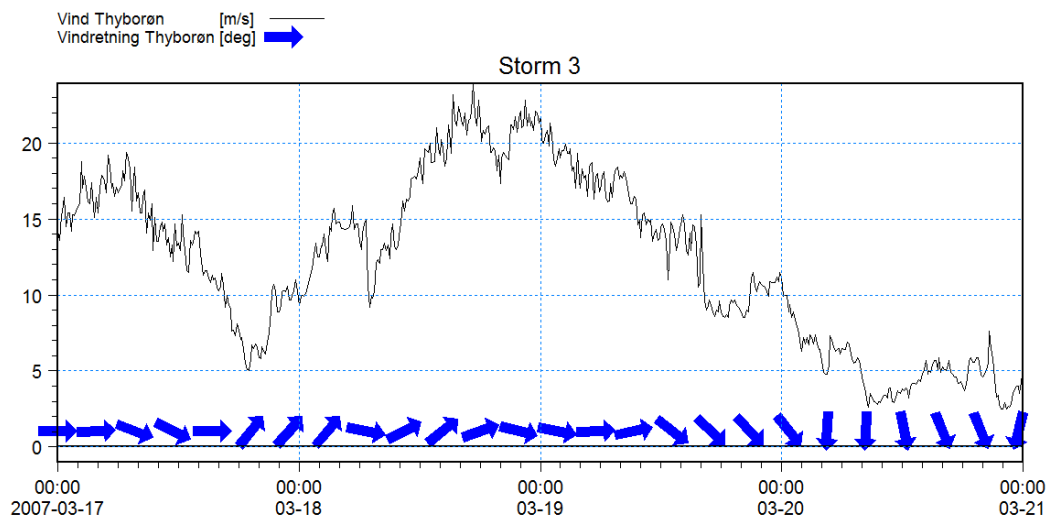
Kraftig vind spiller som tidligere nævnt en afgørende rolle for stormflodsniveauerne, idet vindpåvirkning af vandoverflader på langs af fjordens indre bassiner resulterer i et mærkbart tilt af vandspejlet og dermed en væsentlig forøget vandstand langs den ene side af bassinet. Forløbet af den målte 10 minutters middelvind ved Thyborøn under de seks udvalgte hændelser er plottet i de følgende figurer.



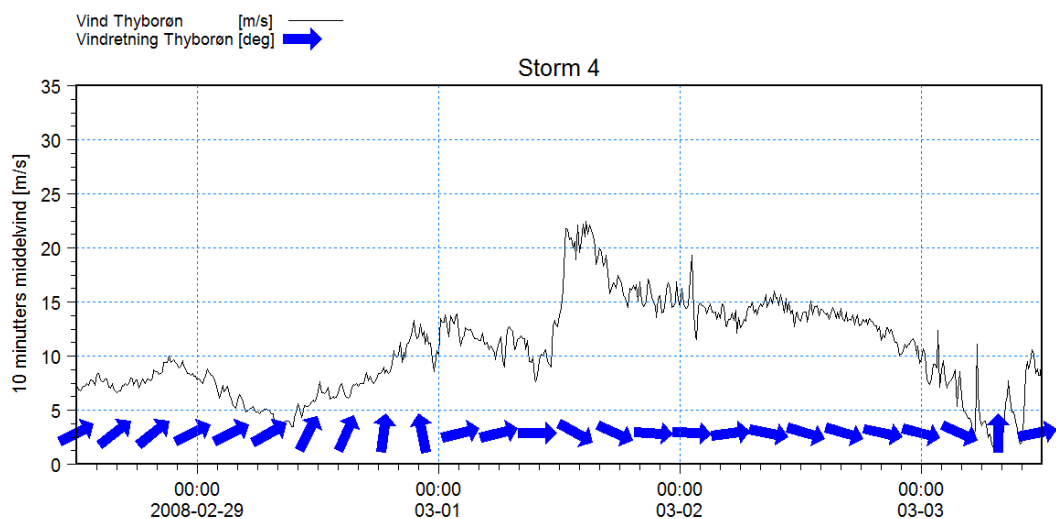
Figur 3-7 Målt vind ved Thyborøn under Storm 1.



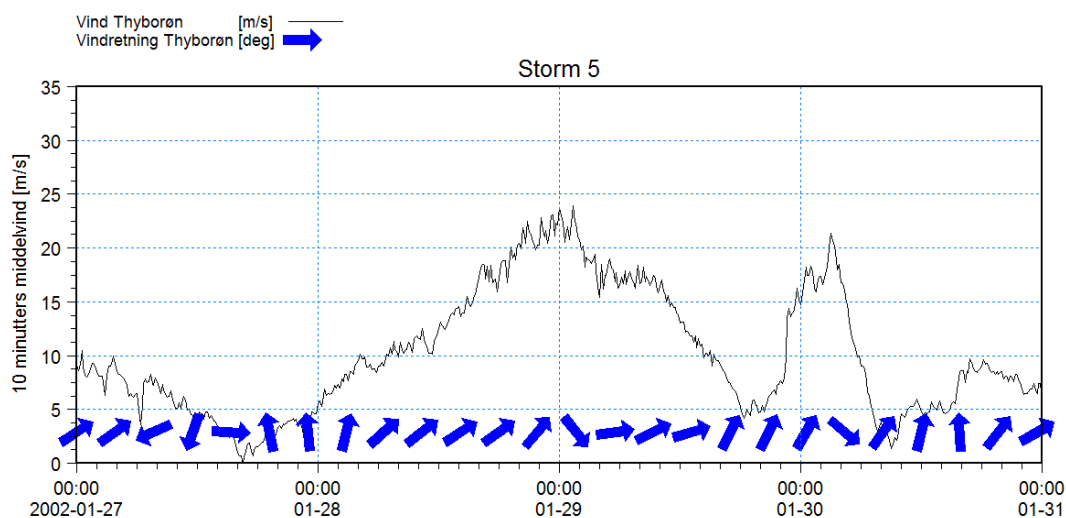
Figur 3-8 Målt vind ved Thyborøn under Storm 2.



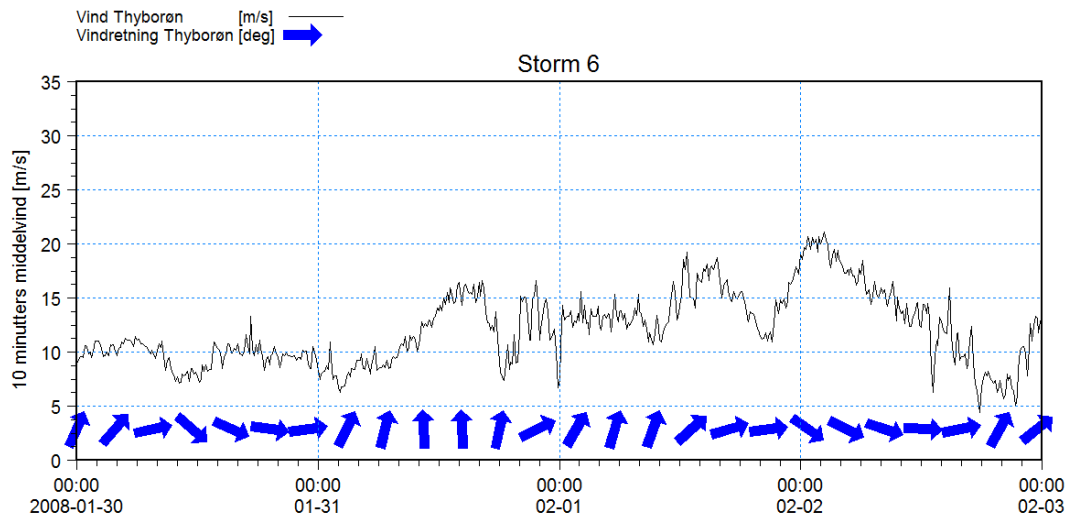
Figur 3-9 Målt vind ved Thyborøn under Storm 3.



Figur 3-10 Målt vind ved Thyborøn under Storm 4.



Figur 3-11 Målt vind ved Thyborøn under Storm 5.

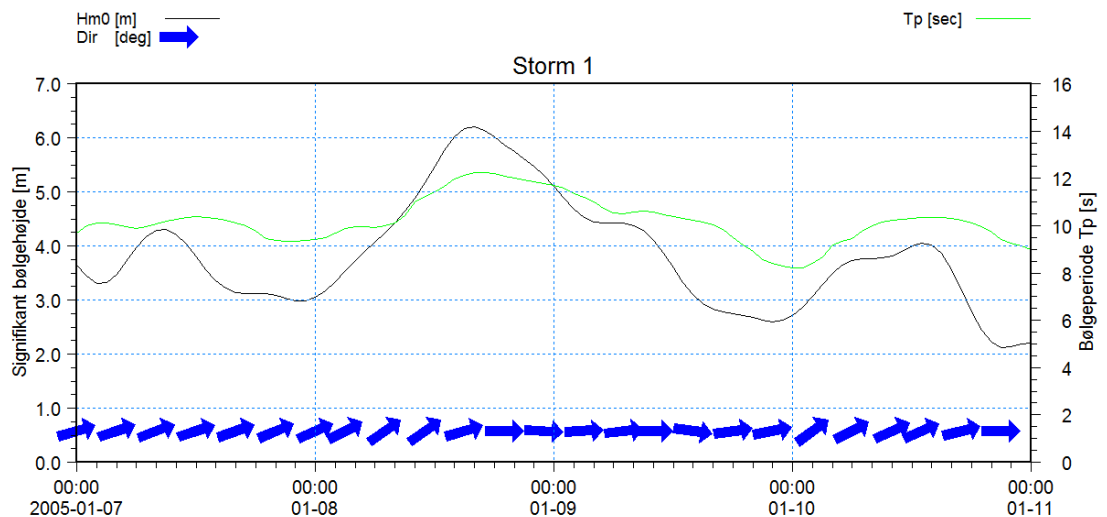


Figur 3-12 Målt vind ved Thyborøn under Storm 6.

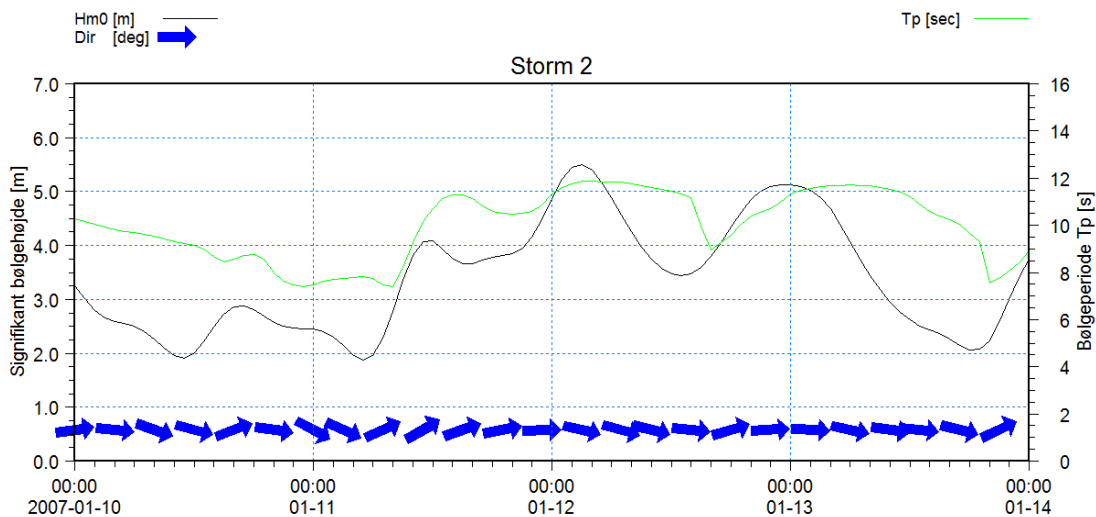
3.3 Bølger under stormhændelser

Bølgernes eventuelle forstærkende effekt på indstrømningen gennem Thyborøn Kanal og dermed stormflodsniveauerne i Limfjorden er uklar. Der skal derfor udføres en række simuleringer, hvor bølgereaktionskræfterne inkluderes, således at bølgenes betydning for stormflodsniveauerne i Limfjorden kan afklares.

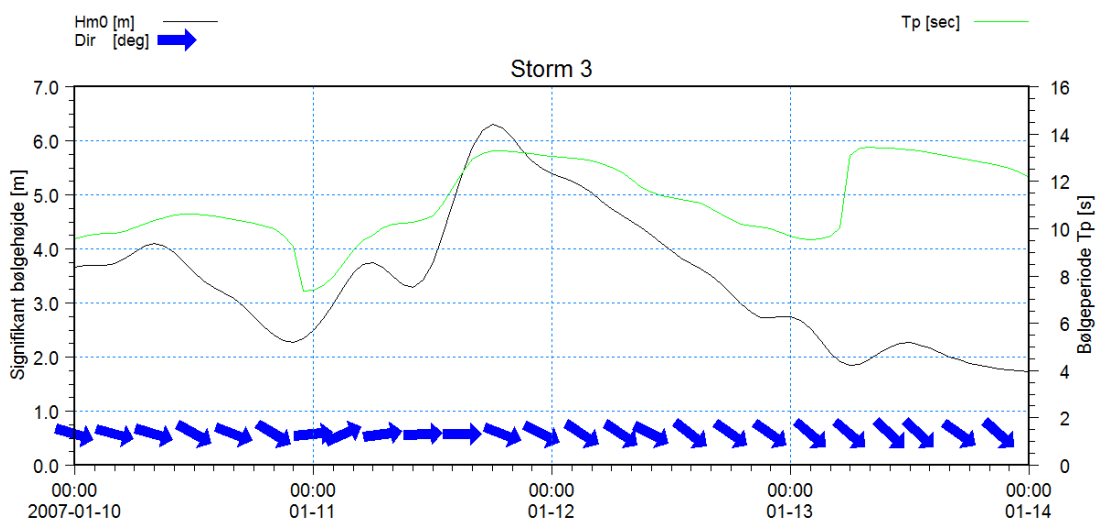
I de følgende figurer er Fjaltring bølgedata i form af bølgehøjder, middelbølgeretninger og bølgeperioder plottet for hver af de seks hændelser.



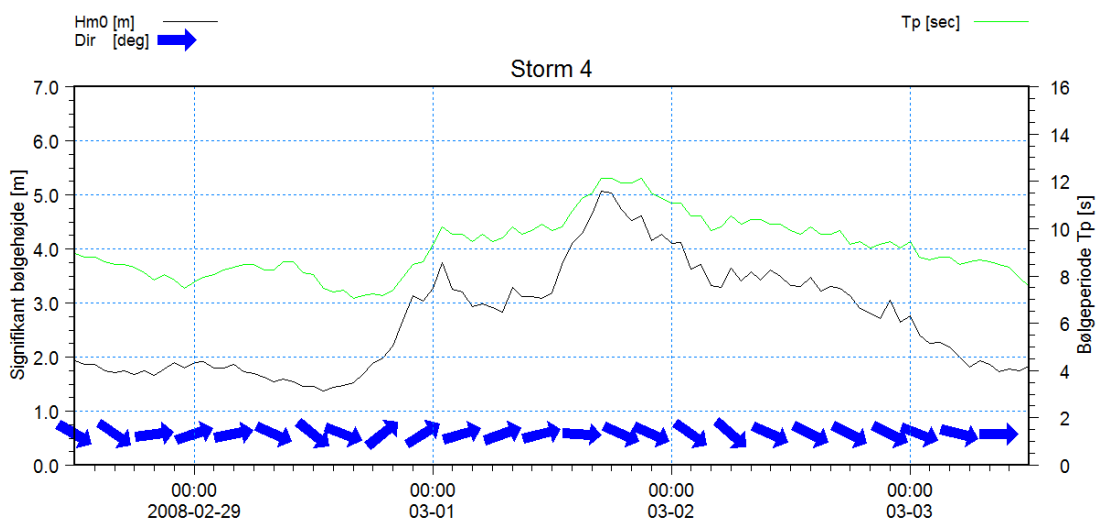
Figur 3-13 Fjaltring bølgedata under Storm 1.



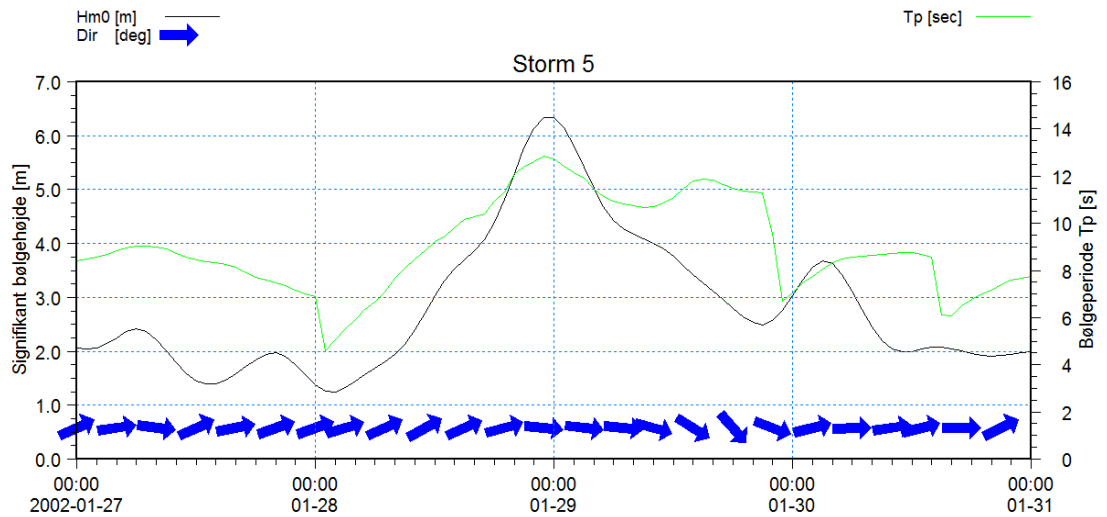
Figur 3-14 Fjaltring bølgedata under Storm 2.



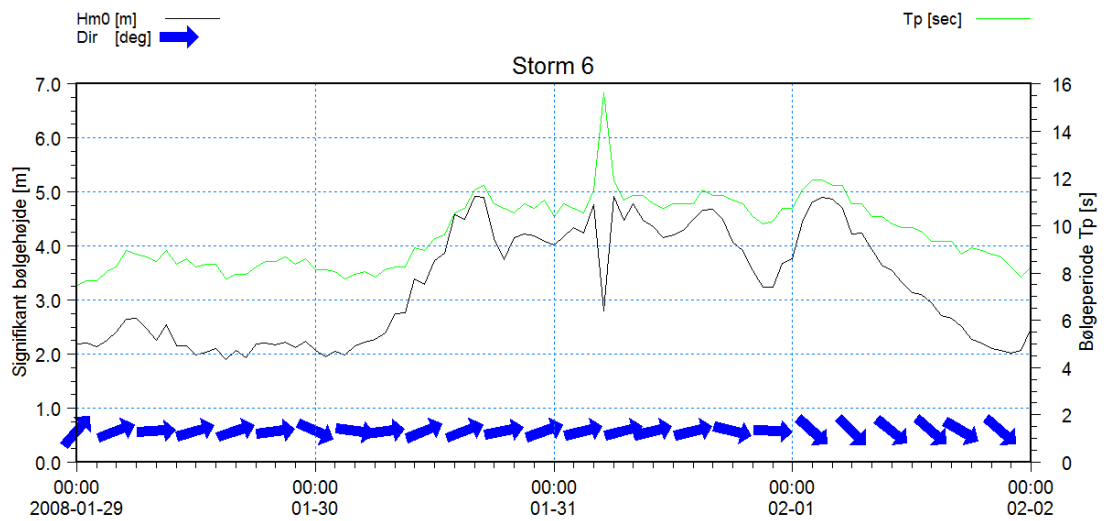
Figur 3-15 Fjaltring bølgedata under Storm 3.



Figur 3-16 Fjaltring bølgedata under Storm 4.



Figur 3-17 Fjaltring bølgedata under Storm 5.



Figur 3-18 Fjaltring bølgedata under Storm 6.

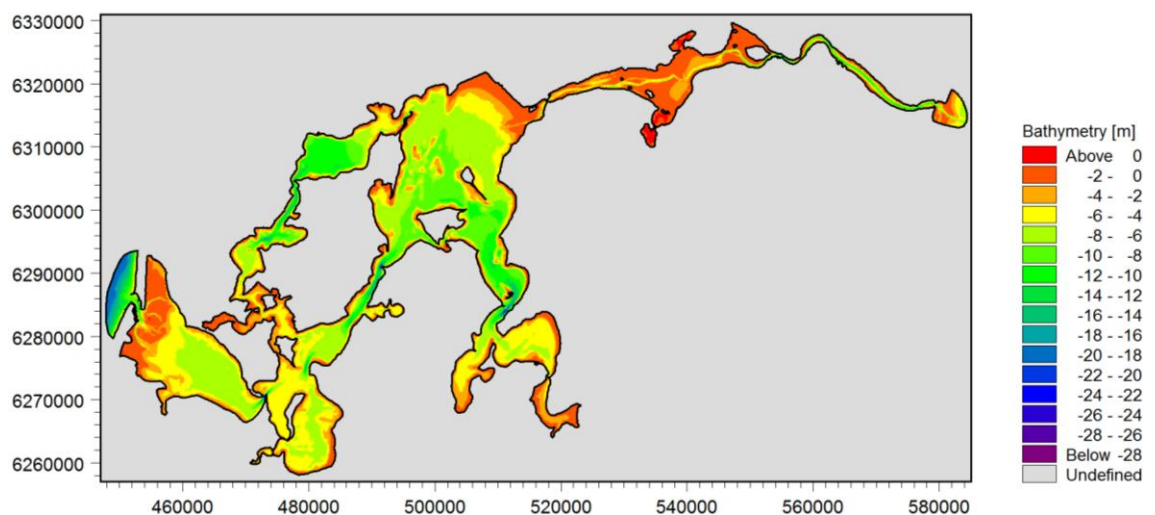
4 MODELOPSÆTNING

I dette afsnit er beskrevet en række detaljer omkring modelopsætningen af den hydrodynamiske model.

4.1 Batymetri og beregningsnet

Hydrodynamikken i Limfjorden er kompleks, idet vandbevægelserne i systemet primært drives af vindpåvirkning på vandoverfladen og vandstandsvariationer ved Thyborøn og Hals, mens den dæmpes af bundfriktionen og enkelttab. Endvidere er Limfjorden inddeelt i en række bassiner, indsnævring, øer og løb, som alle skal opløses geometrisk korrekt, før man kan gøre sig håb om at etablere en valid hydrodynamisk model.

Det primære formål med den hydrodynamiske model er at undersøge stormflodshændelser, som typisk kræver simulering af en periode på 4 døgn. De relativt korte simuleringsperioder indebærer, at det ikke er nødvendigt at gå på kompromis med opløsningen af Limfjorden for at opnå fornuftige beregningstider. Den fulde modelbatymetri og beregningsnettet er opbygget af 211.036 elementer og 112.284 knuder.

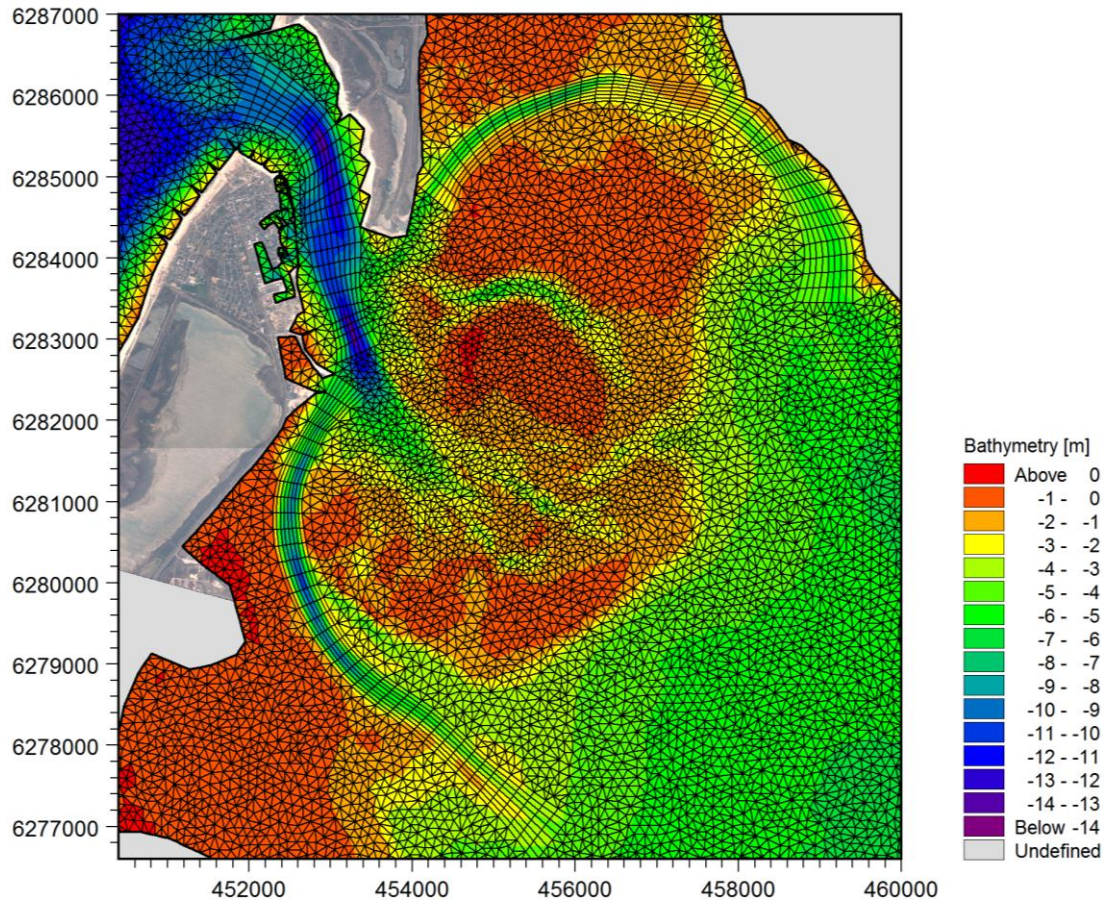


Figur 4-1 Modelbatymetri af Limfjorden.

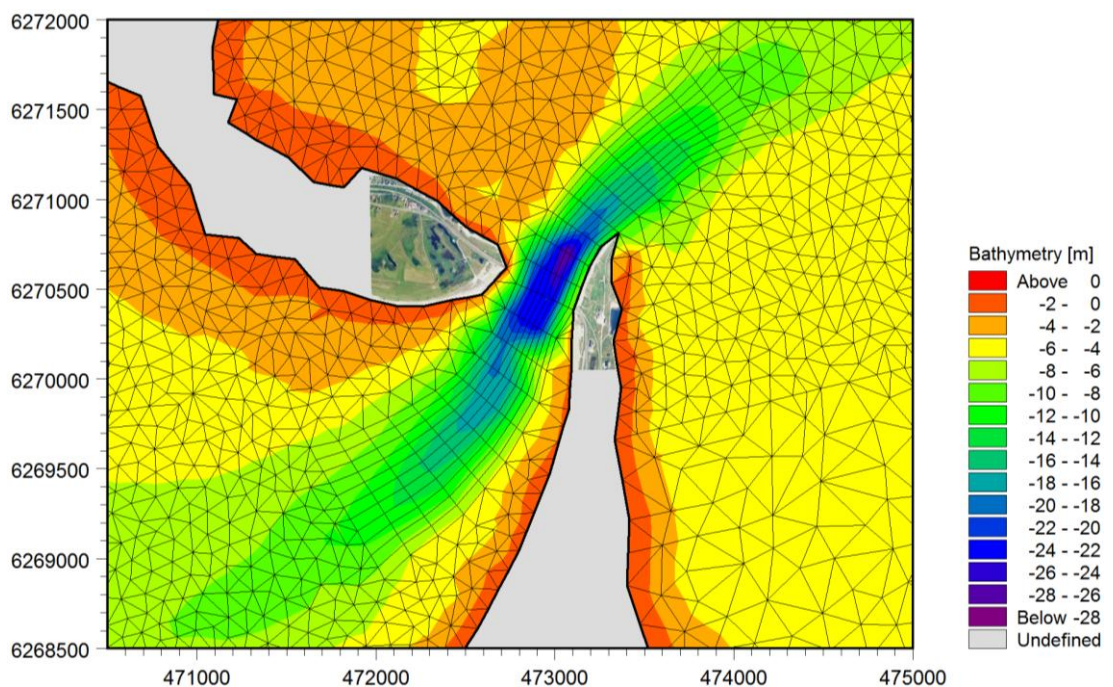
En række områder er vigtige at få opløst hensigtsmæssigt i modellen, idet en dårlig opløsning kan influere ufysisk på den hydrauliske modstand og derved vanskeliggøre en kalibrering. I disse områder er der derfor benyttet geo-refererede baggrundskort til at sikre, at den overordnede geometri opløses så korrekt som muligt.

Thyborøn Kanal er vigtig at få opløst med en forøget detaljeringsgrad, idet det er den åbning som primært styrer ind- og udstrømning af vand i Limfjorden. I Figur 4-2 er der vist et udsnit af beregningsnettet ved Thyborøn. Heraf ses, at beregningsnettet er opbygget af en kombination af trekant- og firkantelementer. Firkantelementerne er benyttet i de dybeste kanaler for at sikre en bedre opløsning af kanaltværsnittet, medens der er benyttet trekantselementer i de øvrige områder, idet disse er mere fleksible.

Den næste signifikante barriere i Limfjorden findes ved Oddesund, hvor tværsnittet er smalt, og de største dybder i Limfjorden optræder. Da dette tværsnit ligeledes virker som en flodkanal, er der benyttet firkantselementer til at sikre en fornuftig opløsning af kanalværsnittet. Et udsnit af modelbatymetriens ved Oddesund er vist i Figur 4-3.

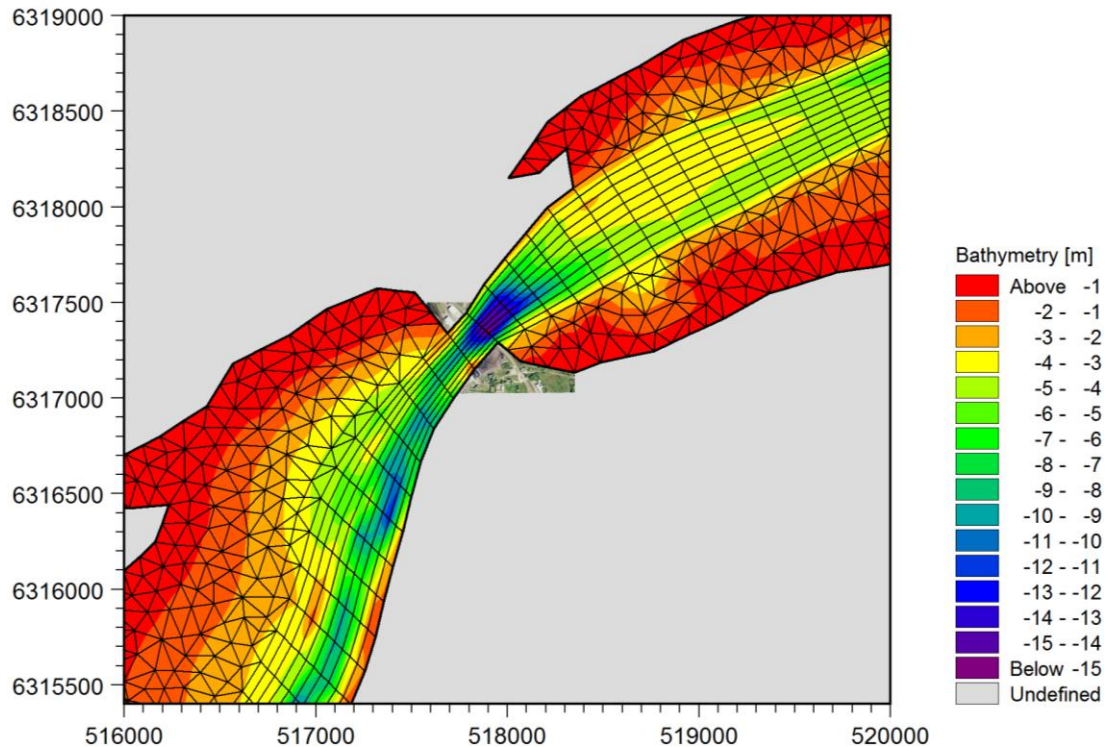


Figur 4-2 Udsnit af modelbatymetri og beregningsnet ved Thyborøn.



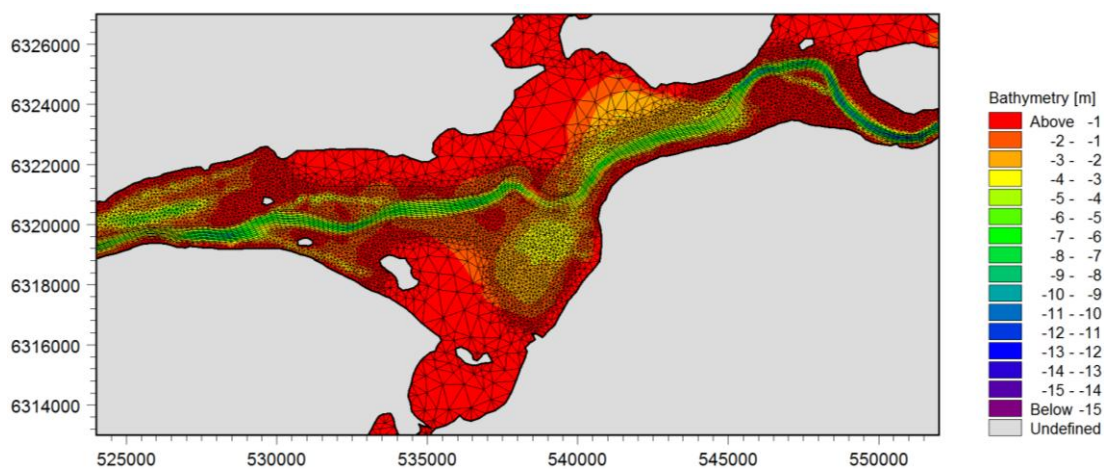
Figur 4-3 Udsnit af modelbatymetri og beregningsnet ved Oddesund.

En anden vigtig barriere i Limfjorden findes ved Aggersund, hvor Limfjorden er meget smal. I dette område er der derfor anvendt et geo-refereret kort og firkantselementer til at få opløst tværsnittet mere præcist. Et udsnit af modelbatymetri og beregningsnettet ved Aggersund er vist i Figur 4-4 nedenfor.



Figur 4-4 Udsnit af modelbatymetri og beregningsnet ved Aggersund.

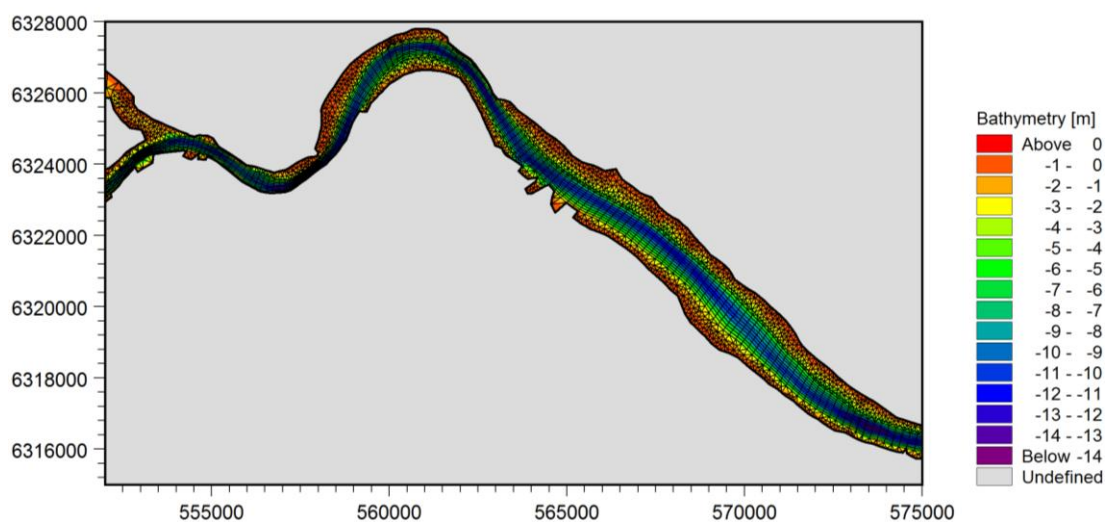
Den østlige del af Limfjorden er karakteriseret af en lang smal kanal, hvorpå der er vedhæftet en række relativt lavvandede bredninger. Det er vigtigt at få opløst den Østlige Limfjordskanal for at få den rigtige dynamik ind i modellen. Der er derfor benyttet firkantselementer til at opløse kanalen på hele strækningen fra Hals til Løgstør Bredning.



Figur 4-5 Udsnit af modelbatymetri og beregningsnet for den Vestlige Limfjordskanal samt Nibe og Gjølbredning.



I Figur 4-5 er der vist et udsnit af modelbatymetri og beregningsnet for den Vestlige Limfjordskanal samt Nibe og Gjøøl Bredning, mens den Østlige Limfjordskanal er vist i Figur 4-6.



Figur 4-6 Udsnit af modelbatymetri og beregningsnet for den Østlige Limfjordskanal.

5 TIDEVANDSMODELLERING

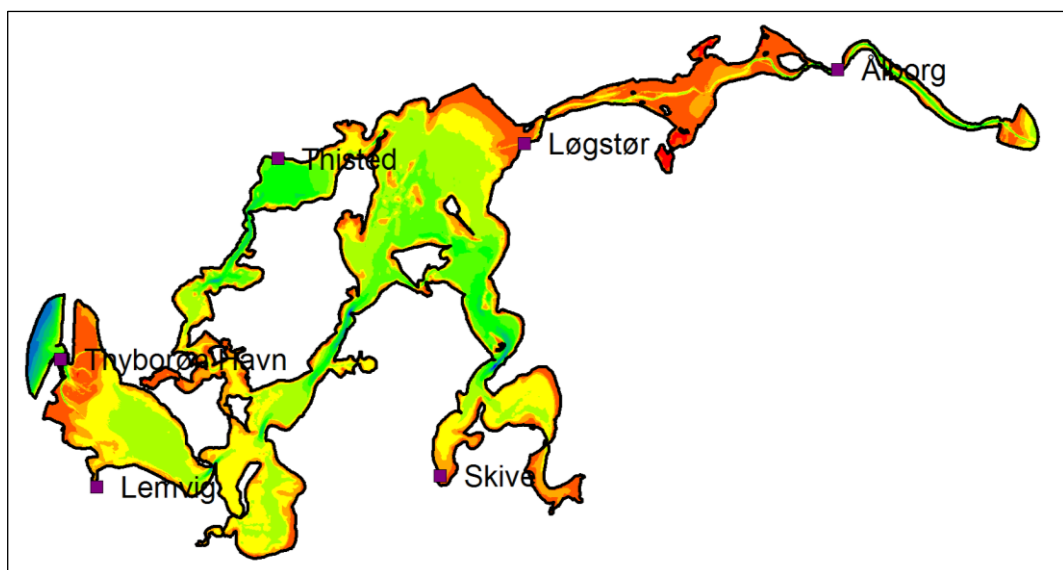
Hovedformålet med at udføre tidevandssimuleringer er primært at verificere og dokumentere kvaliteten af den hydrodynamiske Limfjordsmodel. Tidevandet i Limfjorden er relativt svagt med et tidevandsspænd af størrelsesordenen 0,5 m i Thyborøn Havn og herfra aftagende til størrelsesordenen 0,1 m i den indre del (Løgstør og Thisted). Tidevandet i den hydrodynamiske Limfjordsmodel er primært styret af følgende:

- Konstituentberegnete tidevandsvariationer på de to åbne rande: Thyborøn Hav og Hals Barre.
- Kvaliteten af batymetrien og modellens opløsning.
- Modellens bundmodstand.

Tidevandsvariationen på de åbne rande er dikteret af de konstituentberegnete tidsserier (justeret til samme nulpunkt) og er derfor faste. Endvidere er der anvendt en relativ høj opløsning samt lokale optimeringer af beregningsnettet for at sikre en høj kvalitet af modelbatymetrien. Tilbage er derfor kun bundmodstanden som influerende parameter på tidevandet. Det ses derfor, at tidevandssimuleringerne, som en sidegevinst, vil levere et godt bud på hvilken bundmodstand (Manning tal), der bedst beskriver forholdene i Limfjorden.

5.1 Tidevandsstationer

Tidevandsdynamikken i modellen påtrykkes ved hjælp af vandstandstidsserier langs de åbne rande mod henholdsvis vest og øst. På den vestlige rand anvendes konstituentberegnet tidevand for Thyborøn Kyst, mens der på den østlige benyttes konstituentberegnet tidevand for Hals Barre. Det modellerede tidevand til verifikation af modellen udtrækkes i de på Figur 5-1 viste stationer: Thyborøn Havn, Lemvig, Thisted, Løgstør, Skive og Ålborg.

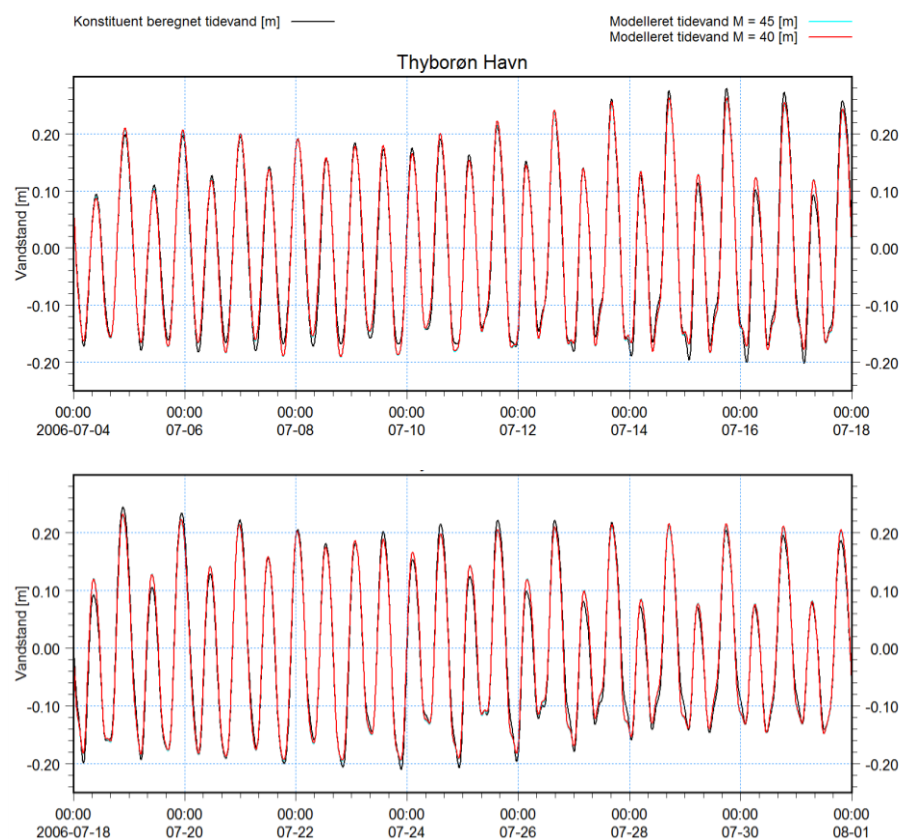


Figur 5-1 Oversigt over tidevandsstationernes geografiske placering i Limfjorden.

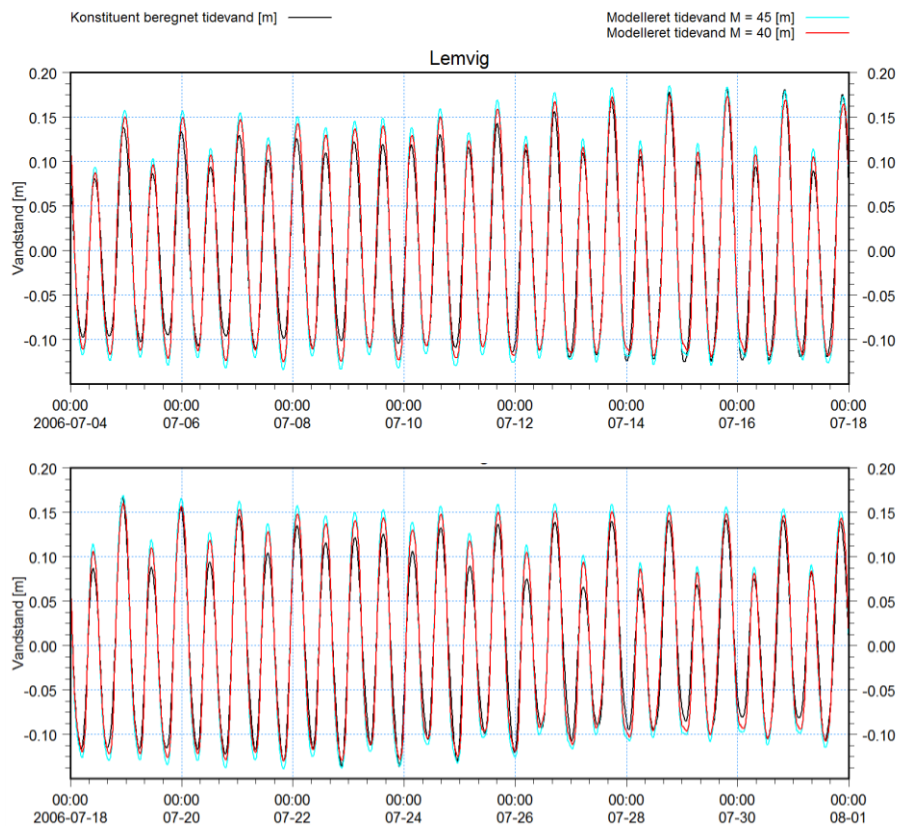
5.2 Sammenligning af modelleret og konstituent beregnet tidevand

Der er udført tre tidevandssimuleringer af hele juli måned 2006 baseret på henholdsvis et Manning tal på $35 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, $40 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ og $45 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ i hele modelområdet. Det modellerede tidevand i de seks stationer er sammenlignet med det konstituentberegnete og er plottet i de følgende figurer for Manning tallene $40 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ og $45 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$. For hver af de tre tidevandssimuleringer er der beregnet en række statistiske mål, hvoraf det fremgår, at den bedste overensstemmelse mellem modelleret og konstituentberegnet tidevand opnås med et Manning tal på $40 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$.

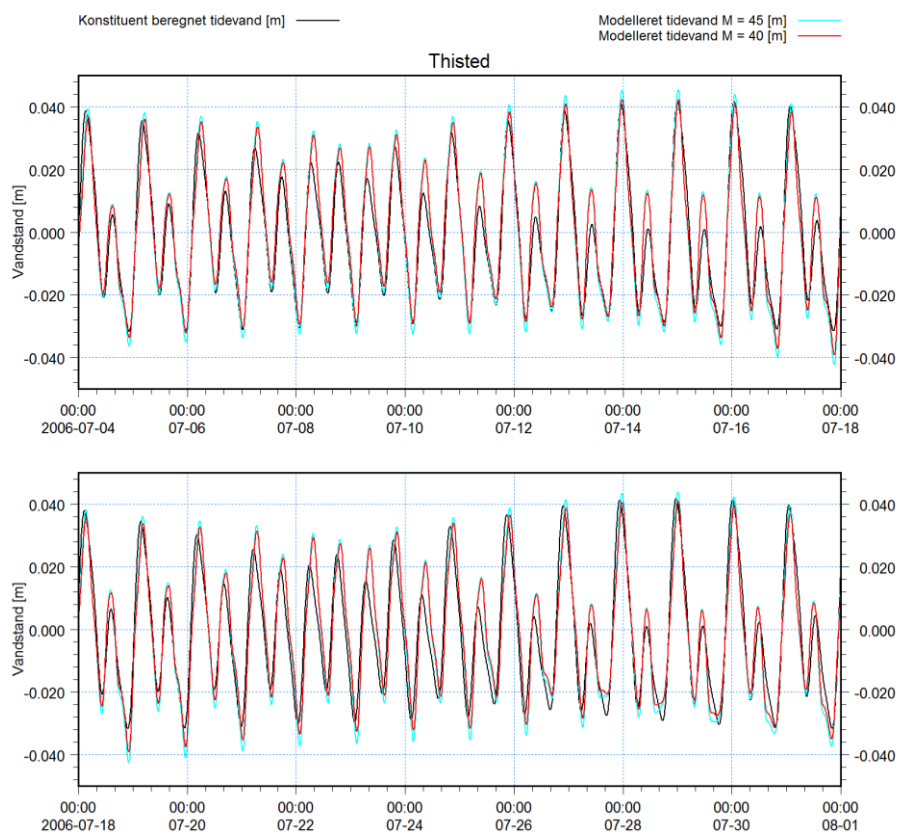
Det konstituentberegnete tidevand for Ålborg indeholder nogle langperiodiske svingninger, som ikke er indeholdt i de øvrige tidsserier og ydermere ikke kan forklares fysisk. Der må derfor tages et vist forbehold for sammenligningen af modelleret og konstituentberegnet tidevand ved Ålborg.



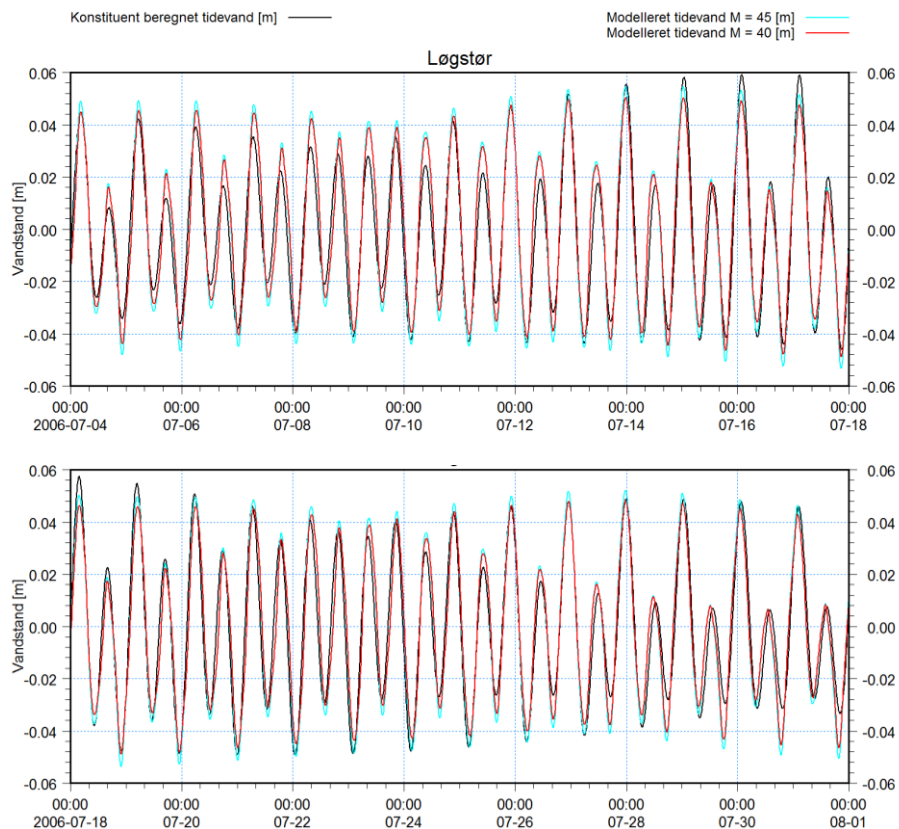
Figur 5-2 Sammenligning af modelleret og konstituentberegnet tidevand for Thyborøn Havn i en periode på 28 dage.



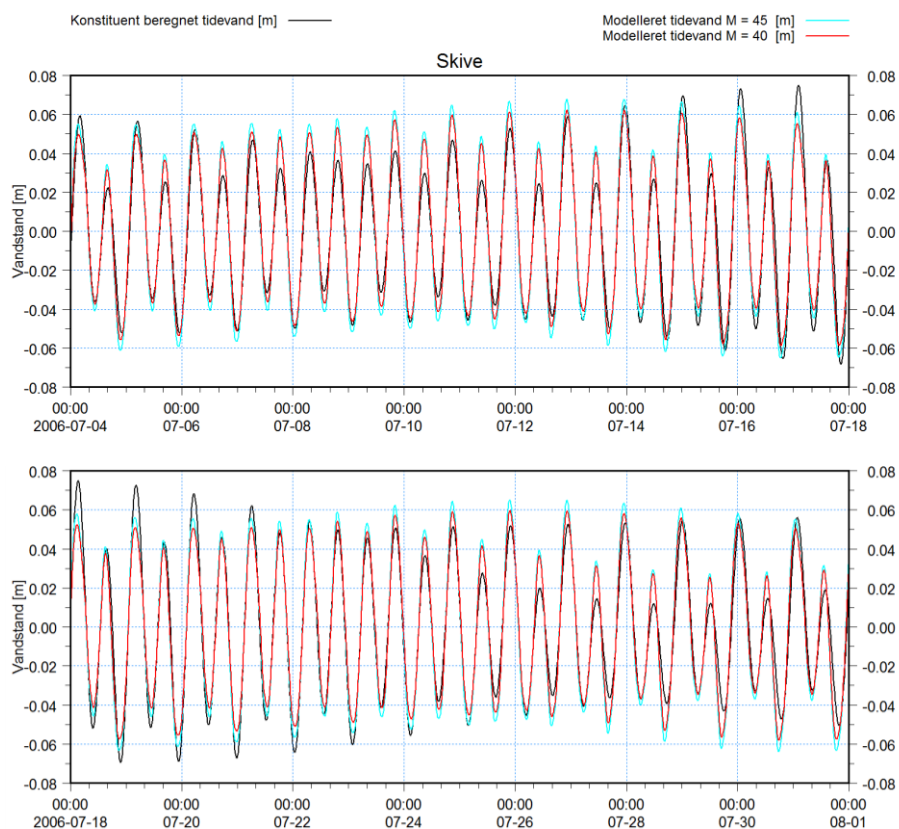
Figur 5-3 Sammenligning af modelleret og konstituentberegnet tidevand for Lemvig.



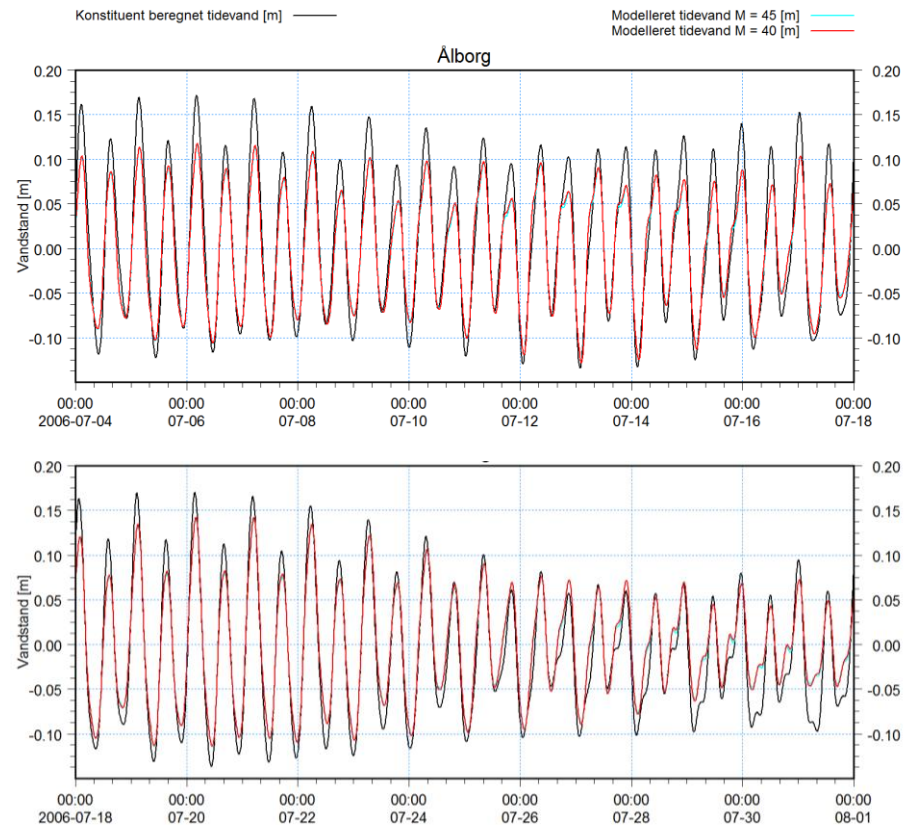
Figur 5-4 Sammenligning af modelleret og konstituentberegnet tidevand for Thisted.



Figur 5-5 Sammenligning af modelleret og konstituentberegnet tidevand for Løgstør.



Figur 5-6 Sammenligning af modelleret og konstituentberegnet tidevand for Skive.



Figur 5-7 Sammenligning af modelleret og konstituentberegnet tidevand for Ålborg.

For nemmere at kunne overskue forskellen på det modellerede og konstituentberegnete tidevand er der i Tabel 5-1 og Tabel 5-2 angivet en række statiske mål, hvoraf det fremgår, at den bedste overensstemmelse opnås for et Manning tal på 35-40 $m^{1/3}/s$. Den absolute middelfvigelse er et mål for, hvor meget det modellerede og konstituentberegnete tidevand i middel afviger fra hinanden. Målet er specielt følsomt over for en systematisk fasefejl og kan derfor bruges som en indikator for, hvor godt tidevandsfasen er beskrevet inde i Limfjorden.

Af tabellerne nedenfor ses det, at denne afvigelse med et Manning tal på 40 $m^{1/3}/s$ er mindre end 1,2 cm i alle stationer, når der ses bort fra Ålborg, som formodes at være fejlbehæftet. Bidragene til denne afvigelse skyldes primært mindre amplitdeforskelle, og det kan derfor konkluderes, at der ikke er nogen faseforskel af betydning mellem det modellerede og konstituentberegnete tidevand i Limfjorden. Eftersom tidevandsspændet varierer i fjorden, er den absolute middelfvigelse omregnet til en relativ absolut middelfvigelse ved at skalere med det største konstituentberegnete tidevandsspænd i modelperioden. Dette mål er ligeledes angivet i tabellerne.

Tabellerne indeholder endvidere RMS (root mean square) værdier for det modellerede og konstituentberegnete tidevand. RMS-værdien kan opfattes som et udtryk for den energi, der er i tidevandet i de forskellige dele af fjorden. Det ses, at der er god overensstemmelse mellem RMS værdierne for det modellerede og konstituentberegnete tidevand. Største forskelle findes ved Ålborg og Lemvig. Der er ikke stor forskel i kvaliteten af resultaterne for et Manning tal 35 $m^{1/3}/s$ og 40 $m^{1/3}/s$. Valget af 40 $m^{1/3}/s$ er derfor foretaget med udgangspunkt i modelleringen af stormflodshændelserne, hvor denne modstand har vist sig at give svagt bedre resultater.



Tabel 5-1 Statistiske mål over forskelle i modelleret og konstituentberegnet tidevand for $M = 45 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$.

Station	Absolut mid- delafvigelse [m]	RMS værdi modelleret [m]	RMS værdi konstituent- beregnet [m]	RMS værdi difference [m]	Relativ abso- lut middel- afvigelse [%]
Thyborøn Kyst	0,0013	0,1507	0,1502	0,0005	0,24
Thyborøn Havn	0,0112	0,1271	0,1273	-0,0002	2,3
Lemvig	0,0157	0,0996	0,0853	0,0142	4,9
Thisted	0,0052	0,0211	0,0194	0,0017	7,0
Løgstør	0,0067	0,0289	0,0268	0,0021	6,1
Skive	0,0072	0,0377	0,0341	0,0036	5,0
Ålborg	0,0182	0,0610	0,0770	-0,0159	5,9

Tabel 5-2 Statistiske mål over forskelle i modelleret og konstituentberegnet tidevand for $M = 40 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$.

Station	Absolut mid- delafvigelse [m]	RMS værdi modelleret [m]	RMS værdi konstituent- beregnet [m]	RMS værdi difference [m]	Relativ abso- lut middel- afvigelse [%]
Thyborøn Kyst	0,0013	0,1508	0,1502	0,0006	0,23
Thyborøn Havn	0,0109	0,1272	0,1273	-0,0001	2,2
Lemvig	0,0114	0,0936	0,0853	0,0082	3,6
Thisted	0,0051	0,0194	0,0194	0,0000	6,9
Løgstør	0,0064	0,0267	0,0268	-0,0001	5,9
Skive	0,0061	0,0344	0,0341	0,0003	4,2
Ålborg	0,0178	0,0619	0,0770	-0,0151	5,8

Tabel 5-3 Statistiske mål over forskelle i modelleret og konstituentberegnet tidevand for $M = 35 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$.

Station	Absolut mid- delafvigelse [m]	RMS værdi modelleret [m]	RMS værdi konstituent- beregnet [m]	RMS værdi difference [m]	Relativ abso- lut middel- afvigelse [%]
Thyborøn Kyst	0,0014	0,1511	0,1502	0,0009	0,25
Thyborøn Havn	0,0109	0,1267	0,1273	-0,0006	2,2
Lemvig	0,0097	0,0862	0,0853	0,0009	3,1
Thisted	0,0053	0,0175	0,0194	-0,0019	7,2
Løgstør	0,0070	0,0241	0,0268	-0,0027	6,5
Skive	0,0062	0,0306	0,0341	-0,0035	4,3
Ålborg	0,0176	0,0628	0,0770	-0,0142	5,7

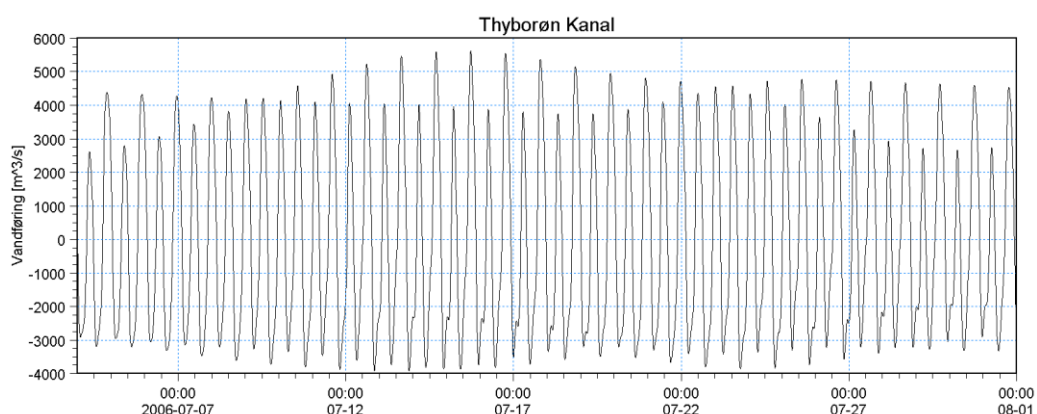
Efter ønske fra Kystdirektoratet er der udført en supplerende tidevandssimulering med et Manning tal $60 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$. De tilsvarende statistiske fejlmål er givet i Tabel 5-4, hvoraf det fremgår, at dæmpningen af tidevandet er alt for svag og derfor et dårligt valgt for bundmodstanden.

Tabel 5-4 Statistiske mål over forskelle i modelleret og konstituentberegnet tidevand for $M = 60 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$.

Station	Absolut mid- delafvigelse [m]	RMS værdi modelleret [m]	RMS værdi konstituent- beregnet [m]	RMS værdi difference [m]	Relativ abso- lut middel- afvigelse [%]
Thyborøn Kyst	0,0016	0,1507	0,1502	0,0005	0,28
Thyborøn Havn	0,0119	0,1293	0,1273	0,0019	2,4
Lemvig	0,0270	0,1140	0,0853	0,0268	9,1
Thisted	0,0071	0,0252	0,0194	0,0058	9,7
Løgstør	0,0096	0,0344	0,0268	0,0076	8,9
Skive	0,0129	0,0457	0,0341	0,0116	8,9
Ålborg	0,0199	0,0587	0,0770	0,0083	6,5

5.3 Tidevandsgenereret vandføring

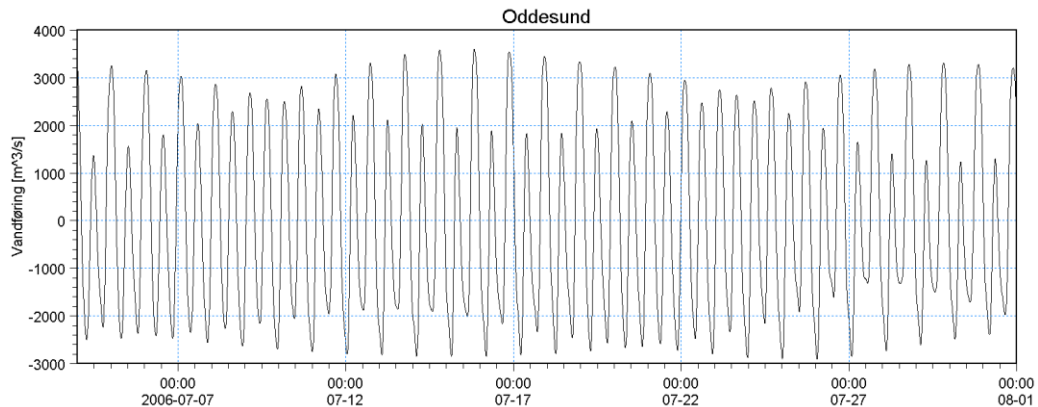
Informationer om de tidevandsgenererede vandføringer kan udtrækkes fra den hydrodynamiske model. Dette er gjort ved Thyborøn Kanal, Oddesund og Aggersund. De modelberegne vandføringer er vist i nedenstående tre figurer. Vandføringen er defineret således, at en positiv værdi indikerer indstrømning til fjorden (strømning mod øst), mens negative værdier er et udtryk for udstrømning af vand fra fjorden (strømning mod vest). Ved Thyborøn og Oddesund optræder de kraftigste strømme under stigende vandstand, mens der ikke er den store forskel ved Aggersund.



Figur 5-8 Tidevandsgenereret vandføring gennem Thyborøn Kanal ($M = 40 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$).

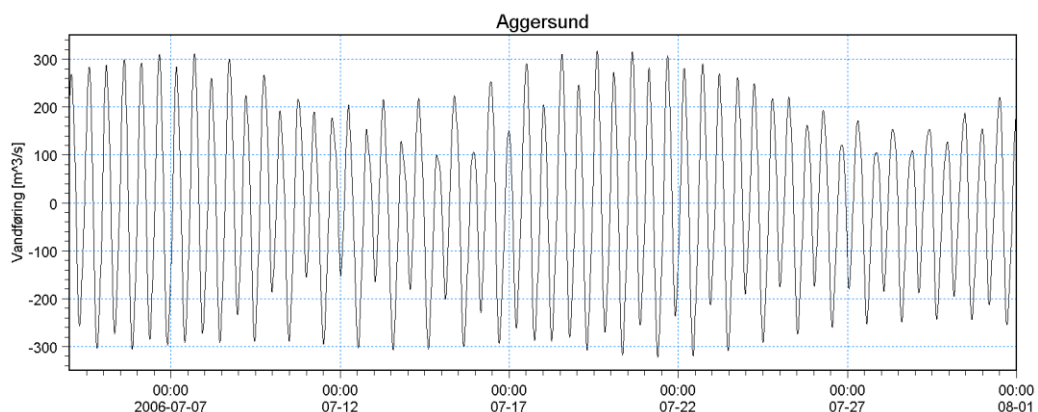
Den største modellerede vandføring gennem Thyborøn Kanal med et Manning tal på $40 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ er for stigende vandstand af størrelsesordenen $5600 \text{ m}^3/\text{s}$ og for faldende vand-

stand $3900 \text{ m}^3/\text{s}$. Ved Oddesund er de tilsvarende tal reduceret til henholdsvis $3600 \text{ m}^3/\text{s}$ og $2900 \text{ m}^3/\text{s}$. I simuleringen med et Manning tal på $45 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ er vandføringerne gennem Thyborøn Kanal forøget til henholdsvis $6000 \text{ m}^3/\text{s}$ og $4100 \text{ m}^3/\text{s}$, og $3900 \text{ m}^3/\text{s}$ og $3200 \text{ m}^3/\text{s}$ ved Oddesund som følge af den lavere strømningsmodstand og forøgede dynamik.



Figur 5-9 Tidevandsgenereret vandføring gennem Oddesund ($M = 40 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$).

Strømningen er mere symmetrisk ved Aggersund, hvor den maksimale vandføring er af størrelsesordenen $320 \text{ m}^3/\text{s}$.



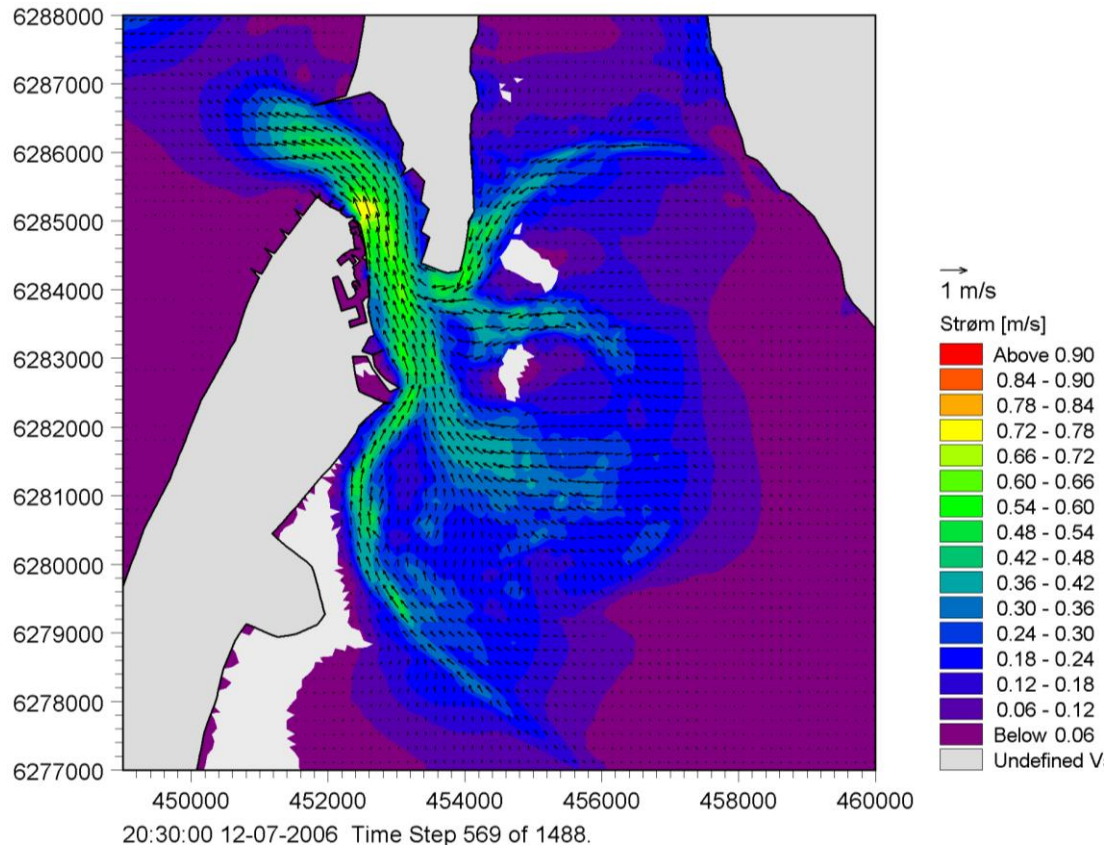
Figur 5-10 Tidevandsgenereret vandføring gennem Aggersund ($M = 40 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$).

5.4 Strømfordeling i Thyborøn Kanal og Nissum Bredning

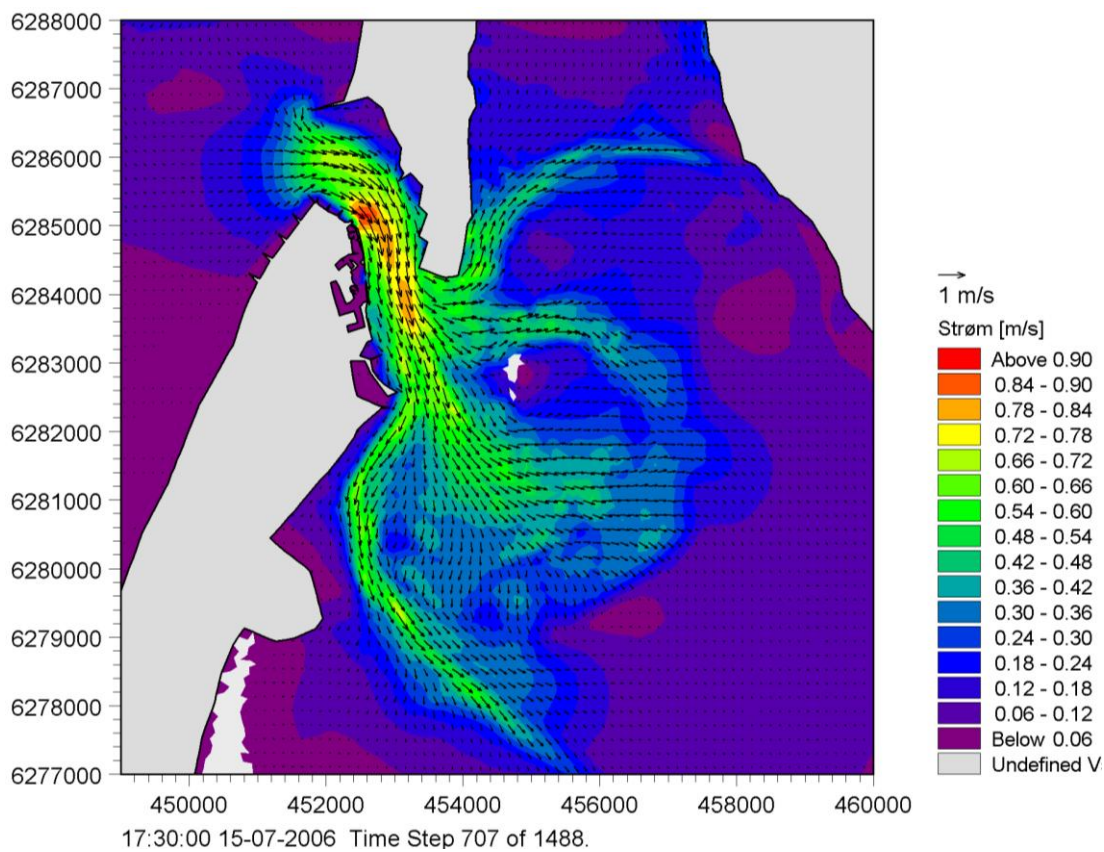
Den tidevandsgenererede strøms fordeling i Thyborøn Kanal og Nissum Bredning er ligeledes af interesse, idet Thyborøn Kanal forgrener sig i fire løb inde i Nissum Bredning. Hastighedsplot under henholdsvis faldende og stigende vandstand vil derfor give et mere klart billede af systemets dynamik.

I Figur 5-11 er den dybdemidlede strømfordeling vist under faldende vandstand og en vandføring på $3900 \text{ m}^3/\text{s}$, som er den maksimale tidevandsgenererede udstrømning i modelperioden. De viste strømpile er interpoleret ind på et rektangulært net. Det ses, at strømmen er koncentreret i de fire løb. De højeste strømhastigheder under faldende vandstand optræder i det mest nordlige og mest sydlige løb.

Tilsvarende er der i Figur 5-12 vist den dybdemidlede strømfordeling under stigende vandstand og en vandføring på $5600 \text{ m}^3/\text{s}$, som er den maksimale tidevandsgenererede indstrømning i modelperioden. Det ses, at strømshastighederne er større under indstrømning end udstrømning, og at strømmen er koncentreret i de fire løb. De højeste strømshastigheder under stigende vandstand ses at optræde i de to mest sydlige løb.



Figur 5-11 Modellerede strømshastigheder under faldende vandstand og en vandføring på $3900 \text{ m}^3/\text{s}$.



Figur 5-12 Modellerede strømhastigheder under stigende vandstand og en vandføring på 5600 m³/s.

6 BØLGEMODELLERING

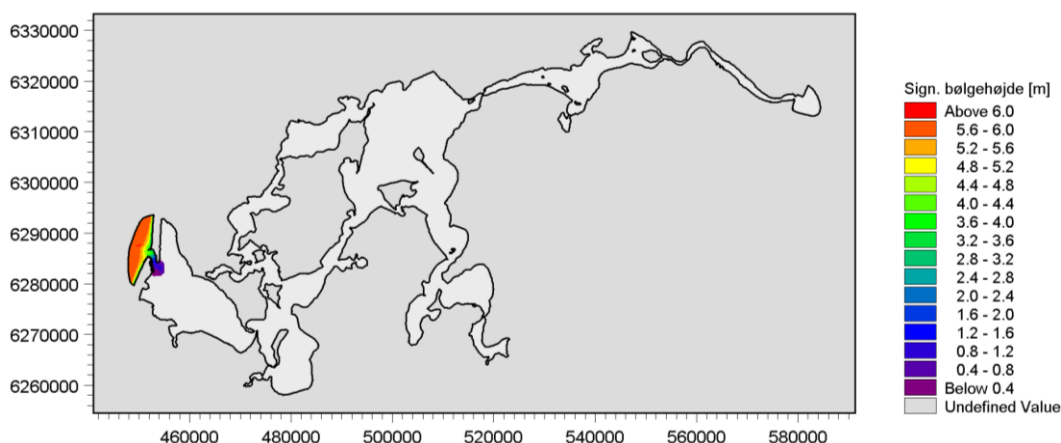
Som et væsentligt grundlag til at klarlægge hvor stor betydning kraftige bølger under storm har for vandføringen gennem Thyborøn Kanal og stormflodsniveauerne i den vestlige del af Limfjorden er der opsat en bølgemodel. Bølgemodellen er baseret analogt på den hydrodynamiske models batymetri og beregningsnet for Limfjorden. Inde i Limfjorden er bølgehøjderne reduceret markant og er uden afgørende betydning. Der er derfor rent modelleringsteknisk simuleret svarende til en stor del af modelområdet indenfor fjordgrundene er isdækket, således at man undgår at regne på bølger udenfor interesseområdet og opnår en voldsom reduktion af bølgemodellens beregningstider.

Fra bølgemodellen gemmes informationer om tensoren, der beskriver bølgenes reaktionskraft i form af tidsvarierende 2D-felter, således at dette felt kan inkluderes i den hydrodynamiske model i lighed med vinden som en ekstra drivende kraft.

Bølgesimuleringer er foretaget med varierende vandspejlsniveau og er defineret på baggrund af den målte Thyborøn Kyst vandstandstidsserie. Bølgemodellen drives af indkommende bølger langs den åbne rand, som er specificeret ud fra Fjaltring bølgedata. Vindpåvirkning er ikke inkluderet i bølgemodellen.

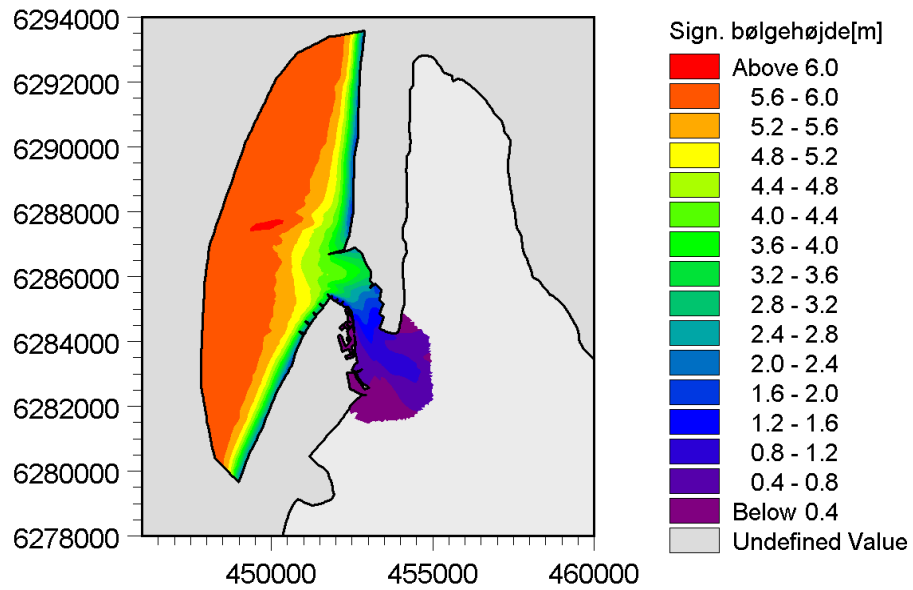
6.1 Eksempler på resultater fra bølgemodellen

I dette afsnit er der givet en række eksempler fra bølgemodelleringen. I Figur 6-1 er vist et eksempel på modellerede bølgehøjder samt influensområdets udstrækning, som er beliggende vest for fjordgrundene i Nissum Bredning.

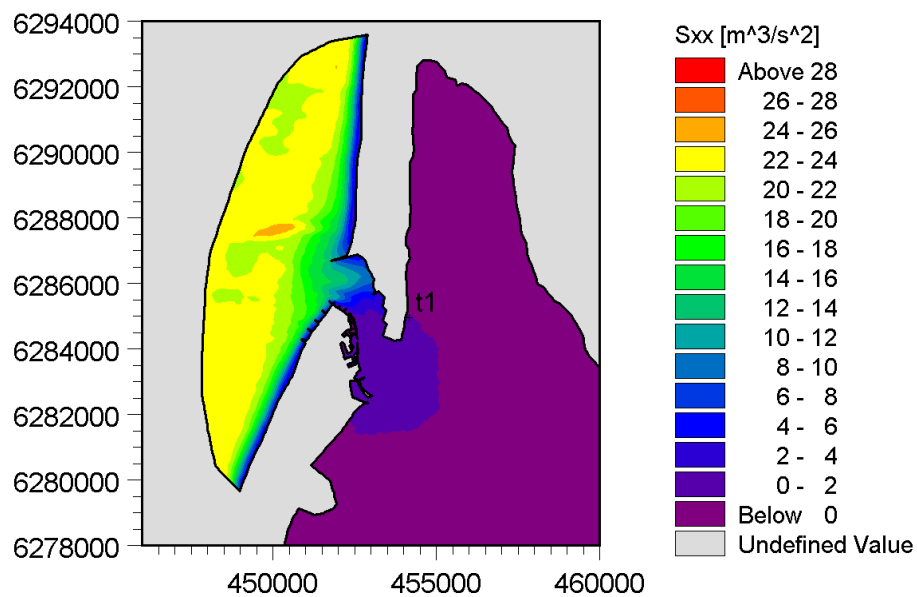


Figur 6-1 Influensområde af bølger i Limfjordsmodellen.

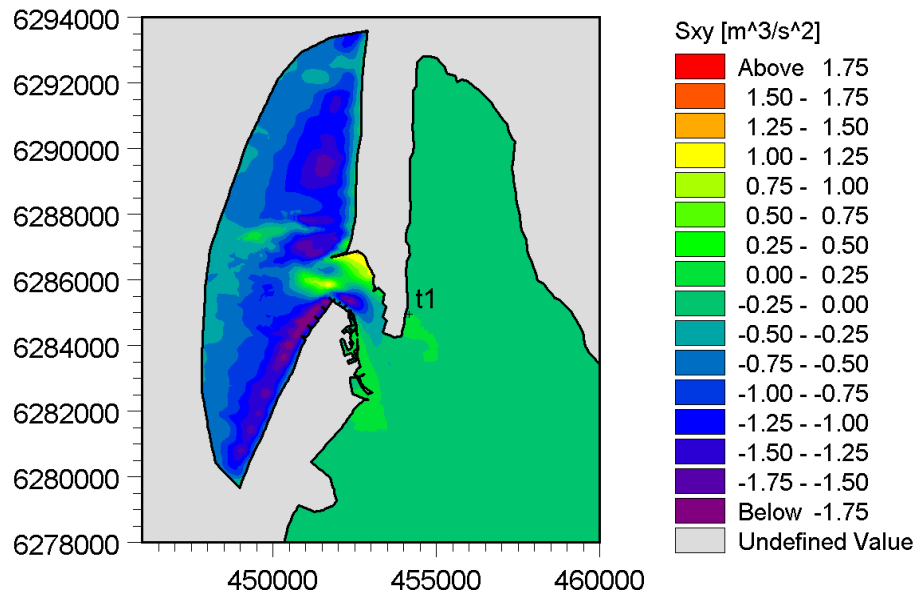
Figur 6-2 viser et udsnit af modellerede bølger under Storm 1, mens Figur 6-3, Figur 6-4 og Figur 6-5 viser et eksempel på indholdet af tensoren, der beskriver bølgenes reaktionskraft.



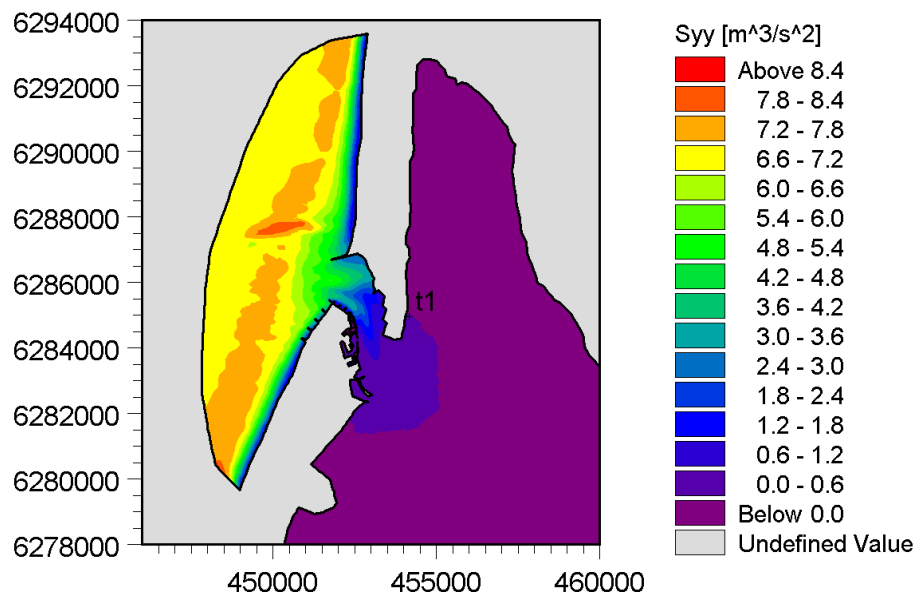
Figur 6-2 Eksempel på modellerede bølgehøjder under Storm 1.



Figur 6-3 Eksempel på bølgenes reaktionskraft i form af S_{xx} under Storm 1.



Figur 6-4 Eksempel på bølgenes reaktionskraft i form af S_{xy} under Storm 1.



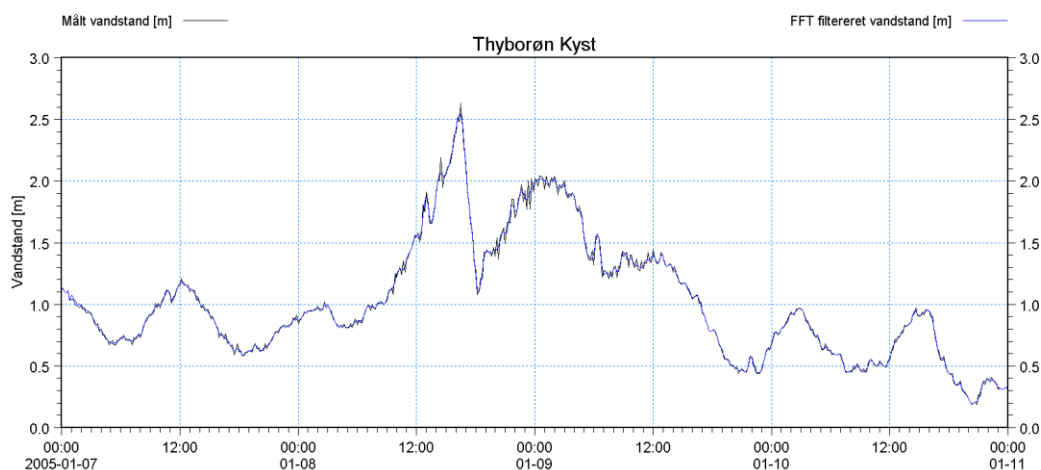
Figur 6-5 Eksempel på bølgenes reaktionskraft i form af S_{yy} under Storm 1.

7 BØLGERS BETYDNING FOR STORMFLODSNIVEAUER

Hvor stor betydning kraftige bølger under storm har for vandføringen gennem Thyborøn Kanal og stormflodsniveauerne i den vestlige del af Limfjorden er på forhånd uklart. I dette afsnit er der derfor en analyse, der skal forsøge at klarlægge, om det er af relevans og betydning at inddrage bølgenes reaktionskræfter i den endelige stormflodsmodellering. Analysen er udført ved at sammenligne forskellene på stormflodsniveauer og vandføringer, når bølgenes reaktionskræfter er henholdsvis medtaget og udeladt, mens alle øvrige parametre og randbetingelser er fastholdt. Den herved fundne effekt af bølgerne er overvurderet, idet kraftpåvirkningen fra bølgerne vil resultere i en vandspejls-hævning ind mod kysten, som der ikke er korrigeret for i den påtrykte randbetingelse på den ydre åbne rand. Konklusionen ender derfor med at blive, at det ikke kan betale sig at medtage bølgenes reaktionskraft i modelleringen, idet effekten herfra vil blive udlig-net af en vandstandskorrektion langs den ydre rand.

7.1 Analyse af Storm 1

I vandstandsanalysen er der taget udgangspunkt i stationerne: Thyborøn Kyst, Thyborøn Havn, Lemvig og Løgstør, mens vandføringsanalysen fokuserer på Thyborøn Kanal. Simuleringer er gennemført med et konstant Manning tal på $45 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ i hele modelområdet. Som randbetingelse på den vestlige rand er der anvendt en FFT-filtreret version af den målte vandstand ved Thyborøn Kyst. Dette er gjort for at fjerne de kortperiodiske svingninger (støj), som bliver forstærket ufysisk i modellen inde i Thyborøn Havn. I Figur 7-1 er den målte og FFT-filtrerede vandstand under Storm 1 plottet. Heraf ses, at filtreringen bevarer det generelle vandstandsforløb, idet det kun fjerner de kortperiodiske fluktuationer.

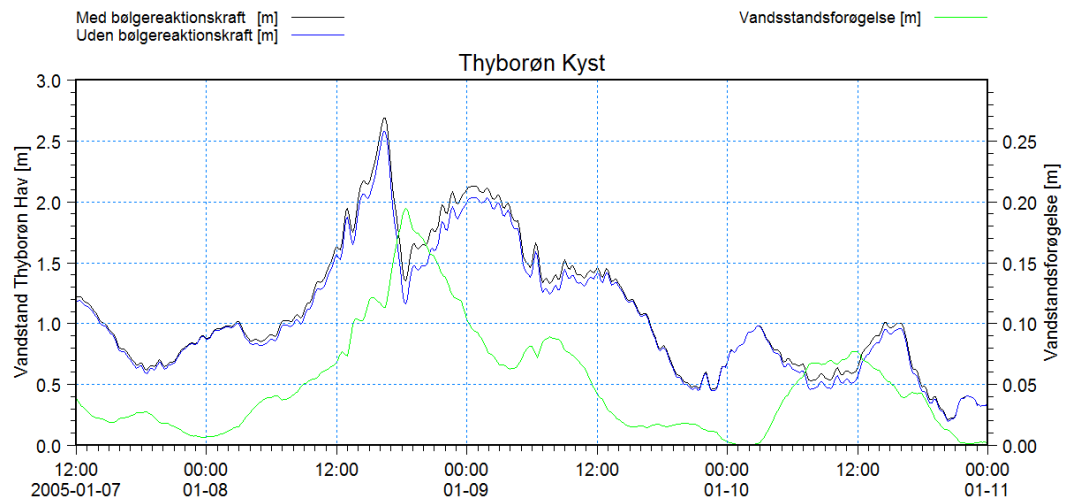


Figur 7-1 Sammenligning af målt og FFT-filtreret vandstand ved Thyborøn Kyst under Storm 1.

7.1.1 Bølgeraktionskræfters indvirkning på vandstand

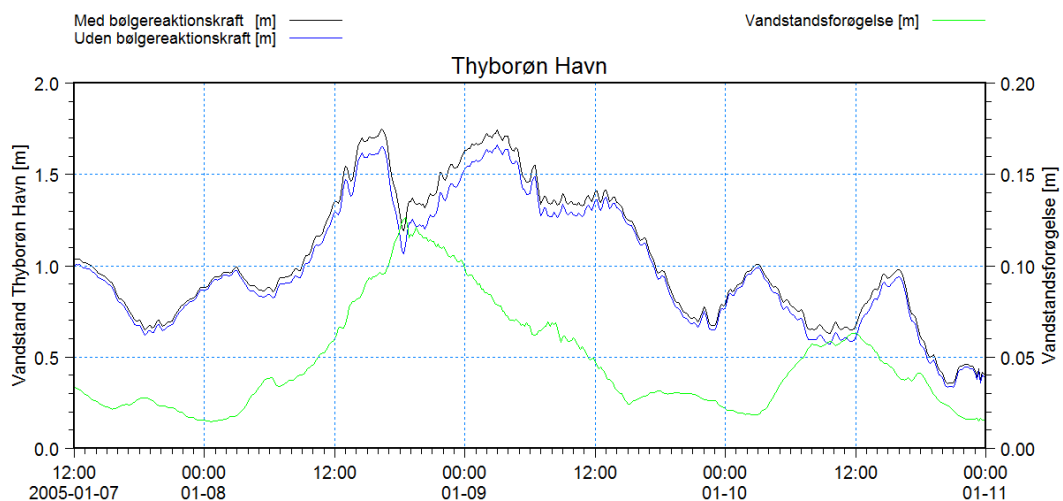
Der er som nævnt ovenfor ikke foretaget nogen korrektion af de påtrykte vandstande langs den vestlige modelrand, men en idé om hvor stor en korrektion der er nødvendig, får man ved at sammenligne de modellerede vandstande ved Thyborøn Kyst måleren. Dette er gjort i Figur 7-2 nedenfor, hvoraf det fremgår, at randbetingelsen langs den ydre rand i princippet skal sænkes med helt op til 20 centimeter for ikke at få for høj vand-

stand ved Thyborøn Hav måleren, når bølgenes reaktionskræfter inddrages. Middelvandspejlsforøgelsen for hele modelperioden er 5 centimeter.

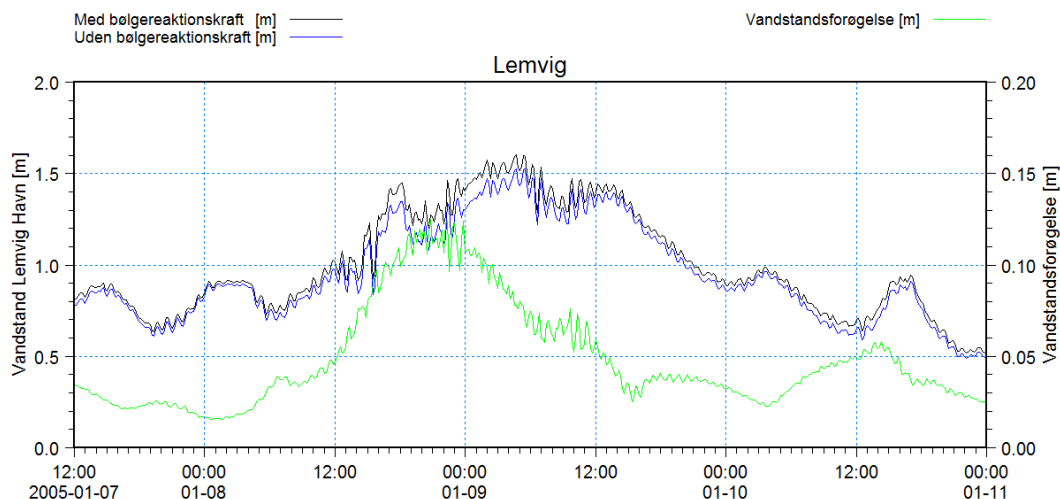


Figur 7-2 Modellerede vandstande ved Thyborøn Kyst med og uden bølgereaktionskræfter inkluderet.

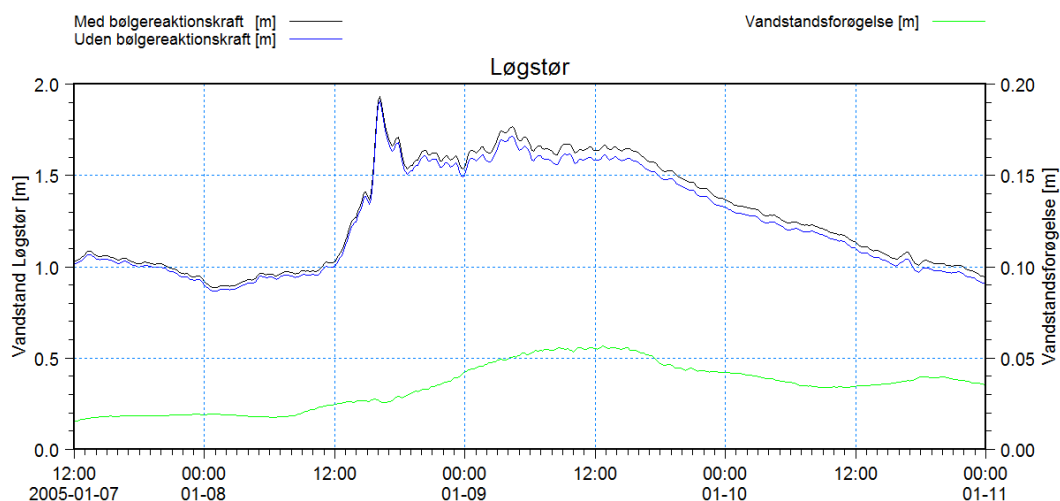
Tilsvarende plot er vist i Figur 7-3 - Figur 7-5 for Thyborøn Havn, Lemvig og Løgstør. For Thyborøn Havn resulterer bølgerne i en vandspejlsforøgelse på op til 12 centimeter og en middelvandspejlsforøgelse på 4,5 centimeter. Tilsvarende værdier findes for Lemvig. I Løgstør er effekten aftaget og resulterer i en middelvandspejlsforøgelse på 3 centimeter og en maksimalforøgelse på lidt mindre end 6 centimeter.



Figur 7-3 Modellerede vandstande i Thyborøn Havn med og uden bølgereaktionskræfter inkluderet.



Figur 7-4 Modellerede vandstande i Lemvig med og uden bølgeraktionskræfter inkluderet.

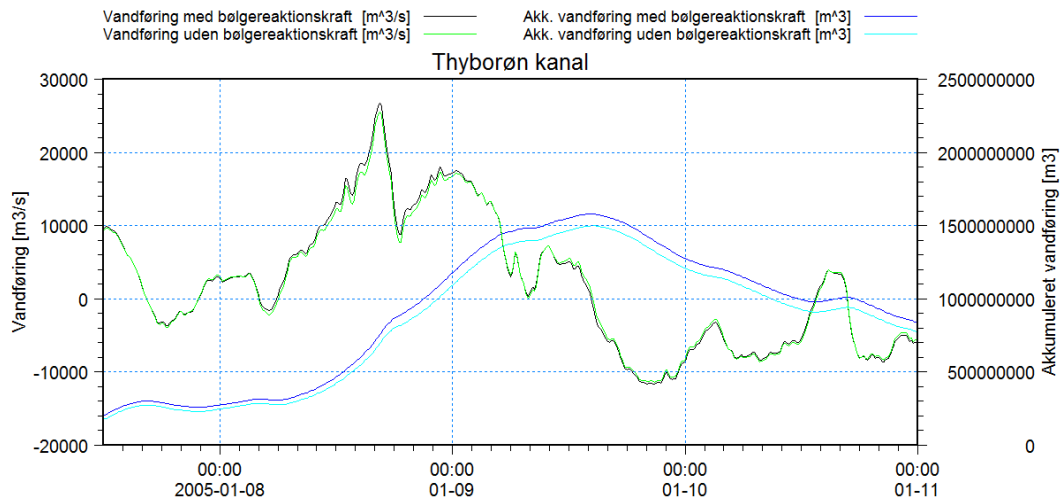


Figur 7-5 Modellerede vandstande i Løgstør med og uden bølgeraktionskræfter inkluderet.

Som det fremgår af vandstandsplottene skal den vestlige vandstandsrandbetingelse sænkes med i gennemsnit 5 centimeter, såfremt effekten af bølgeraktionskræfter inkluderes. De forøgede vandstande som er fundet for Thyborøn Havn, Lemvig og Løgstør vil derfor blive udlignet af denne reduktion, således at effekten ved at inddrage bølger bliver neutraliseret.

7.1.2 Bølgeraktionskræfters indvirkning på vandføring

Vandføringen og den akkumulerede vandføring gennem Thyborøn Kanal er ligeledes beregnet og sammenlignet for Storm 1 hændelsen med og uden inddragelse af bølgeraktionskræfter. Det ses, at effekten isoleret set er relativt svag, men dog resulterer i en forøgelse af den maksimale akkumulerede vandføring på 5,4 %. Denne forøgelse vil dog blive elimineret, såfremt den påtrykte vandstand korrigeres for bølgeopstuvningseffekten.



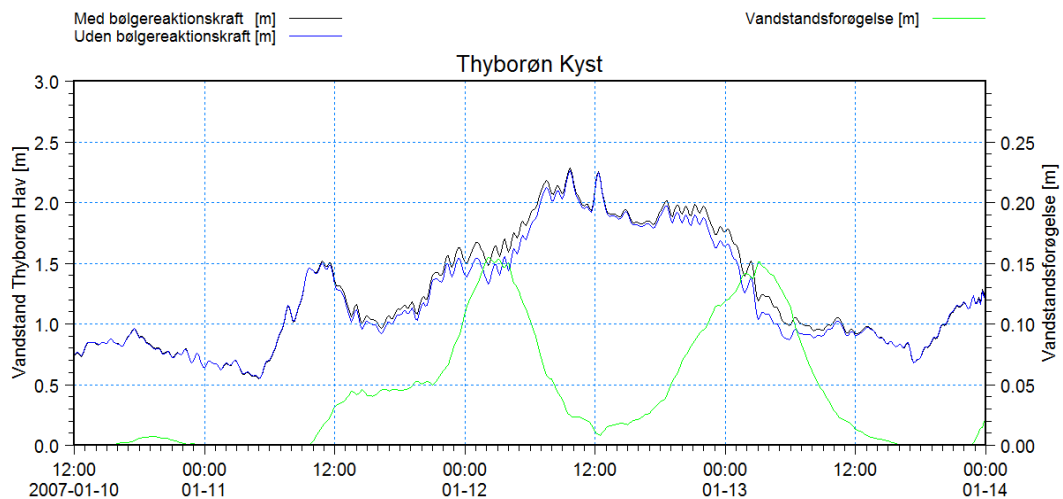
Figur 7-6 Sammenligning af vandføring og akkumuleret vandføring gennem Thyborøn Kanal.

7.2 Analyse af Storm 2

For Storm 2 er der udført en analyse helt analogt til den for Storm 1 udførte.

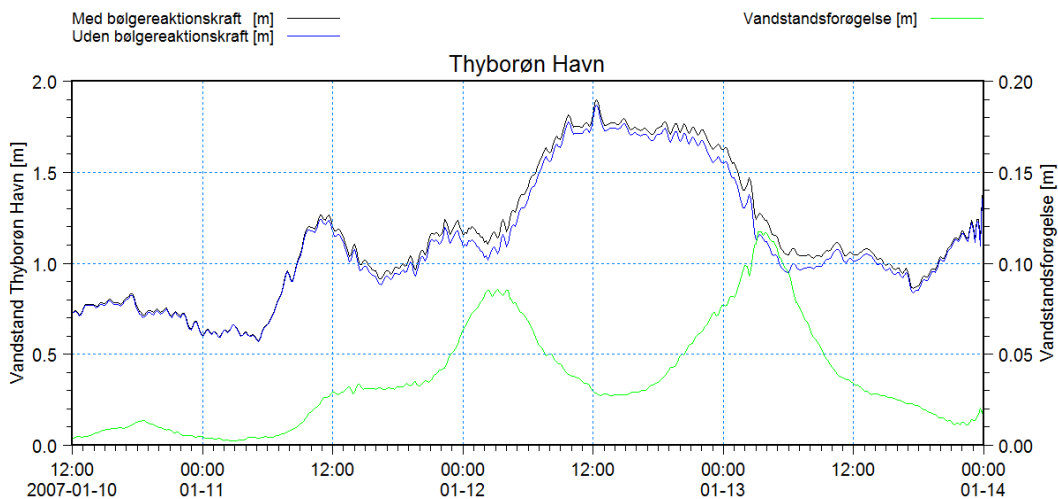
7.2.1 Bølgereaktionskræfters indvirkning på vandstand

En sammenligning af vandstande udtrykket fra de to udførte simuleringer af Storm 2 er vist i Figur 7-7 - Figur 7-10. Heraf ses, at bølgerne genererer en vandstandsforøgelse på op til 15 centimeter ved Thyborøn Kyst. I middel en vandstandsforøgelse på 3,6 centimeter.

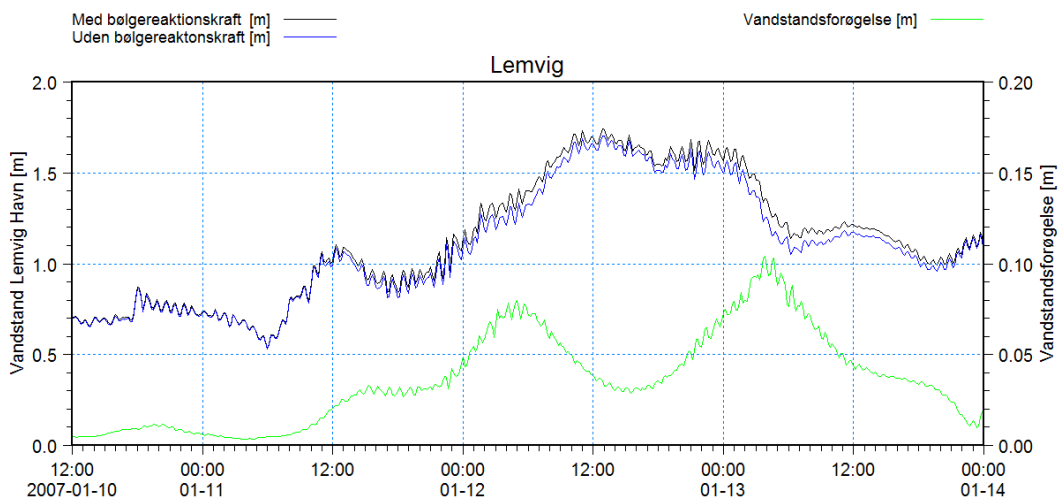


Figur 7-7 Modellerede vandstande ved Thyborøn Kyst med og uden bølgereaktionskræfter inkluderet.

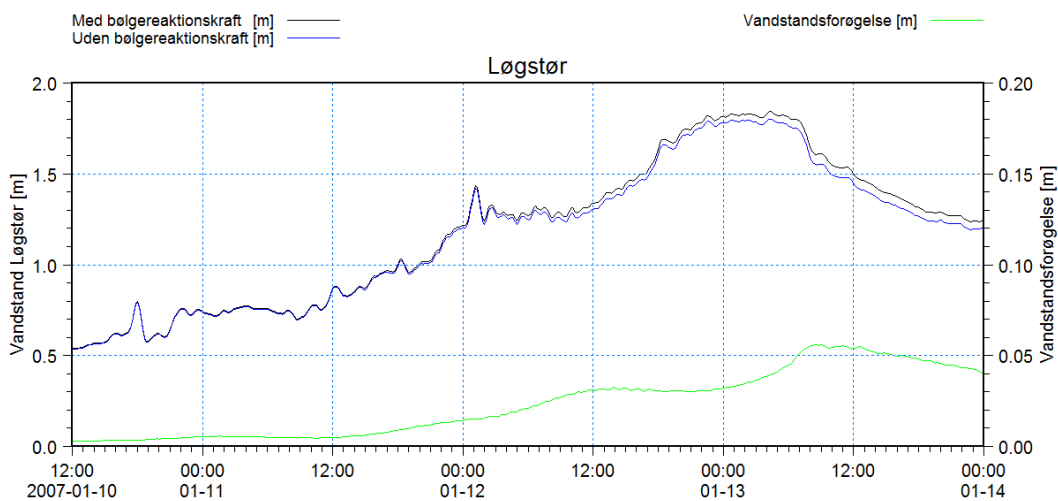
I Thyborøn Havn forøger bølgerne vandstanden med op til 12 centimeter og 3,3 centimeter i middel. Mens de tilsvarende tal for Lemvig er 10 centimeter og 3,2 centimeter og for Løgstør 6 centimeter og 2,1 centimeter.



Figur 7-8 Modellerede vandstande i Thyborøn Havn med og uden bølgereaktionskræfter inkluderet.



Figur 7-9 Modellerede vandstande i Lemvig med og uden bølgereaktionskræfter inkluderet.

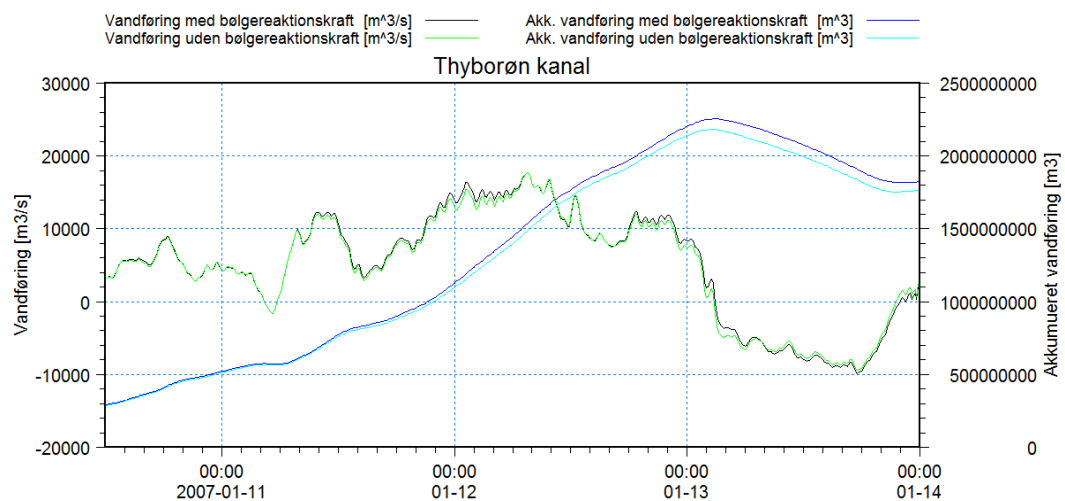


Figur 7-10 Modellerede vandstande i Løgstør med og uden bølgereaktionskræfter inkluderet.

Konklusionen er som for Storm 1, at de opnåede vandstandseffekter ved inkludering af bølgereaktionskræfter vil blive udlignet af en gennemsnitlig vandstandskorrektion på 3,6 centimeter langs den ydre rand.

7.2.2 **Bølgereaktionskræfters indvirkning på vandføring**

Vandføringen og den akkumulerede vandføring gennem Thyborøn Kanal er beregnet og sammenlignet i Figur 7-11 for Storm 2 hændelsen. Det ses, at effekten isoleret set er relativt svag og kun resulterer i en forøgelse af den maksimale akkumulerede vandføring på 3,4 %. Forøgelsen må forventes at blive elimineret, såfremt den påtrykte vandstand korrigeres for bølgeopstuvningseffekten.



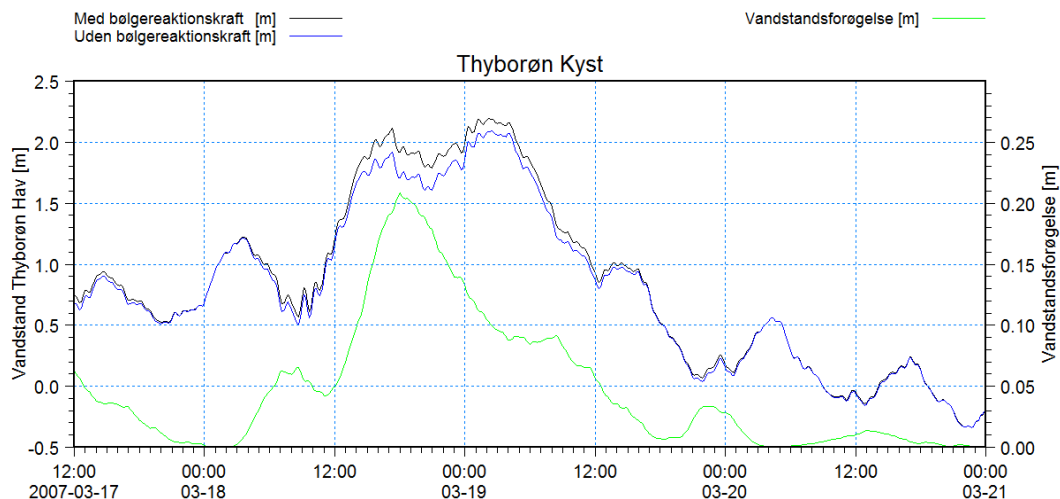
Figur 7-11 Sammenligning af vandføring og akkumuleret vandføring gennem Thyborøn Kanal.

7.3 **Analyse af Storm 3**

For Storm 3 er der udført en analyse analogt til de foregående.

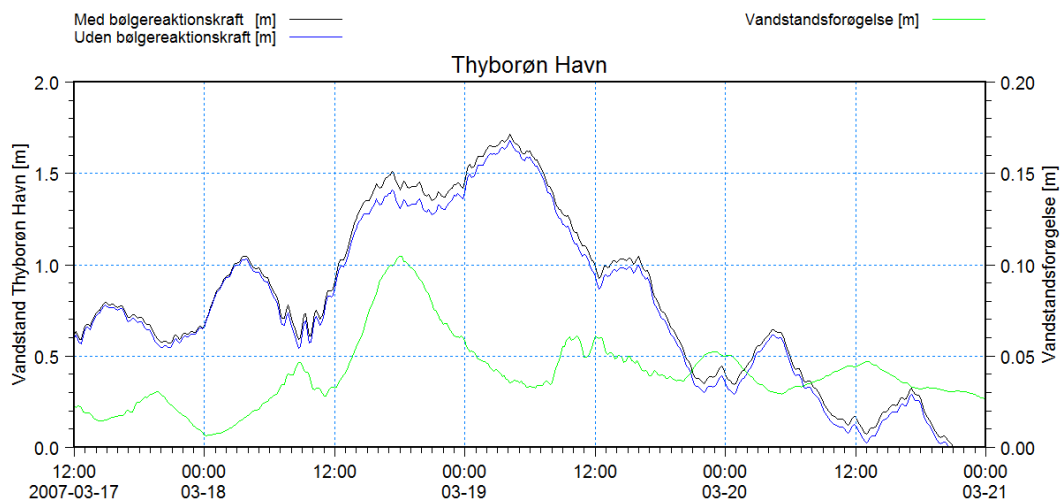
7.3.1 **Bølgereaktionskræfters indvirkning på vandstand**

En sammenligning af vandstande udtrukket fra de to udførte simuleringer af Storm 3 er vist i Figur 7-12 - Figur 7-15. Heraf ses, at bølgerne genererer en vandstandsforøgelse på op til 20 centimeter ved Thyborøn Kyst. I middel en vandstandsforøgelse på 5,1 centimeter.

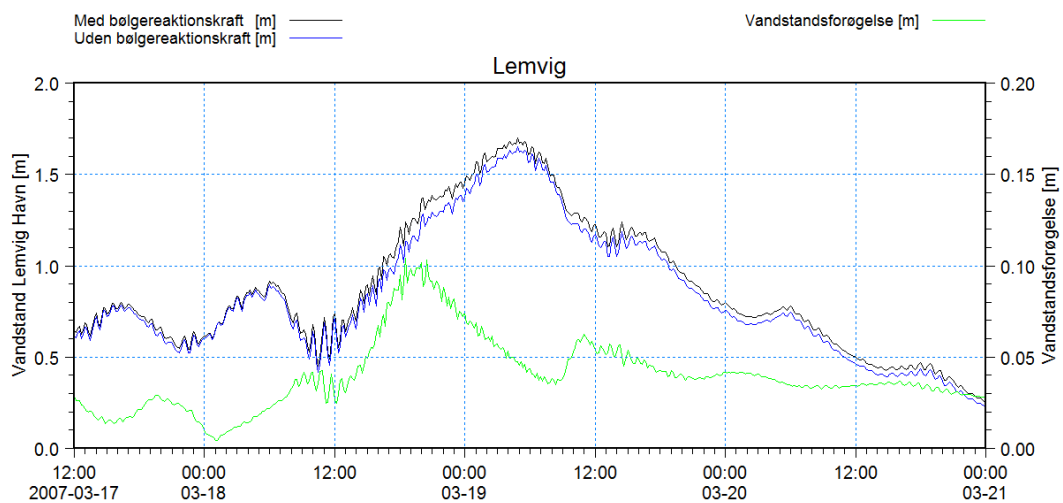


Figur 7-12 Modellerede vandstande ved Thyborøn Kyst med og uden bølgereaktionskræfter inkluderet.

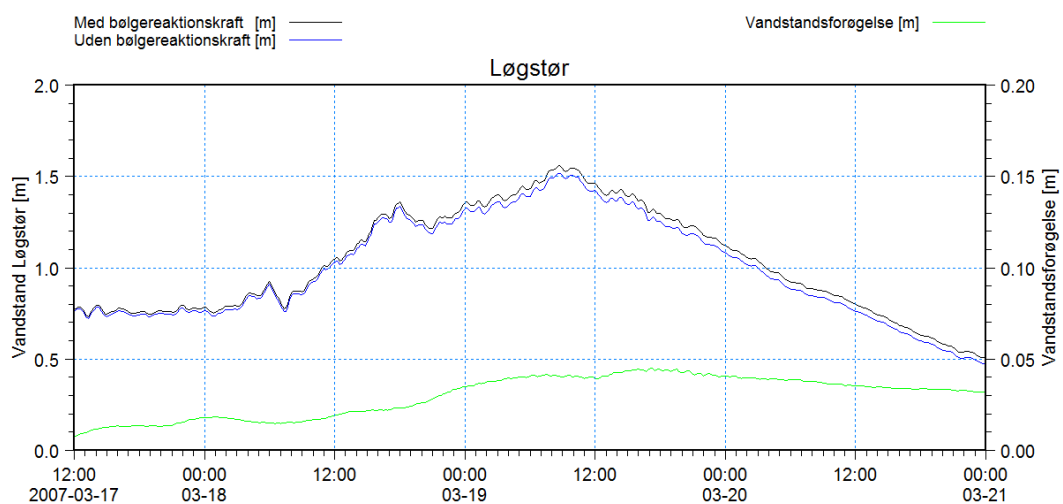
I Thyborøn Havn forøger bølgerne vandstanden med op til 10 centimeter og 3,9 centimeter i middel. Mens de tilsvarende tal for Lemvig er 10 centimeter og 3,8 centimeter og for Løgstør 5 centimeter og 2,6 centimeter.



Figur 7-13 Modellerede vandstande i Thyborøn Havn med og uden bølgereaktionskræfter inkluderet.



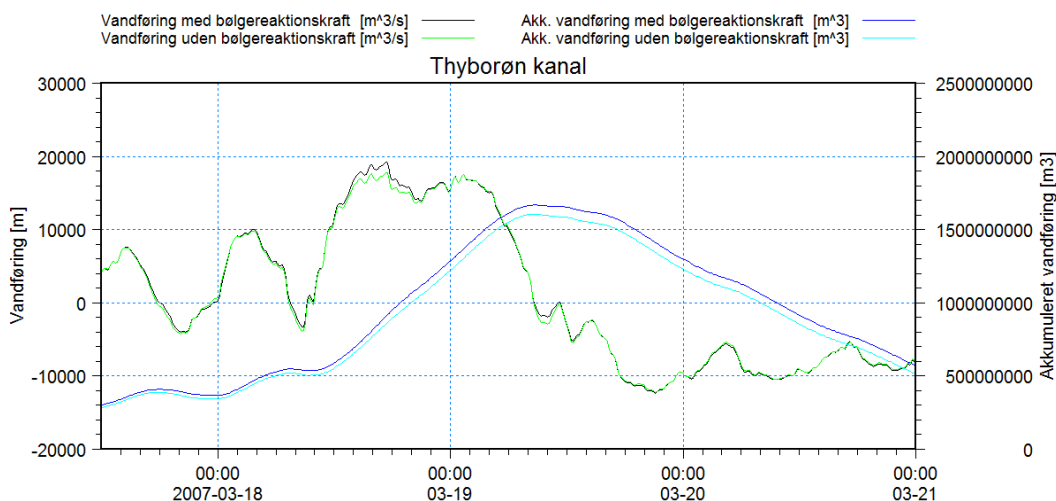
Figur 7-14 Modellerede vandstande i Lemvig med og uden bølgereaktionskræfter inkluderet.



Figur 7-15 Modellerede vandstande i Løgstør med og uden bølgereaktionskræfter inkluderet.

7.3.2 Bølgereaktionskræfters indvirkning på vandføring

Vandføringen og den akkumulerede vandføring gennem Thyborøn Kanal er beregnet og sammenlignet i Figur 7-16 for Storm 3 hændelsen. Det ses, at effekten isoleret set er relativt svag og kun resulterer i en forøgelse af den maksimale akkumulerede vandføring på 3,8 %. Forøgelsen må forventes at blive elimineret, såfremt den påtrykte vandstand korrigeres for bølgeopstuvningseffekten.



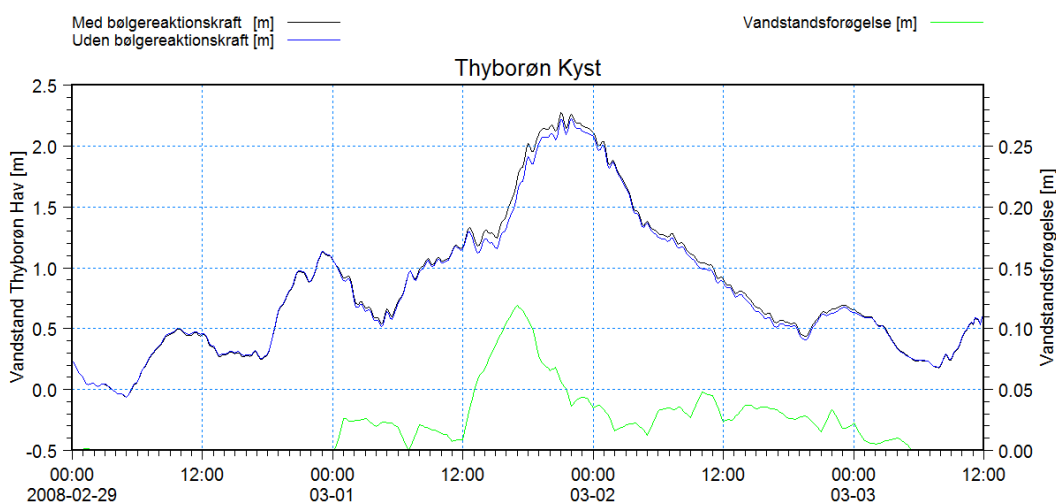
Figur 7-16 Sammenligning af vandføring og akkumuleret vandføring gennem Thyborøn Kanal.

7.4 Analyse af Storm 4

For Storm 4 er der udført en analyse analogt til de foregående.

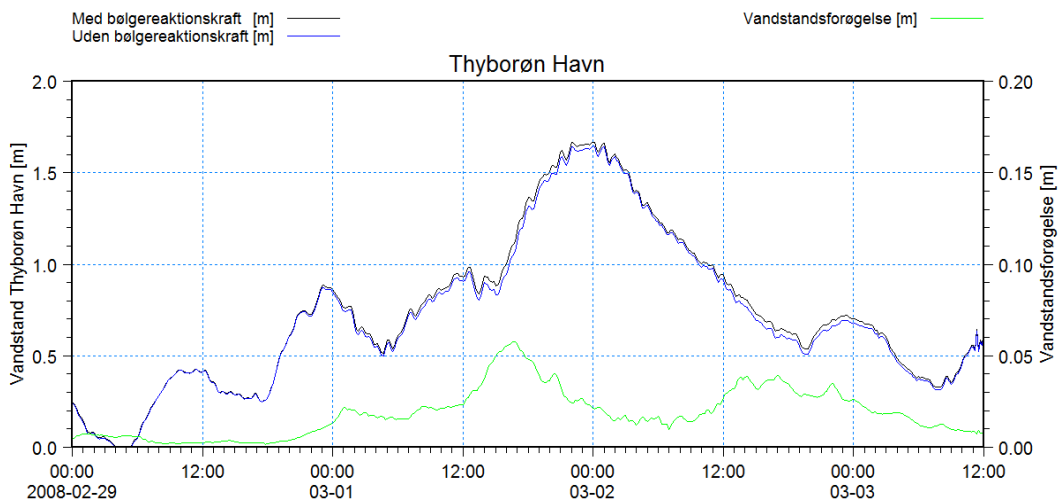
7.4.1 Bølgereaktionskræfters indvirkning på vandstand

En sammenligning af vandstande udtrykket fra de to udførte simuleringer af Storm 4 er vist i Figur 7-17 - Figur 7-20. Heraf ses, at bølgerne genererer en vandstandsforøgelse på op til 12 centimeter ved Thyborøn Kyst. I middel en vandstandsforøgelse på 1,6 centimeter.

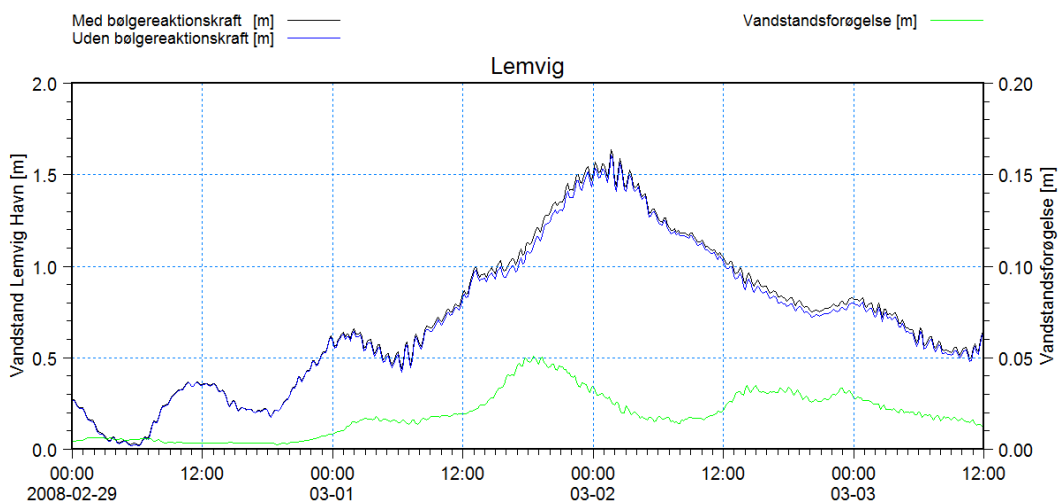


Figur 7-17 Modellerede vandstande ved Thyborøn Kyst med og uden bølgereaktionskræfter inkluderet.

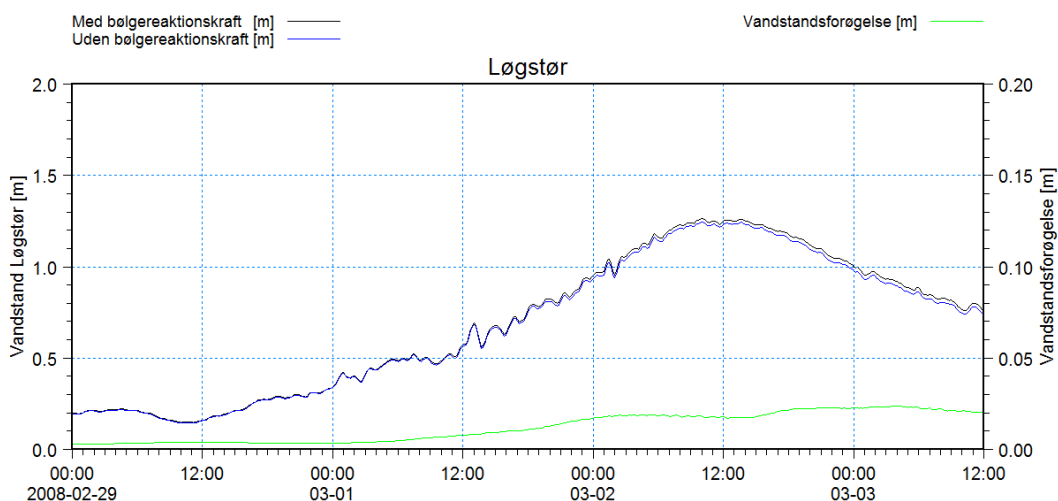
I Thyborøn Havn forøger bølgerne vandstanden med op til 6 centimeter og 1,7 centimeter i middel. Mens de tilsvarende tal for Lemvig er 5 centimeter og 1,7 centimeter og for Løgstør 2 centimeter og 1,1 centimeter.



Figur 7-18 Modellerede vandstande i Thyborøn Havn med og uden bølgereaktionskræfter inkluderet.



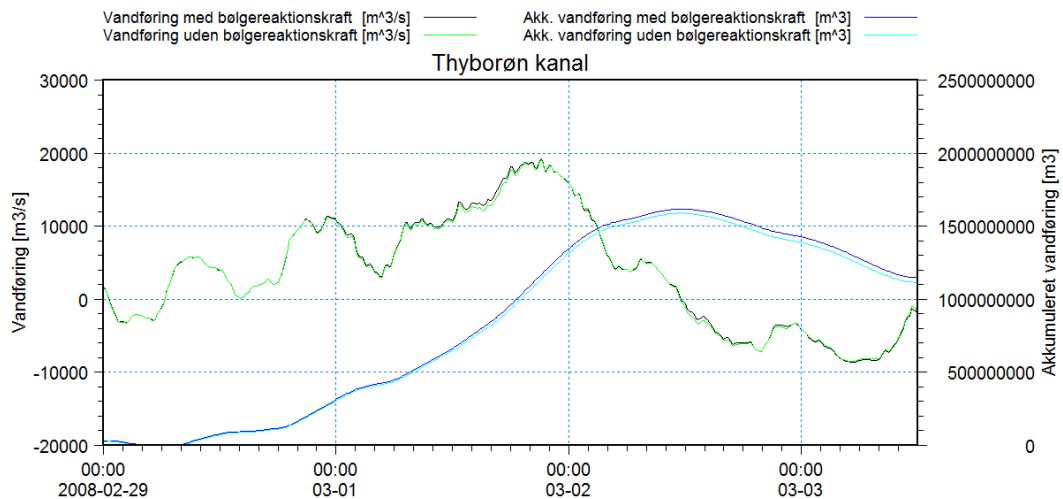
Figur 7-19 Modellerede vandstande i Lemvig med og uden bølgereaktionskræfter inkluderet.



Figur 7-20 Modellerede vandstande i Løgstør med og uden bølgereaktionskræfter inkluderet.

7.4.2 Bølgeraktionskræfters indvirkning på vandføring

Vandføringen og den akkumulerede vandføring gennem Thyborøn Kanal er beregnet og sammenlignet i Figur 7-21 for Storm 4 hændelsen. Det ses, at effekten isoleret set er relativt svag og kun resulterer i en forøgelse af den maksimale akkumulerede vandføring på 1,8 %. Forøgelsen må forventes at blive elimineret, såfremt den påtrykte vandstand korrigeres for bølgeopstuvningseffekten.



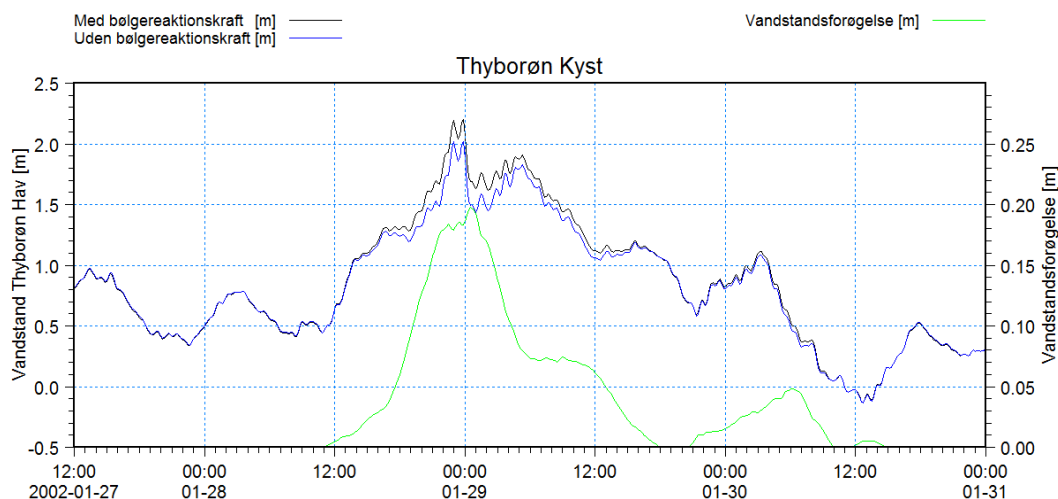
Figur 7-21 Sammenligning af vandføring og akkumuleret vandføring gennem Thyborøn Kanal.

7.5 Analyse af Storm 5

For Storm 5 er der udført en analyse analogt til de foregående.

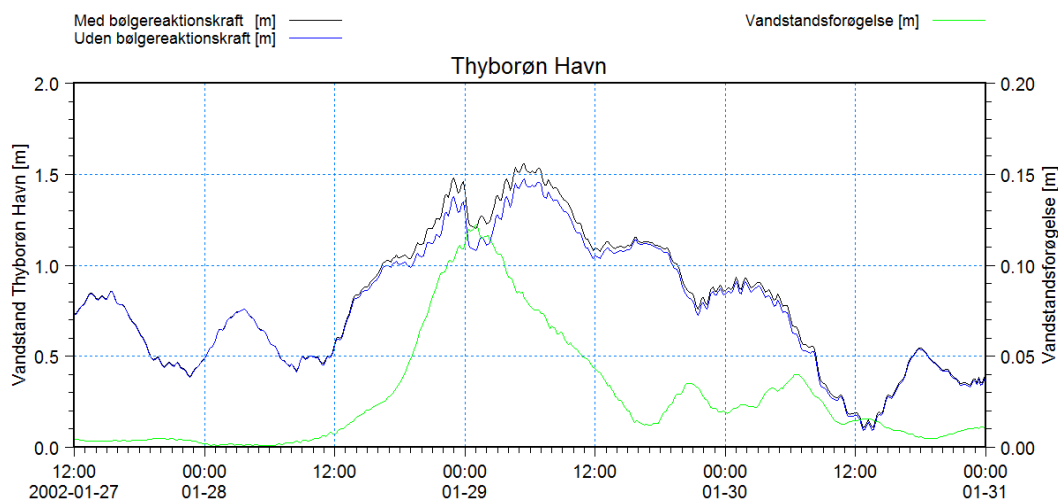
7.5.1 Bølgeraktionskræfters indvirkning på vandstand

En sammenligning af vandstande udtrukket fra de to udførte simuleringer af Storm 5 er vist i Figur 7-22 - Figur 7-25. Heraf ses, at bølgerne genererer en vandstandsforøgelse på op til 20 centimeter ved Thyborøn Kyst. I middel en vandstandsforøgelse på 2,6 centimeter.

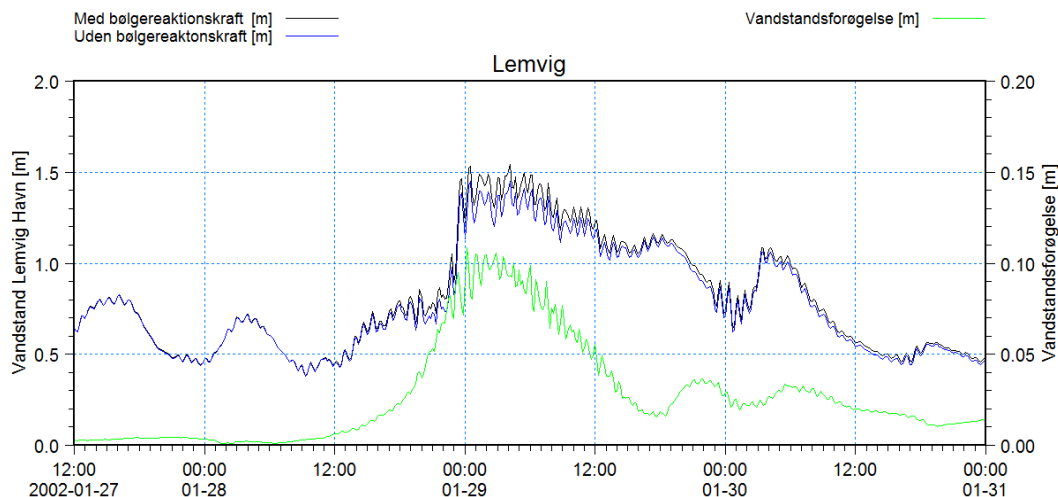


Figur 7-22 Modellerede vandstande ved Thyborøn Kyst med og uden bølgereaktionskræfter inkluderet.

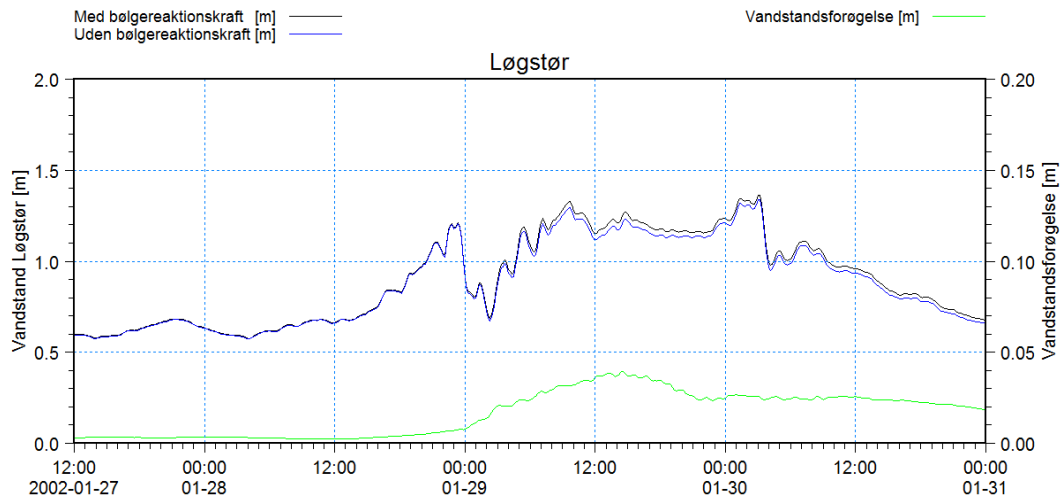
I Thyborøn Havn forøger bølgerne vandstanden med op til 12 centimeter og 2,5 centimeter i middel. Mens de tilsvarende tal for Lemvig er 11 centimeter og 2,4 centimeter og for Løgstør 4 centimeter og 1,4 centimeter.



Figur 7-23 Modellerede vandstande i Thyborøn Havn med og uden bølgereaktionskræfter inkluderet.



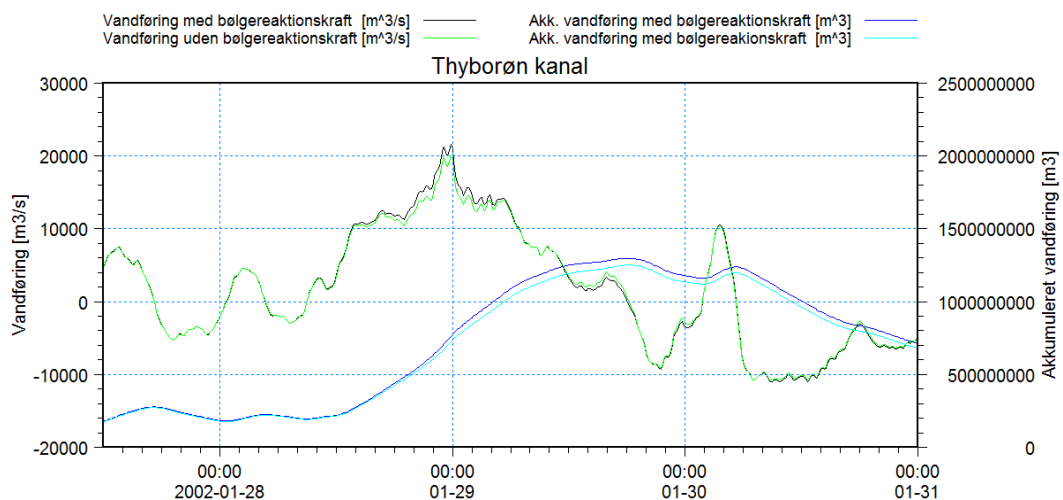
Figur 7-24 Modellerede vandstande i Lemvig med og uden bølgereaktionskræfter inkluderet.



Figur 7-25 Modellerede vandstande i Løgstør med og uden bølgereaktionskræfter inkluderet.

7.5.2 Bølgereaktionskræfters indvirkning på vandføring

Vandføringen og den akkumulerede vandføring gennem Thyborøn Kanal er beregnet og sammenlignet i Figur 7-26 for Storm 5 hændelsen. Det ses, at effekten isoleret set er relativt svag og kun resulterer i en forøgelse af den akkumulerede vandføring på 3,6 %. Forøgelsen må forventes at blive elimineret, såfremt den påtrykte vandstand korrigeres for bølgeopstuvningseffekten.



Figur 7-26 Sammenligning af vandføring og akkumuleret vandføring gennem Thyborøn Kanal.

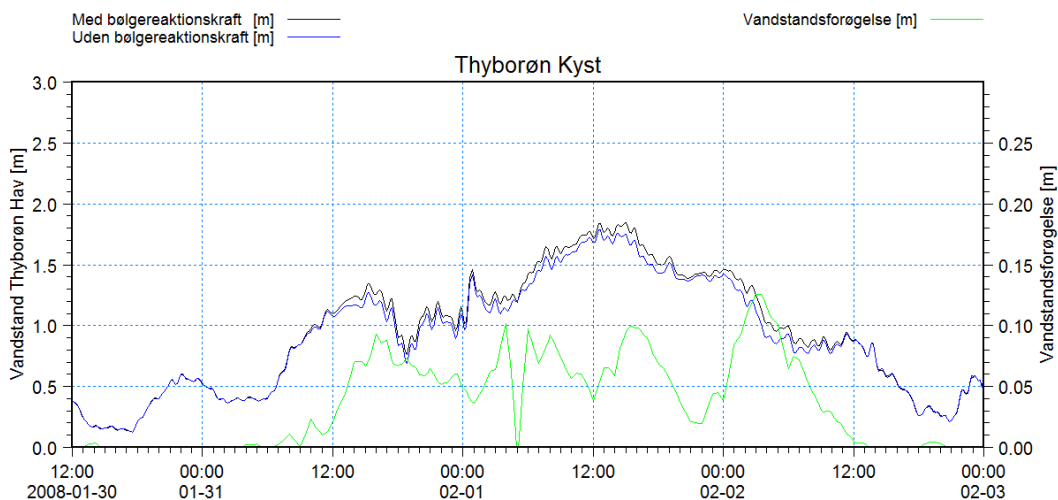
7.6 Analyse af Storm 6

For Storm 6 er der udført en analyse analogt til de foregående.

7.6.1 Bølgereaktionskræfters indvirkning på vandstand

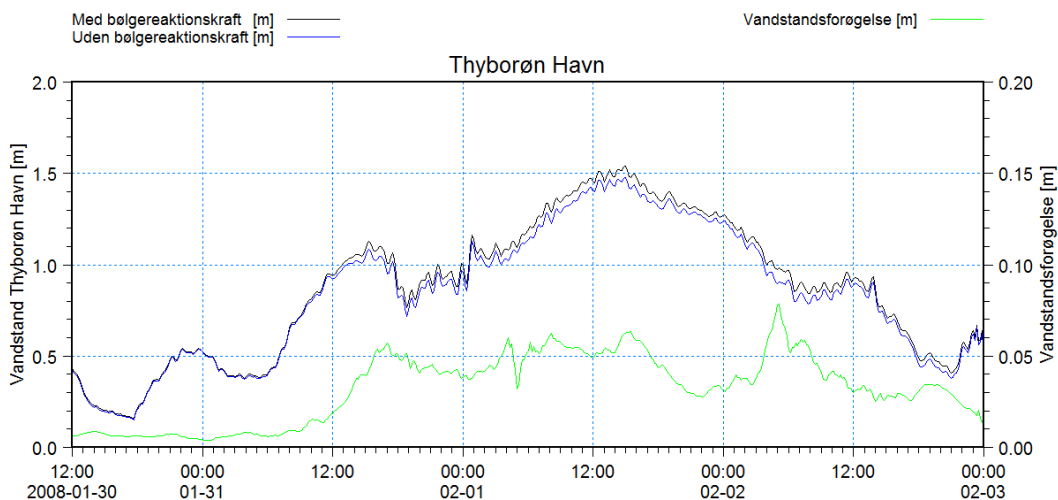
En sammenligning af vandstande udtrykket fra de to udførte simuleringer af Storm 6 er vist i Figur 7-27 - Figur 7-30. Heraf ses, at bølgerne genererer en vandstandsforøgelse

på op til 13 centimeter ved Thyborøn Kyst. I middel en vandstandsforøgelse på 3,1 centimeter.

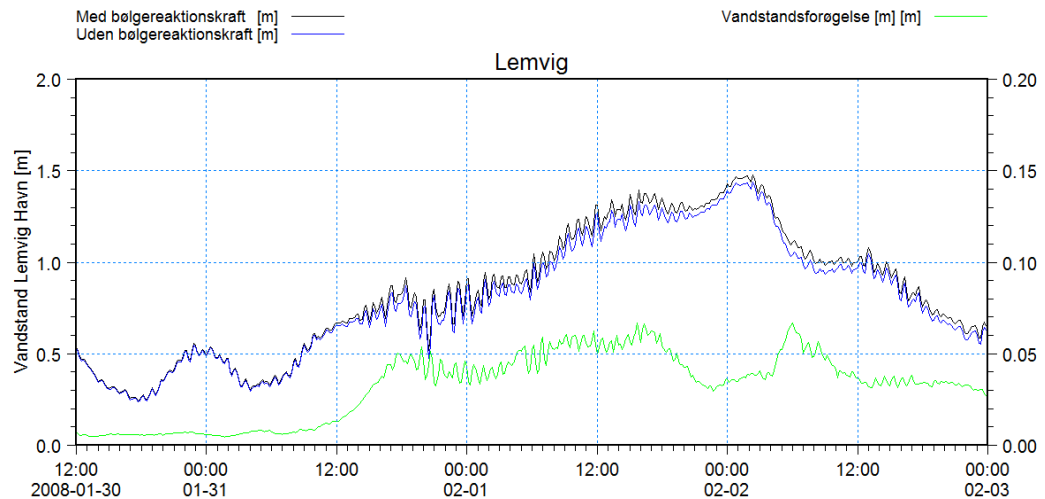


Figur 7-27 Modellerede vandstande ved Thyborøn Kyst med og uden bølgereaktionskræfter inkluderet.

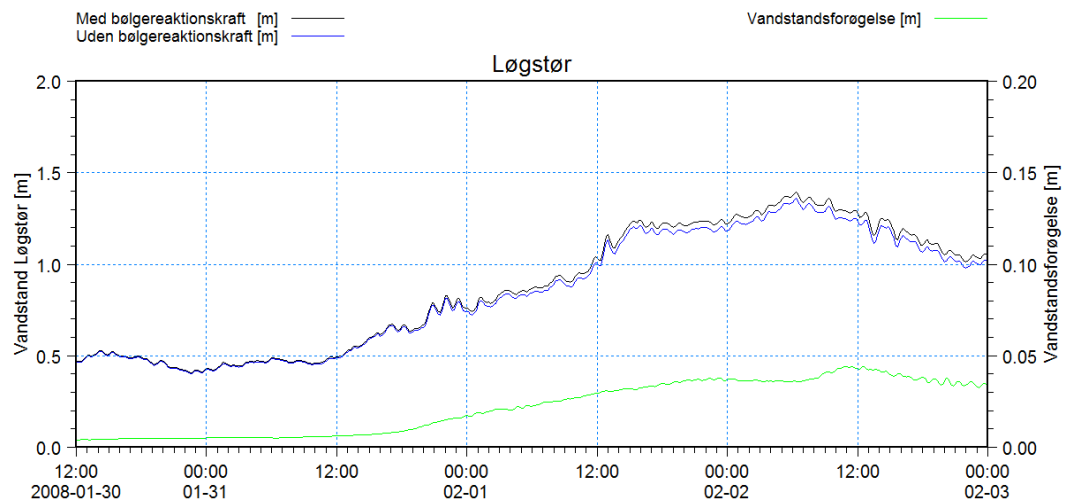
I Thyborøn Havn forøger bølgerne vandstanden med op til 8 centimeter og 2,9 centimeter i middel. Mens de tilsvarende tal for Lemvig er 7 centimeter og 2,9 centimeter og for Løgstør 4 centimeter og 1,9 centimeter.



Figur 7-28 Modellerede vandstande i Thyborøn Havn med og uden bølgereaktionskræfter inkluderet.



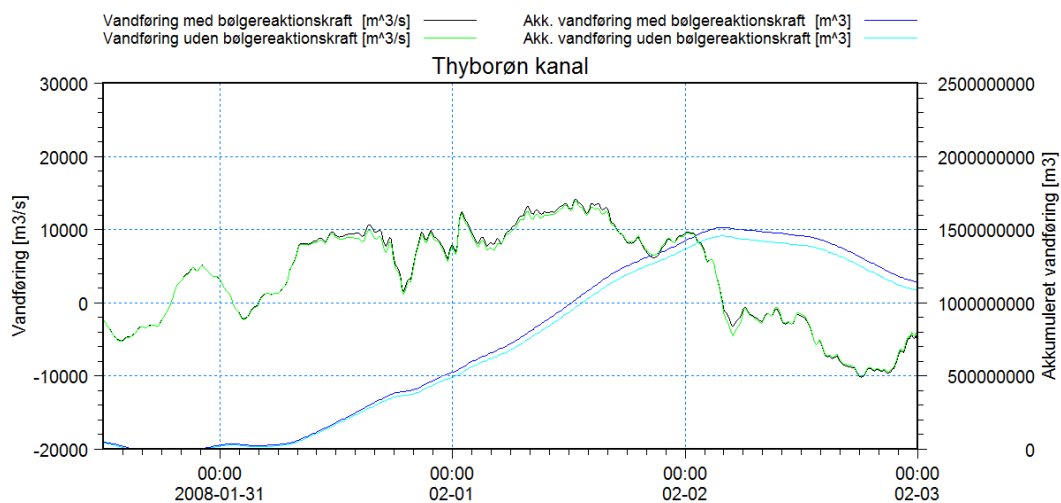
Figur 7-29 Modellerede vandstande i Lemvig med og uden bølgereaktionskræfter inkluderet.



Figur 7-30 Modellerede vandstande i Løgstør med og uden bølgereaktionskræfter inkluderet.

7.6.2 Bølgereaktionskræfters indvirkning på vandføring

Vandføringen og den akkumulerede vandføring gennem Thyborøn Kanal er beregnet og sammenlignet i Figur 7-31 for Storm 6 hændelsen. Det ses, at effekten isoleret set er relativt svag og kun resulterer i en forøgelse af den akkumulerede vandføring på 3,9 %. Forøgelsen må forventes at blive elimineret, såfremt den påtrykte vandstand korrigeres for bølgeopstuvningseffekten.



Figur 7-31 Sammenligning af vandføring og akkumuleret vandføring gennem Thyborøn Kanal.



8 STORMFLODSMODELLERING

8.1 Nulpunktskorrigerede vandstande

I afsnit 2.3 blev det påvist, at middelvandstanden varierer målestationerne imellem. Forskellene er så store, at det kun kan relatere til afvigelser fra referenceniveau (DVR90). Der er derfor blevet udført et kontrolnivelement af stationerne i Lemvig og Skive. I Lemvig og Løgstør fandt man, at de målte vandstande refererer til DNN og ikke DVR90, dvs. en fejl på 8,5 cm og 4,2 cm. Endvidere fandt man, at målerens trykcelle målte 4 % for højt i Lemvig. I praksis betyder dette, at de højeste målte vandstande under storm skal reduceres med 15 cm i Lemvig. I Skive fandt man, at målerens nulpunkt var 6 cm for højt, og at sensoren (trykcellen) viste 1,3 % for højt. Samlet set medførte dette, at de højeste målte vandstande under storm skal reduceres med 8 cm.

Kontrolnivelementerne giver kun mulighed for at justere stationerne i Lemvig og Skive. Der er derfor lavet en sammenligning af de målte middelvandstande for perioden 1. januar 2002 til 1. januar 2010 med henblik på en korrektion af de øvrige stationer i den vestlige del af Limfjorden. Da de herved fundne korrektioner er i fuld overensstemmelse med de landmålerbestemte korrektioner i Lemvig og Skive, må denne metode betegnes som fuld valid. Den fysiske forklaring på dette er, at stationerne i den vestlige del kun er meget svagt influeret af middelvandstanden ved Hals Barre.

Tabel 8-1 Beregnet nulpunktskorrektion af målte vandstande.

Station	Middelvandstand [m]	Nulpunktskorrektion [m]
Thyborøn Kyst	0,097	0,000
Thyborøn Havn	0,083	0,014
Lemvig	0,185	-0,088 ¹
Thisted	0,100	-0,003
Nykøbing Mors	0,172	-0,075
Skive	0,155	-0,058 ²
Hvalpsund	0,131	-0,034
Rønbjerg	0,121	-0,024
Løgstør	0,131	-0,034
Øland Attrup	0,077	Intet estimat
Nibe	0,049	Intet estimat
Ålborg Øst	-0,027	Intet estimat
Hals Barre I	-0,075	Intet estimat

¹ Korrektion af målte vandstande i Lemvig og Skive foretages på baggrund af kontrolnivelement og målerkalibre-

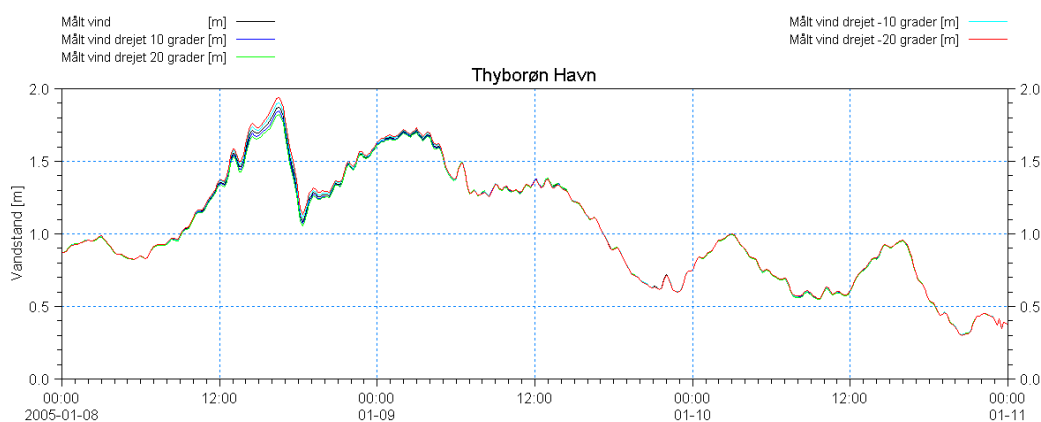
Det er ikke muligt at lave en tilsvarende korrektion af stationerne inde i Limfjordskanalen, idet disse stationer er influeret af middelvandstanden ved Hals Barre. Det ses, at middelvandstandsniveauerne aftager fra vest mod øst igennem Limfjorden, hvilket afspejler energitabet på strækningen fra Aggersund til Hals. Der er derfor konsistens i middelvandspejlsniveauerne og dermed intet grundlag for en modifikation af betydning. I det følgende er de målte vandstande korrigeret svarende til Tabel 8-1.

8.2 Stormflodsniveauets følsomhed over for vindretningen

Det er langt lettere at opnå god præcision af simulerede vandstande under rolige forhold end under en storm. Dette skyldes primært, at vandstanden i de enkelte fjordbassiner ikke varierer ret meget under rolige forhold, og enhver lokalitet i fjordbassinet derfor er repræsentativ for vandstanden. Under storm er situationen helt anderledes, idet vindstuvning på tværs af fjordbassinet resulterer i store vandstandsforskelle. Valg af lokalitet kommer dermed til at betyde meget for hvilken vandstand, der vil blive registreret.

Vindstuvningens størrelse bestemmes af fjordbassinets geometri samt vindens styrke og retning. Hvis den påtrykte vind i en simulering ikke afspejler de faktiske forhold i det enkelte fjordbassin, vil det ikke være muligt at opnå fuld overensstemmelse mellem det observerede og modellerede forløb. Vindmålinger er kun til rådighed i form af tidsserier i nogle få stationer, som antages at være repræsentative for forholdene i hele Limfjorden. Med de tilgængelige målinger er det i praksis kun muligt at anvende en vindtidsserie (lokalitet) til at repræsentere forholdene i hele modelområdet. Når man sammenholder de målte tidsserier fra Thyborøn, Ålborg og Hals, vil man se, at der er forskelle både i vindstyrke og vindretning. Kvaliteten af den hydrodynamiske models evne til at modellere vandstande under stormflod står og falder med, i hvor høj grad den anvendte vindtidsserie repræsenterer de faktiske forhold.

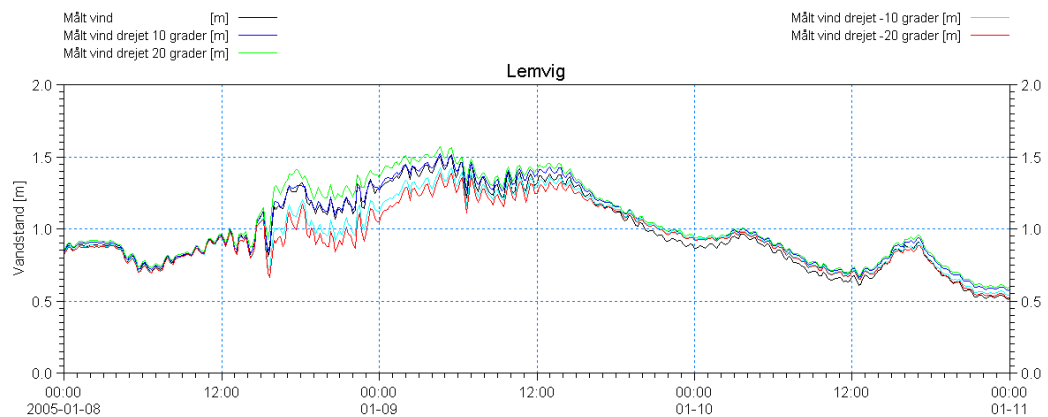
I dette afsnit er der lavet en række test af vindretningens betydning for ekstremvandstanden i en række lokaliteter i Limfjorden. Testen er udført ved at dreje den ved Thyborøn målte vind i spring på 10 grader med og mod uret. Analysen er udført med udgangspunkt i Storm 1 og giver indsigt i, hvor følsomme de enkelte stationer i Limfjorden er overfor vindens retning. Den målte vind ved Thyborøn under Storm 1 er vist i Figur 3-7.



Figur 8-1 Vandstandens følsomhed i Thyborøn Havn over for en ændret vindretning af Storm 1.

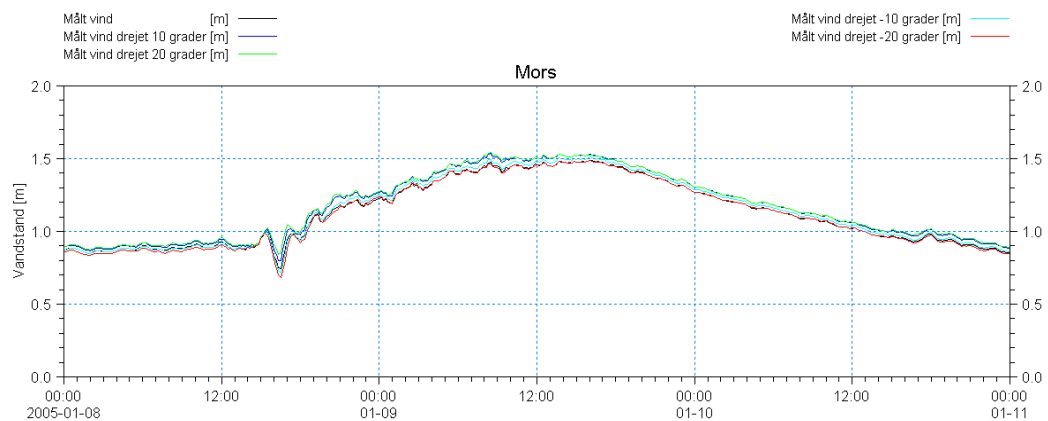
I Figur 8-1 er de simulerede vandstande i Thyborøn Havn vist. Det ses, at vindretningen ikke har nogen betydning i store dele af perioden på nær i den del, hvor vindhastigheden er høj og ekstremvandstanden optræder. Følsomheden i Thyborøn Havn er ikke så stor, idet lokaliteten ligger tæt på modelranden, hvor vandstanden er dikteret, og fordi vindens frie stræk ikke er så stort.

Vindretningens betydning for vandstanden i Lemvig er vist i Figur 8-2, og her ses vindretningen at have stor betydning for ekstremvandstandens værdi.



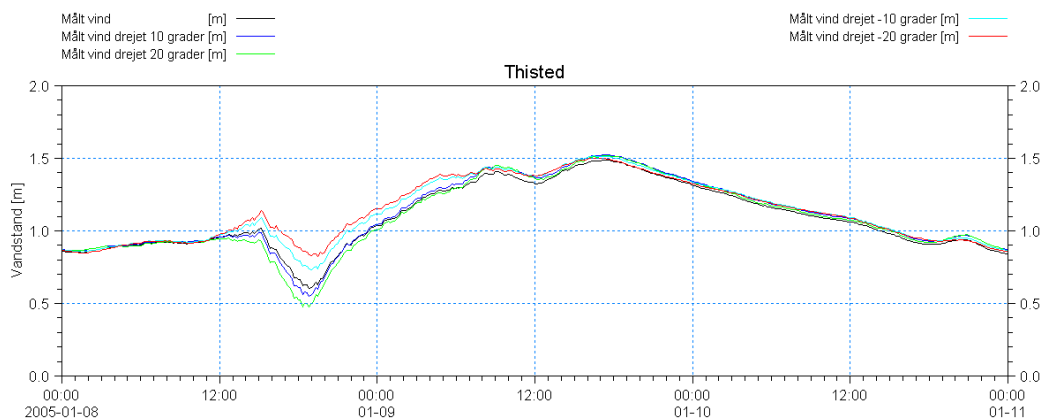
Figur 8-2 Vandstandens følsomhed i Lemvig over for en ændret vindretning af Storm 1.

Ved Nykøbing Mors er vindretningens betydning relativ beskeden, som det fremgår af Figur 8-3.



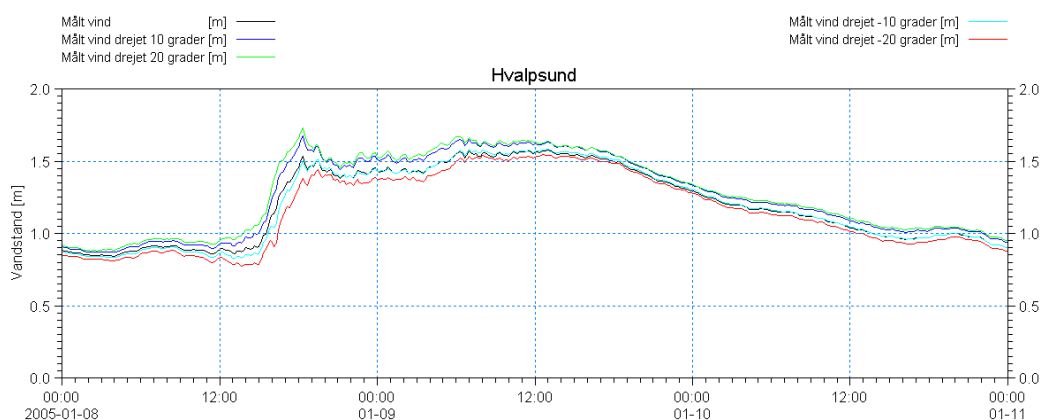
Figur 8-3 Vandstandens følsomhed i Nykøbing Mors over for en ændret vindretning af Storm 1.

Vandstanden ved Thisted er påvirket af vindretningen i perioden med kraftig blæst, men ekstremvandstanden er ikke påvirket synderligt, idet den optræder under mere rolige vindforhold, jf. Figur 8-4.



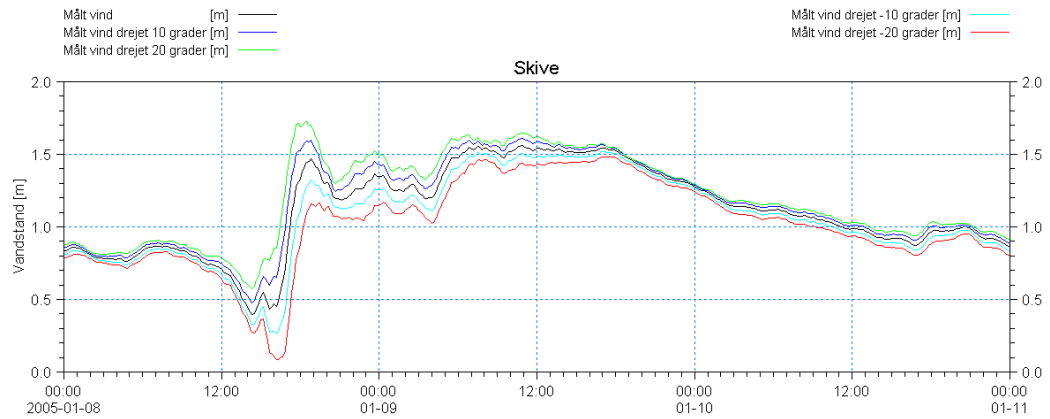
Figur 8-4 Vandstandens følsomhed i Thisted over for en ændret vindretning af Storm 1.

Både den generelle vandstand og i særdeleshed ekstremvandstanden ved Hvalpsund ses at blive påvirket af en ændring i vindretningen, jf. Figur 8-5.



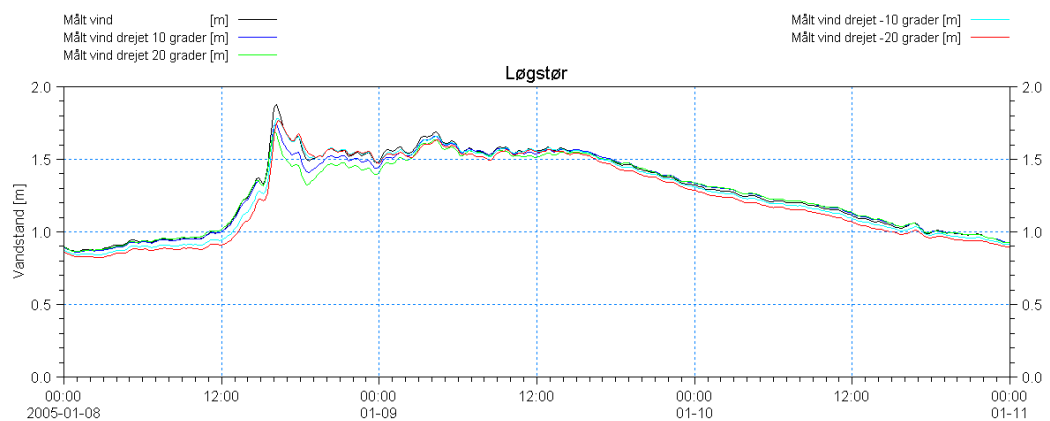
Figur 8-5 Vandstandens følsomhed i Hvalpsund over for en ændret vindretning af Storm 1.

Ekstremvandstanden ved Skive ses at være meget følsom over for en ændring i vindretningen, jf. Figur 8-6.



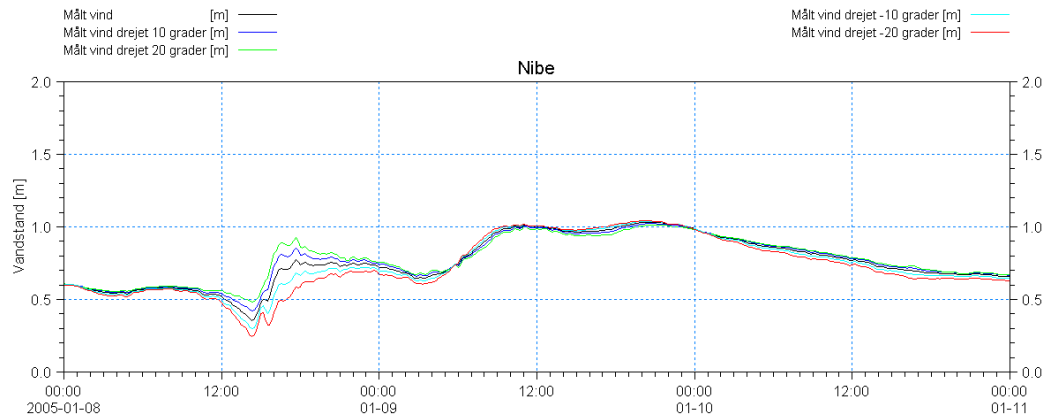
Figur 8-6 Vandstandens følsomhed i Skive over for en ændret vindretning af Storm 1.

Af Figur 8-7 fremgår det, at ekstremvandstanden ved Løgstør er følsom over for en ændring af vindretningen.



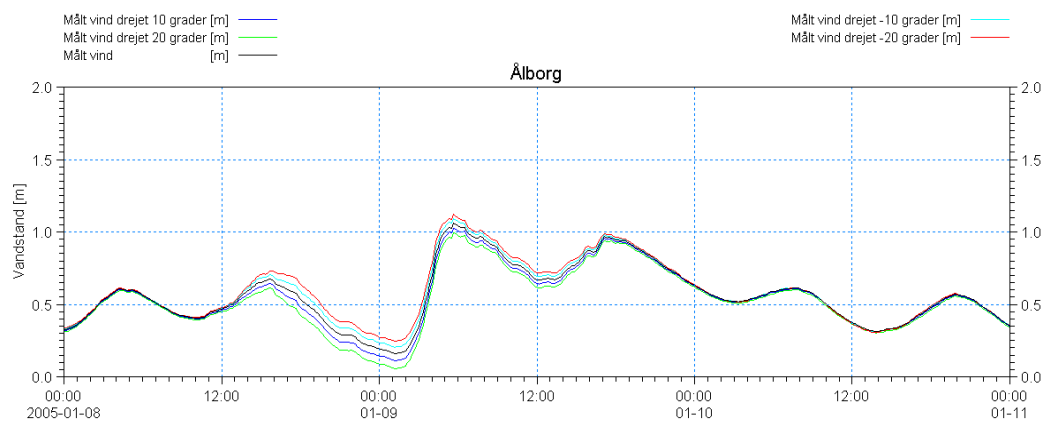
Figur 8-7 Vandstandens følsomhed i Løgstør over for en ændret vindretning af Storm 1.

Vandstanden ved Nibe ses at være påvirket af vindretningen i perioden med kraftig blæst, mens ekstremvandstanden ikke er synderligt påvirket, da den optræder under mere rolige vindforhold, jf. Figur 8-8.



Figur 8-8 Vandstandens følsomhed i Nibe over for en ændret vindretning af Storm 1.

Af Figur 8-9 fremgår det, at vandstanden ved Ålborg er mere følsom over for vindretningen end forventet, idet der også optræder forskelle udenfor perioden med kraftig vind.



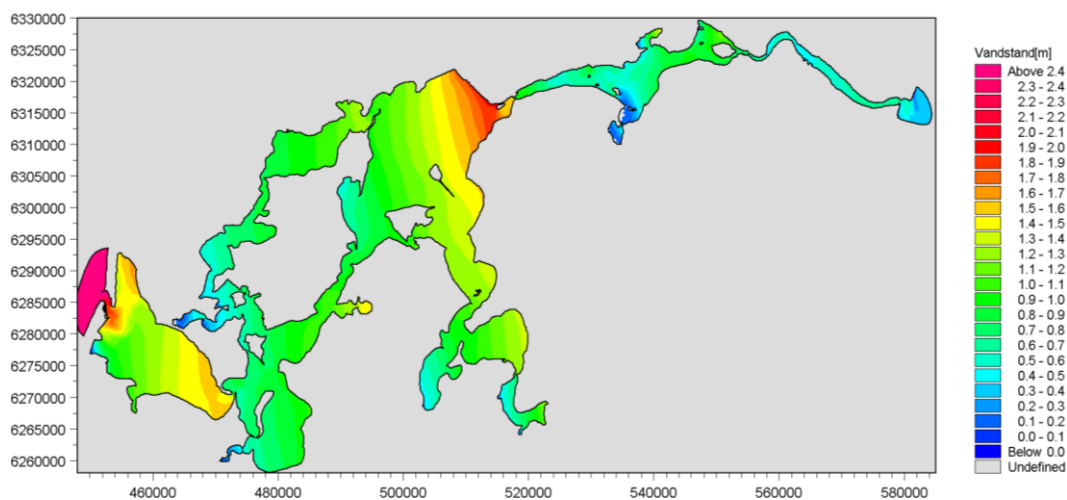
Figur 8-9 Vandstandens følsomhed i Ålborg over for en ændret vindretning af Storm 1.

Et overblik over hvor meget ekstremvandstanden ændres i de enkelte stationer, når vindretningen ændres, er givet i Tabel 8-2. Det ses, at ekstremvandstanden er særlig følsom over for vindretningen i Skive, Hvalpsund og Lemvig.

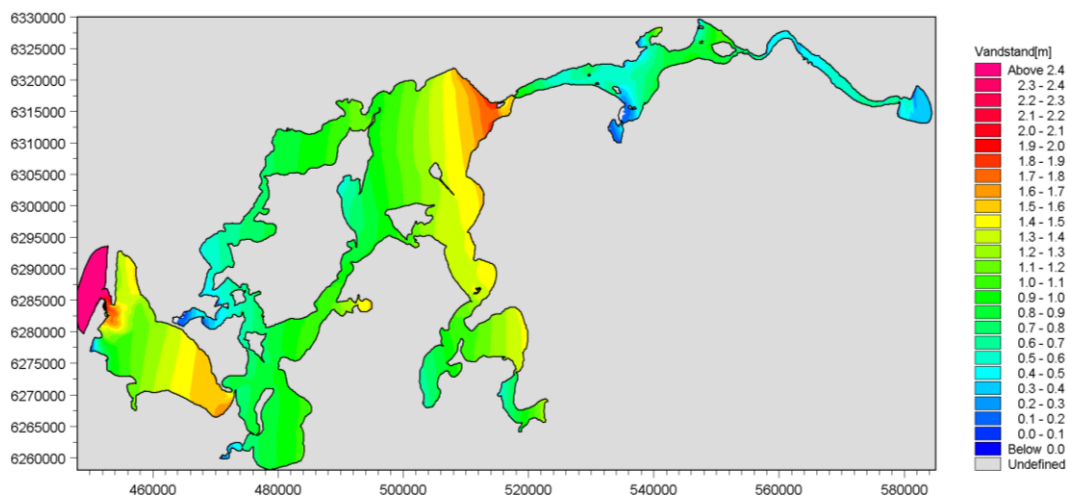
Tabel 8-2 Oversigt visende ændringer af ekstremvandstand angivet i centimeter som følge af en ændret vindretning.

Station	Vind drejet 10°	Vind drejet 20°	Vind drejet -10°	Vind drejet -20°
Thyborøn Havn	-2,8	-5,2	3,1	6,7
Lemvig	5,0	10,1	-4,5	-8,4
Løgstør	-3,5	-8,5	0,3	-1,0
Nibe	-0,9	-2,0	0,6	1,0
Ålborg	-3,3	-6,7	3,2	6,2
Mors	1,0	1,8	-1,5	-3,7
Skive	4,8	16,3	-4,4	-7,7
Hvalpsund	5,2	10,9	-3,8	-7,8
Thisted	0,2	-0,5	-0,8	-2,0

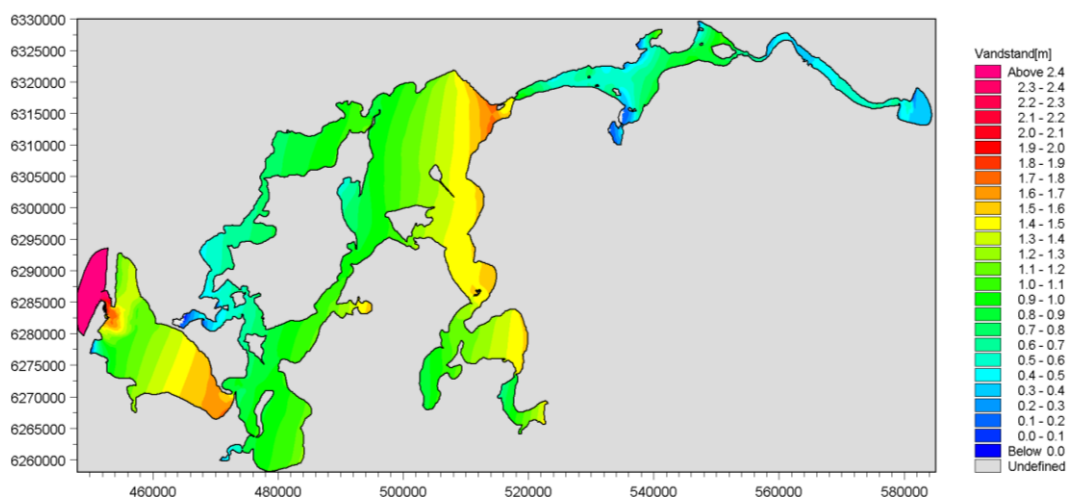
Et mere klart billede af hvordan vandstandene i Limfjorden påvirkes af vindretningen på det tidspunkt, hvor vandstanden topper ved Løgstør under Storm 1, fremgår af vandstandskonturplottene vist i Figur 8-10 til og med Figur 8-14.



Figur 8-10 Modelleret vandstandsfordeling i Limfjorden med målt Thyborøn vind.

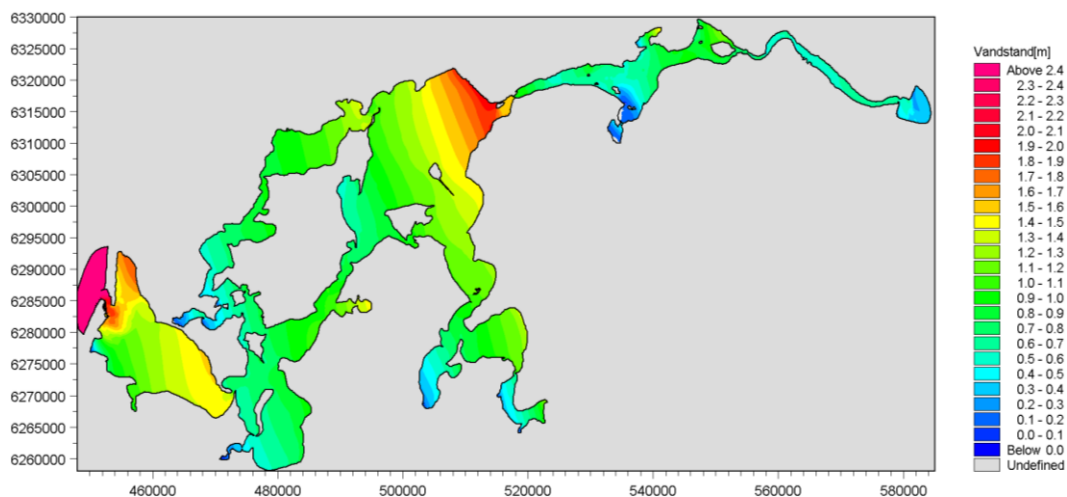


Figur 8-11 Modelleret vandstandsfordeling i Limfjorden med målt Thyborøn vind drejet 10 grader.

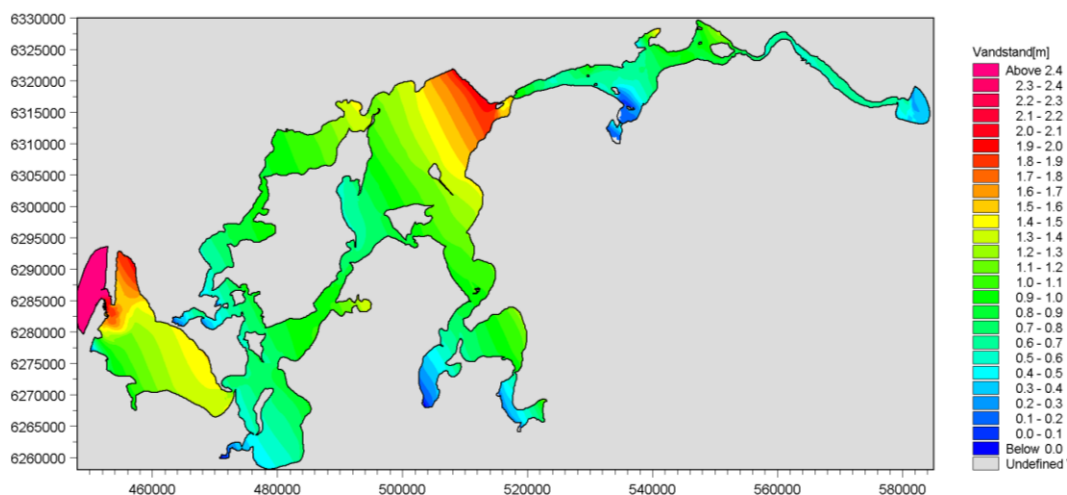


Figur 8-12 Modelleret vandstandsfordeling i Limfjorden med målt Thyborøn vind drejet 20 grader.

Det ses, at vindretningen er styrende for, hvordan vindstuvningen er orienteret i fjordbassinerne og dermed også er i stand til at påvirke udvekslingen mellem de forskellige fjordbassiner. Vandføringerne i Thyborøn Kanal og Oddesund er kun influeret svagt af en drejning af vinden. Det er primært den interne omfordeling i de enkelte fjordbassiner, som influeres.



Figur 8-13 Modelleret vandstandsfordeling i Limfjorden med målt Thyborøn vind drejet -10 grader.



Figur 8-14 Modelleret vandstandsfordeling i Limfjorden med målt Thyborøn vind drejet -20 grader.

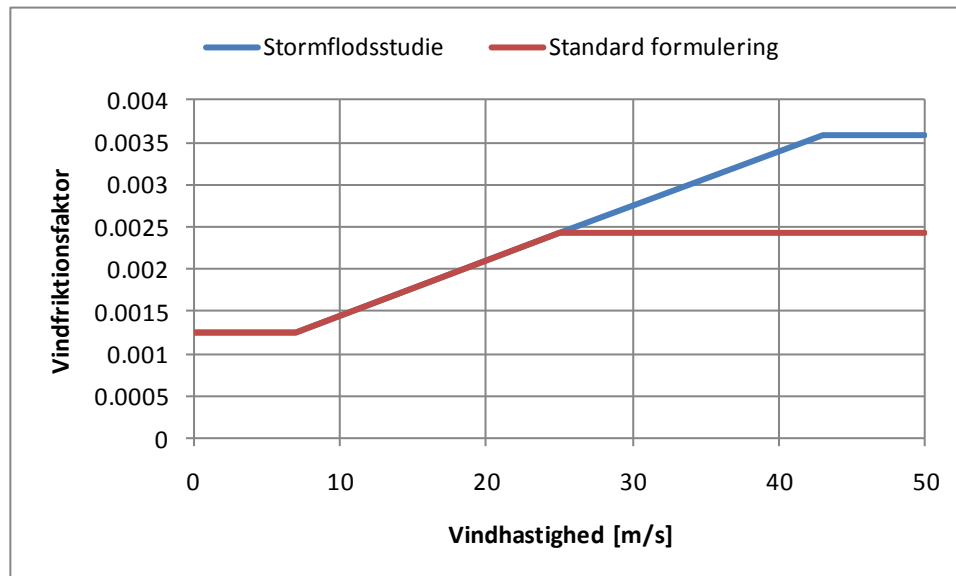
8.3 Simulerede stormfloder, Storm 1-6

Ud fra en række simuleringer med de forskellige vindretninger og bundmodstande fandtes det, at den bedste kombination opnås ved at anvende:

- Vindhastighed svarende til måling ved Thyborøn
- Vindretning fundet som middel af måling ved Thyborøn og Ålborg
- Brug af en lineært varierende vindfriktionsfaktor, som vokser med vindstyrken for alle vindhastigheder over 7 m/s. For vindhastigheder mellem 7 m/s og 43 m/s interpoleres der lineært mellem vindfriktionsfaktorerne 0,001255 og 0,003595, hvilket afviger fra standardformuleringen, hvor der afskæres ved 25 m/s. Forskellen på de to formuleringer er illustreret i Figur 8-15. Heraf ses, at den anvendte formulering svarer til ekstrapolation af standardformuleringen og derfor

kun vil være af betydning for stormflodshændelser, hvor vindhastigheden overstiger 25 m/s.

- Bundmodstand er modelleret ved hjælp af et Manning tal på $40 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$.



Figur 8-15 Vindfriktionsfaktorformulering anvendt til stormflodsmodelleringen i Limfjorden.

I det følgende er vist tabeller som indeholder en sammenligning mellem beregninger udført med ovenstående opsætning og den først anvendte opsætning, hvor bundmodstand og vindmodstandsformulering er uforandret, men vindretningen er baseret på den målt ved Thyborøn.

I de følgende tabeller er der beregnet en række statistiske mål til vurdering og evaluering af den hydrodynamiske models evne til at beregne stormflodsvandstande i Limfjorden. Af tabellernes indhold ses, at modellen er i stand til at opfylde det opstillede kvalitetsmål, som foreskriver en nøjagtighed på under 0,2 m for stormflodsniveauerne inde i Limfjorden.

De beregnede mål for middelfvigelse og absolut middelfvigelse er beregnet for en periode på $2\frac{1}{2}$ døgn.

Tabel 8-3 Nulpunktskorrigerede stormflodsvandstande Thyborøn Havn. Øverst: Thyborøn vind og standard vindfriktion. Nederst: Vægtet vindretning og ekstrapoleret vindfriktion.

Hændelse	Målt maksimal vandstand [m]	Modelleret maksimal vandstand [m]	Stormflods-afvigelse [m]	Middel-afvigelse [m]	Absolut middel-afvigelse [m]
Storm 1a/b	1,76	1,70	-0,06	-0,157	0,160
	1,90	1,67	-0,23		
Storm 2	1,79	1,87	0,08	0,102	0,113
Storm 3	1,65	1,68	0,03	0,087	0,088
Storm 4	1,61	1,66	0,05	0,072	0,076
Storm 5	1,29	1,48	0,19	0,021	0,062
Storm 6	1,37	1,48	0,11	0,094	0,095

Storm 1a/b	1,76	1,76	0,00	-0,159	0,163
	1,90	1,66	-0,24		
Storm 2	1,79	1,87	0,08	0,103	0,114
Storm 3	1,65	1,69	0,04	0,087	0,088
Storm 4	1,61	1,66	0,05	0,073	0,078
Storm 5	1,29	1,43	0,14	0,015	0,056
Storm 6	1,37	1,49	0,12	0,096	0,097

Tabel 8-4 Nulpunktskorrigerede stormflodsvandstande Lemvig. Øverst: Thyborøn vind og standard vindfriktion. Nederst: Vægtet vindretning og ekstrapoleret vindfriktion.

Hændelse	Målt maksimal vandstand [m]	Modelleret maksimal vandstand [m]	Stormflods-afvigelse [m]	Middel-afvigelse [m]	Absolut middel-afvigelse [m]
Storm 1	1,73	1,50	-0,23	-0,093	0,117
Storm 2	1,60	1,68	0,08	0,091	0,097
Storm 3	1,60	1,62	0,02	0,072	0,083
Storm 4	1,54	1,57	0,03	0,007	0,038
Storm 5	1,27	1,42	0,15	0,050	0,079
Storm 6	1,40	1,41	0,01	0,111	0,115

Storm 1	1,73	1,55	-0,18	-0,086	0,115
Storm 2	1,60	1,68	0,08	0,098	0,107
Storm 3	1,60	1,61	0,01	0,068	0,084
Storm 4	1,54	1,57	0,03	0,011	0,038
Storm 5	1,27	1,33	0,06	0,042	0,066
Storm 6	1,40	1,37	-0,03	0,026	0,109

Tabel 8-5 Nulpunktskorrigerede stormflodsvandstande Thisted. Øverst: Thyborøn vind og standard vindfriktion. Nederst: Vægtet vindretning og ekstrapoleret vindfriktion.

Hændelse	Målt maksimal vandstand [m]	Modelleret maksimal vandstand [m]	Stormflods-afvigelse [m]	Middel-afvigelse [m]	Absolut middel-afvigelse [m]
Storm 1	1,66	1,48	-0,16	-0,160	0,160
Storm 2	1,51	1,52	0,01	-0,058	0,077
Storm 3	1,33	1,28	-0,05	0,031	0,056
Storm 4	1,14	1,05	-0,09	-0,106	0,108
Storm 5	1,28	1,18	-0,10	-0,136	0,136
Storm 6	1,18	1,13	-0,05	-0,029	0,054

Storm 1	1,66	1,49	-0,15	-0,162	0,162
Storm 2	1,51	1,51	0,00	-0,057	0,075
Storm 3	1,33	1,28	-0,05	0,033	0,054
Storm 4	1,14	1,05	-0,09	-0,105	0,107
Storm 5	1,28	1,16	-0,12	-0,138	0,138
Storm 6	1,18	1,14	-0,04	-0,022	0,048

Tabel 8-6 Nulpunktskorrigerede stormflodsvandstande Hvalpsund. Øverst: Thyborøn vind og standard vindfriktion. Nederst: Vægtet vindretning og ekstrapoleret vindfriktion.

Hændelse	Målt maksimal vandstand [m]	Modelleret maksimal vandstand [m]	Stormflods-afvigelse [m]	Middel-afvigelse [m]	Absolut middel-afvigelse [m]
Storm 1	1,74	1,58	-0,16	-0,099	0,099
Storm 2	1,66	1,76	0,10	0,062	0,067
Storm 3	1,41	1,52	0,11	0,129	0,129
Storm 4	1,31	1,24	-0,07	-0,046	0,062
Storm 5	1,30	1,35	0,05	-0,032	0,045
Storm 6	1,38	1,44	0,06	0,052	0,059

Storm 1	1,74	1,61	-0,13	-0,083	0,083
Storm 2	1,66	1,76	0,10	0,060	0,065
Storm 3	1,41	1,53	0,12	0,131	0,131
Storm 4	1,31	1,24	-0,07	-0,046	0,063
Storm 5	1,30	1,34	0,04	-0,019	0,035
Storm 6	1,38	1,47	0,09	0,044	0,057

Tabel 8-7 Nulpunktskorrigerede stormflodsvandstande Skive. Øverst: Thyborøn vind og standard vindfrikktion. Nederst: Vægtet vindretning og ekstrapoleret vindfrikktion.

Hændelse	Målt maksimal vandstand [m]	Modelleret maksimal vandstand [m]	Stormflods-afvigelse [m]	Middel-afvigelse [m]	Absolut middel-afvigelse [m]
Storm 1	1,71	1,52	-0,19	-0,118	0,119
Storm 2	1,65	1,68	0,03	0,017	0,059
Storm 3	1,47	1,58	0,11	0,090	0,093
Storm 4	1,33	1,24	-0,09	-0,078	0,087
Storm 5	1,30	1,56	0,26	-0,044	0,088
Storm 6	1,44	1,51	0,07	0,052	0,086

Storm 1	1,71	1,54	-0,17	-0,103	0,107
Storm 2	1,65	1,70	0,05	0,019	0,069
Storm 3	1,47	1,61	0,14	0,088	0,092
Storm 4	1,33	1,25	-0,08	-0,076	0,087
Storm 5	1,30	1,47	0,17	-0,037	0,064
Storm 6	1,44	1,54	0,10	0,038	0,086

Tabel 8-8 Nulpunktskorrigerede stormflodsvandstande Løgstør. Øverst: Thyborøn vind og standard vindfrikktion. Nederst: Vægtet vindretning og ekstrapoleret vindfrikktion.

Hændelse	Målt maksimal vandstand [m]	Modelleret maksimal vandstand [m]	Stormflods-afvigelse [m]	Middel-afvigelse [m]	Absolut middel-afvigelse [m]
Storm 1	2,05	1,88	-0,17	-0,114	0,118
Storm 2	1,74	1,76	0,02	0,071	0,081
Storm 3	1,41	1,48	0,07	0,090	0,091
Storm 4	1,29	1,20	-0,09	-0,075	0,083
Storm 5	1,31	1,33	0,02	-0,056	0,069
Storm 6	1,32	1,33	0,01	0,025	0,049

Storm 1	2,05	2,05	0,00	-0,102	0,110
Storm 2	1,74	1,75	0,01	0,065	0,077
Storm 3	1,41	1,49	0,08	0,095	0,095
Storm 4	1,29	1,20	-0,09	-0,078	0,084
Storm 5	1,31	1,32	0,01	-0,038	0,054
Storm 6	1,32	1,33	0,01	0,026	0,054

Tabel 8-9 Nulpunktskorrigerede stormflodsvandstande Nykøbing Mors. Øverst: Thyborøn vind og standard vindfriktion. Nederst: Vægtet vindretning og ekstrapoleret vindfriktion.

Hændelse	Målt maksimal vandstand [m]	Modelleret maksimal vandstand [m]	Stormflods-afvigelse [m]	Middel-afvigelse [m]	Absolut middel-afvigelse [m]
Storm 1	N/A	1,49	N/A	N/A	N/A
Storm 2	1,55	1,58	0,03	-0,007	0,044
Storm 3	1,39	1,39	0,00	0,073	0,074
Storm 4	1,21	1,13	-0,08	-0,073	0,079
Storm 5	N/A	1,15	N/A	N/A	N/A
Storm 6	1,23	1,23	0,00	0,022	0,042

Storm 1	N/A	1,49	N/A	N/A	N/A
Storm 2	1,55	1,58	0,03	-0,007	0,045
Storm 3	1,39	1,38	-0,01	0,074	0,075
Storm 4	1,21	1,13	-0,08	-0,073	0,078
Storm 5	N/A	1,16	N/A	N/A	N/A
Storm 6	1,23	1,24	0,01	0,020	0,043

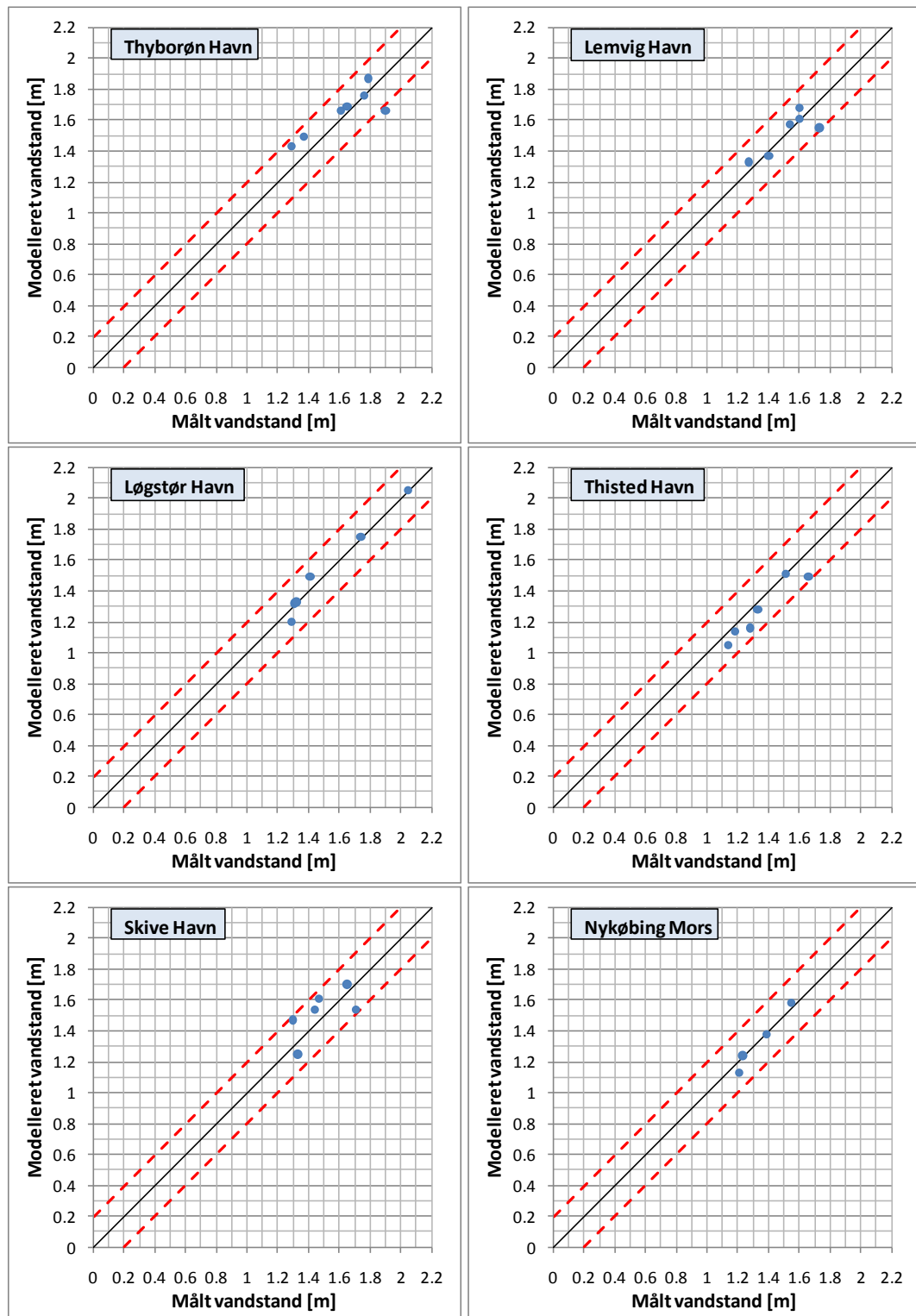
Tabel 8-10 Nulpunktskorrigerede stormflodsvandstande Rønbjerg. Øverst: Thyborøn vind og standard vindfriktion. Nederst: Vægtet vindretning og ekstrapoleret vindfriktion.

Hændelse	Målt maksimal vandstand [m]	Modelleret maksimal vandstand [m]	Stormflods-afvigelse [m]	Middel-afvigelse [m]	Absolut middel-afvigelse [m]
Storm 1	1,64	1,60	-0,04	-0,077	0,080
Storm 2	1,60	1,73	0,13	0,084	0,088
Storm 3	1,40	1,48	0,08	0,127	0,127
Storm 4	1,36	1,21	-0,15	-0,062	0,072
Storm 5	1,38	1,26	-0,12	0,127	0,127
Storm 6	1,38	1,36	-0,02	0,044	0,052

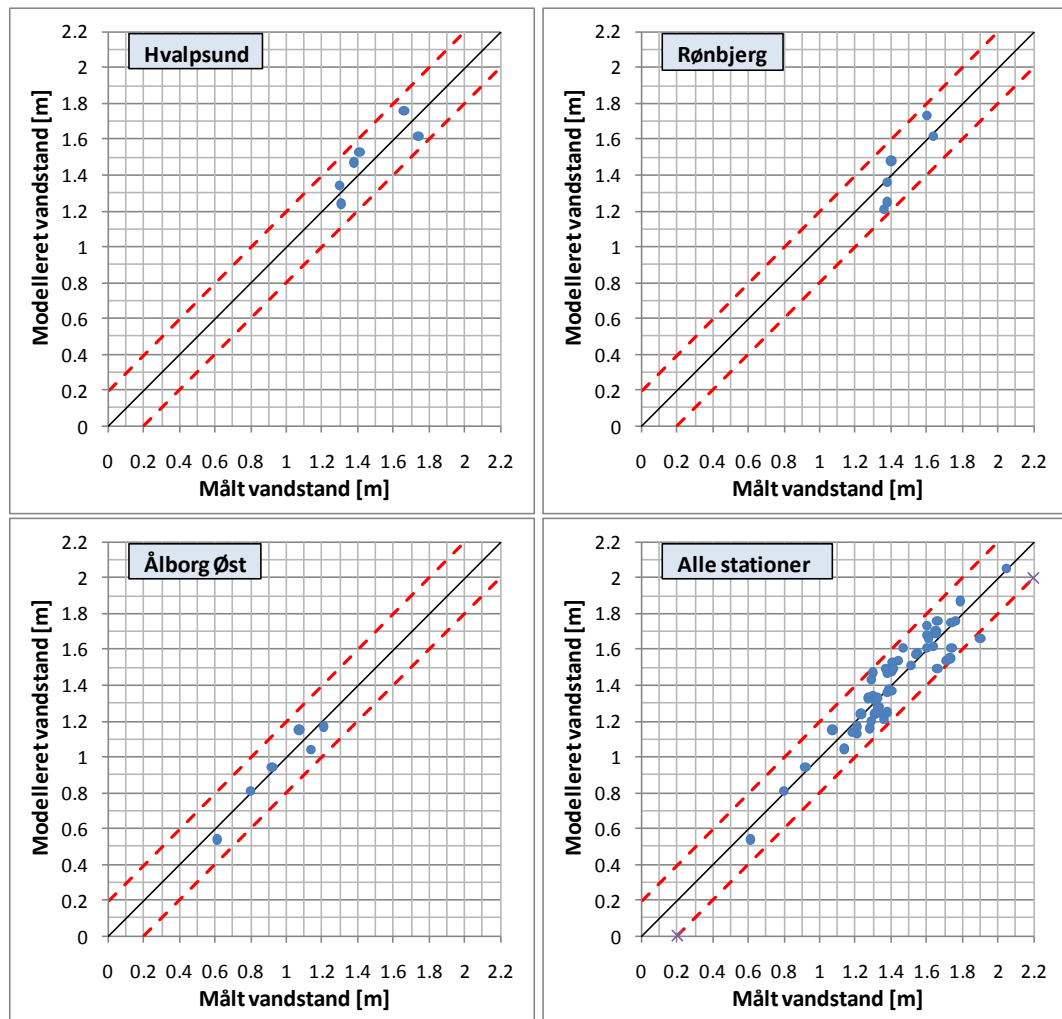
Storm 1	1,64	1,62	-0,02	-0,062	0,070
Storm 2	1,60	1,73	0,13	0,082	0,085
Storm 3	1,40	1,48	0,08	0,131	0,131
Storm 4	1,36	1,21	-0,15	-0,064	0,073
Storm 5	1,38	1,25	-0,13	-0,078	0,082
Storm 6	1,38	1,36	-0,02	0,043	0,053

8.3.1 Sammenligning af stormflodsvandstande

For en række af stationerne i Limfjorden er der lavet en sammenligning for de seks storme af de nulpunktskorrigerede målte stormflodsvandstande og de modellerede stormflodsvandstande sammenholdt med det opstillede kvalitetskrav. Resultatet af den analyse er vist i Figur 8-16 og Figur 8-17.



Figur 8-16 Sammenligning af nulpunktskorrigerede målte stormflodsvandstande og modellerede stormflodsvandstande for Thyborøn Havn, Lemvig Havn, Løgstør Havn, Thisted Havn, Skive Havn og Hvalpsund. De stiplede røde linjer angiver de opstillede tolerancekrav.

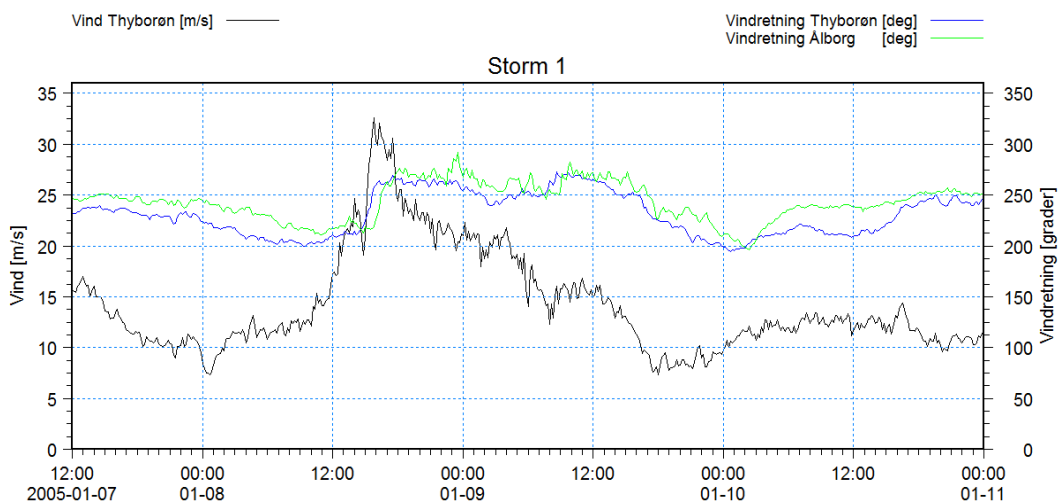


Figur 8-17 Sammenligning af nulpunktskorrigerede målte stormflodsvandstande og modellerede stormflodsvandstande for Hvalpsund, Rønbjerg, Ålborg Øst, samt alle stationerne samlet i et plot. De stiplede røde linjer angiver de opstillede tolerancekrav.

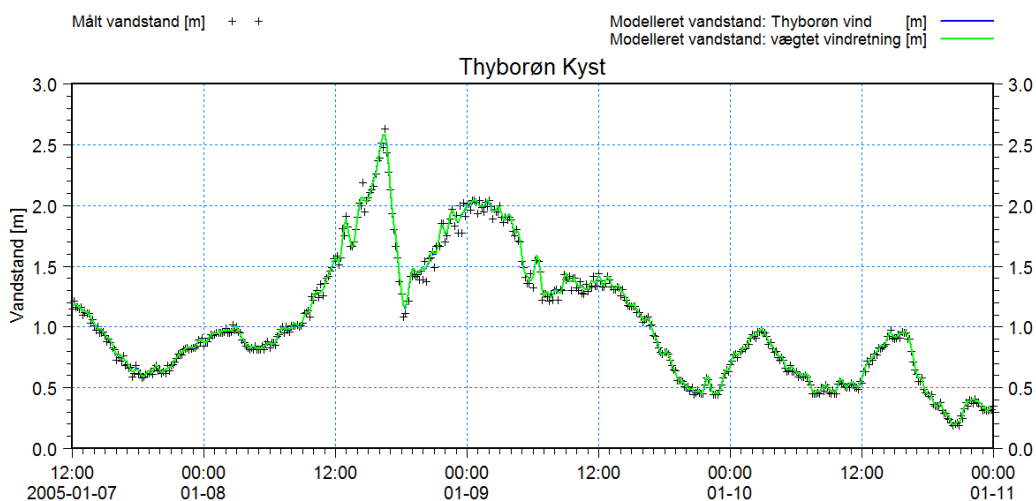
I de følgende afsnit er de modellerede vandstande plottet op for de seks referencestorme, og sammenlignet med observationer.

8.3.2 Simulering, Storm 1

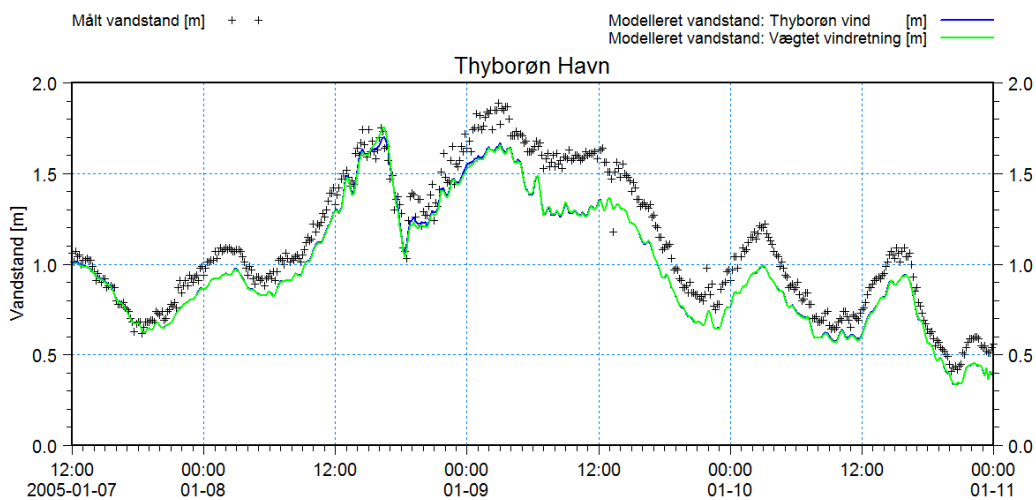
De simulerede vandstande i en række stationer under Storm 1 samt datagrundlaget for den benyttede vind er plottet i det følgende. Hvor det har været muligt eller af betydning, er de modellerede vandstande nulpunktskorrigerede vandstande. I de øvrige stationer er der sammenlignet med målte vandstande. Det ses, at der er et generelt problem med at få trukket nok vand ind i Limfjordssystemet under forløbet af denne storm. De modellerede vandstande ses dog mestendels at befinde sig indenfor de med rødt optegnede tolerancebånd, der angiver en form for kvalitetskrav.



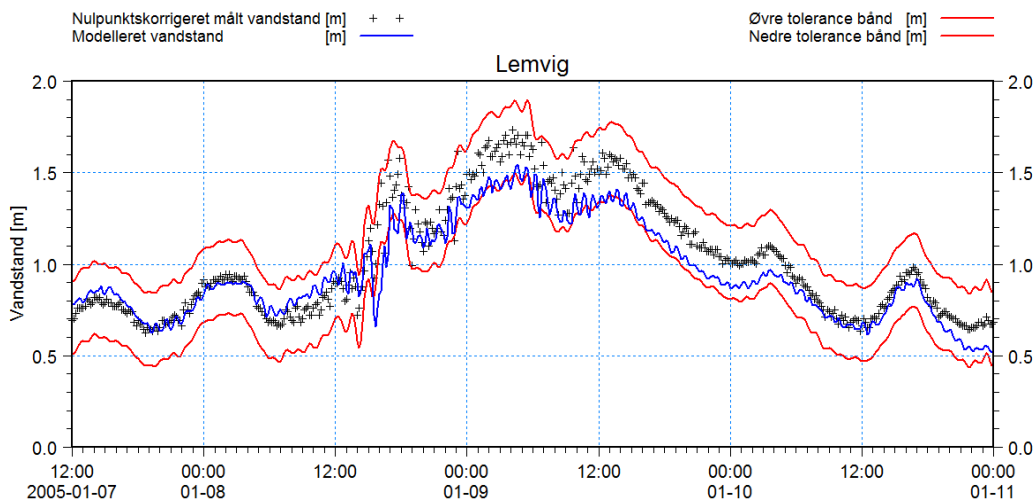
Figur 8-18 Vindforhold i løbet af Storm 1.



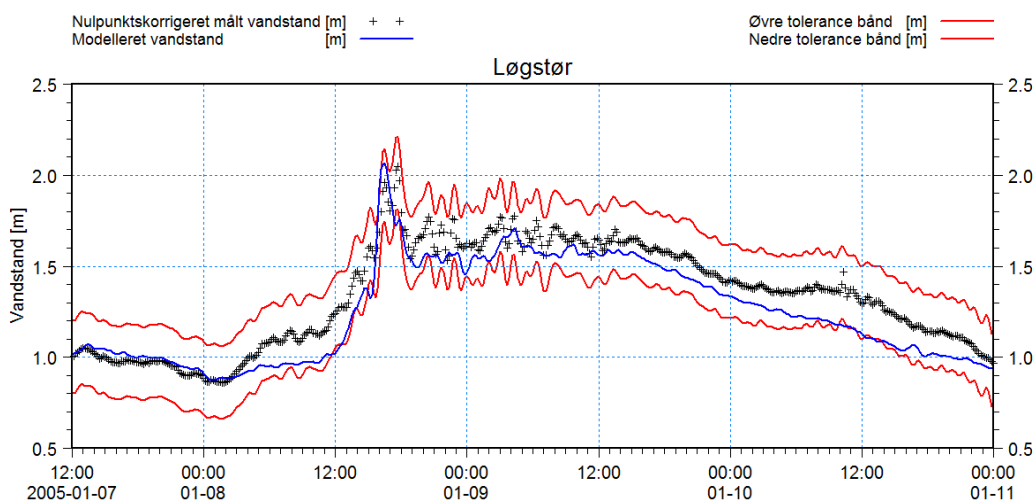
Figur 8-19 Sammenligning af målt og modelleret vandstand ved Thyborøn Kyst.



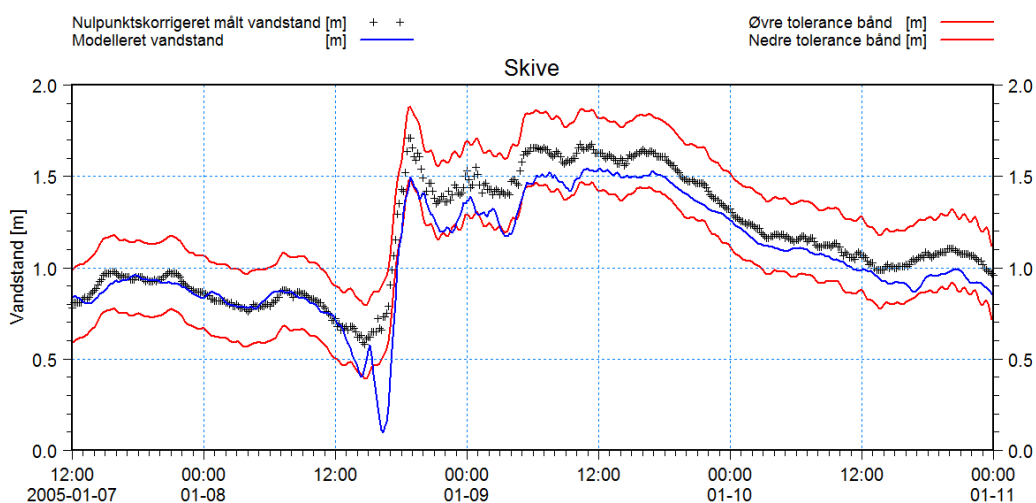
Figur 8-20 Sammenligning af målt og modelleret vandstand i Thyborøn Havn, dvs. uden nulpunktsskorrektionen på 1,4 cm.



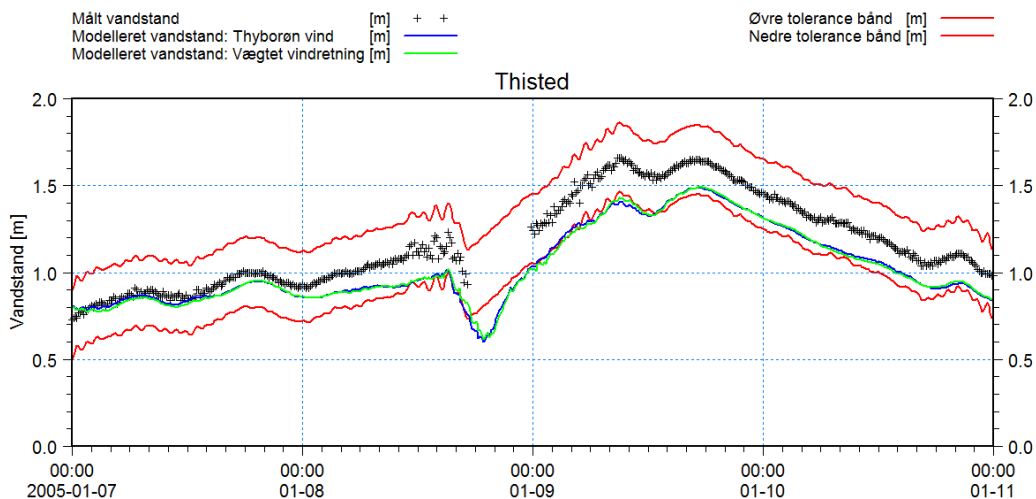
Figur 8-21 Sammenligning af nulpunktskorrigeret målt vandstand og modelleret vandstand i Lemvig.



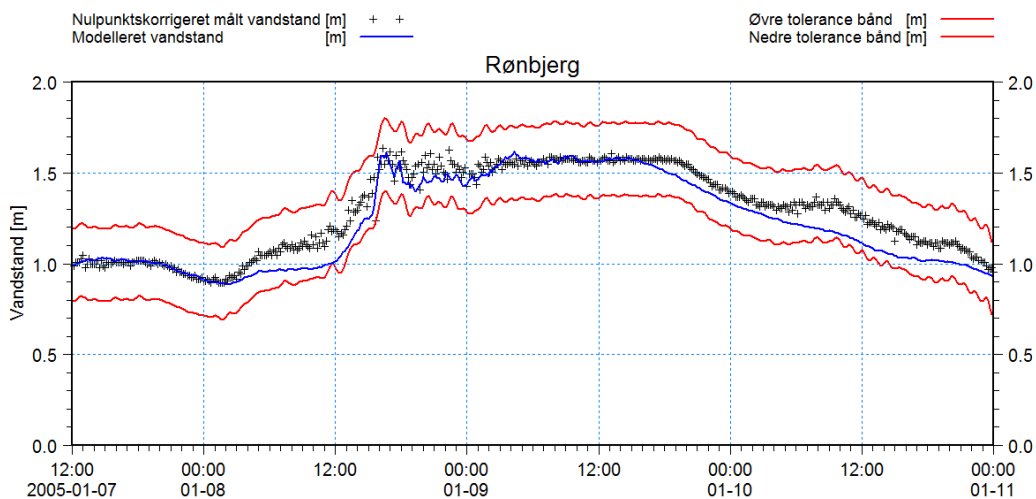
Figur 8-22 Sammenligning af nulpunktskorrigeret målt vandstand og modelleret vandstand i Løgstør.



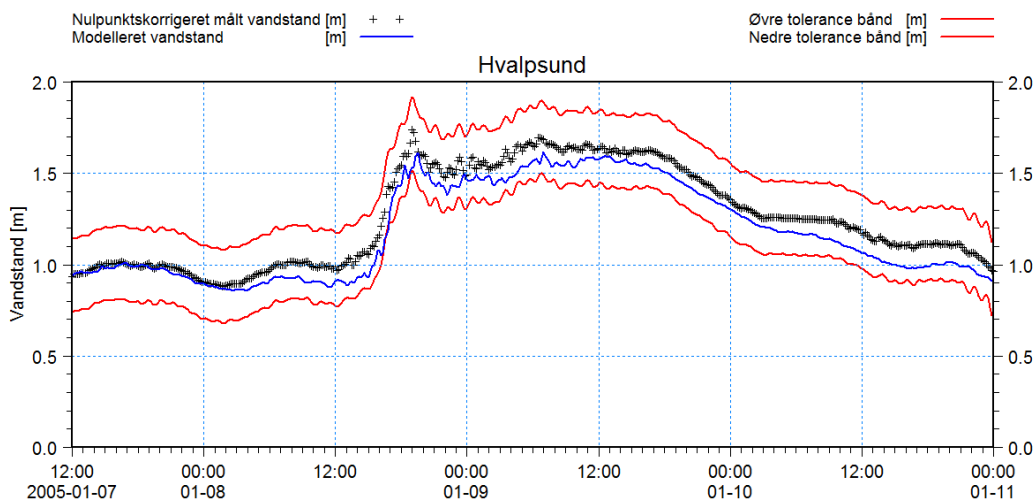
Figur 8-23 Sammenligning af nulpunktskorrigeret målt vandstand og modelleret vandstand i Skive.



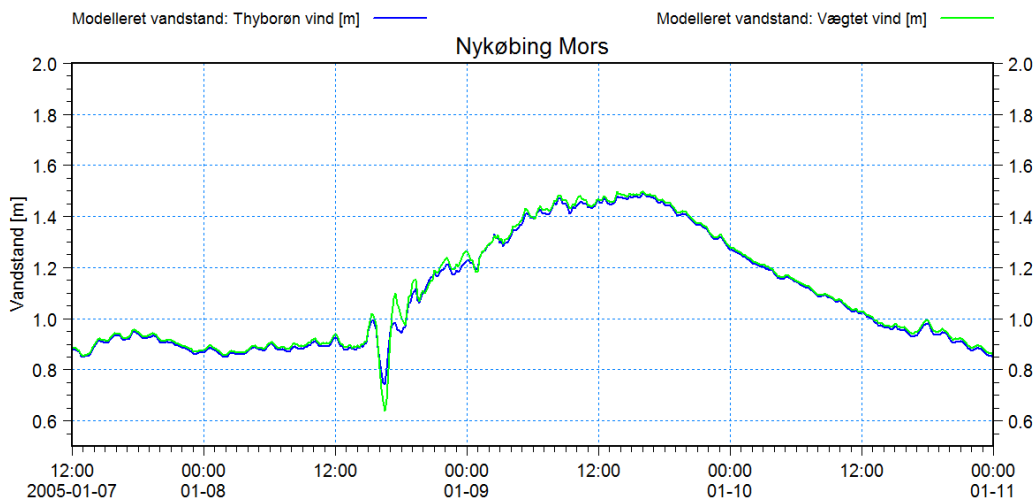
Figur 8-24 Sammenligning af målte og modellerede vandstande ved Thisted, dvs. uden nulpunktskorrektionen på -0,3 cm.



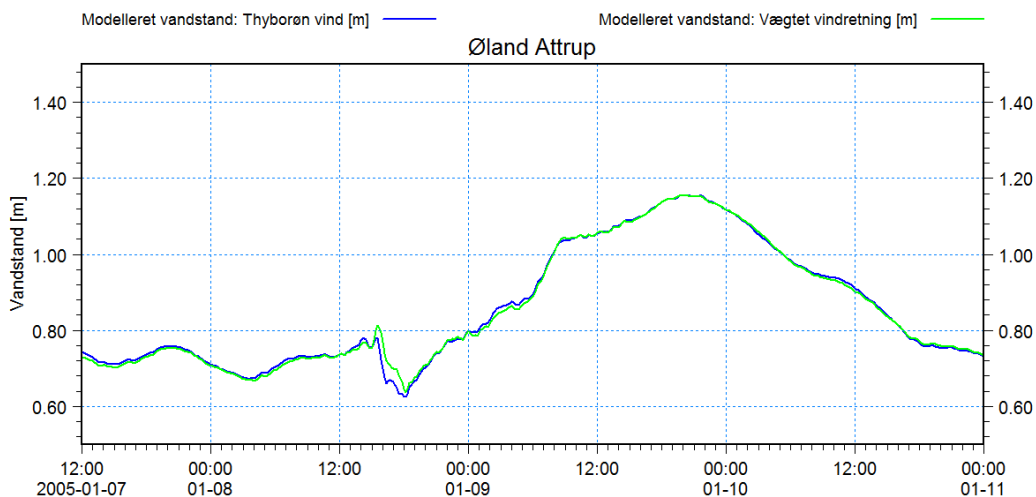
Figur 8-25 Sammenligning af nulpunktskorrigeret målt vandstand og modelleret vandstand i Rønbjerg.



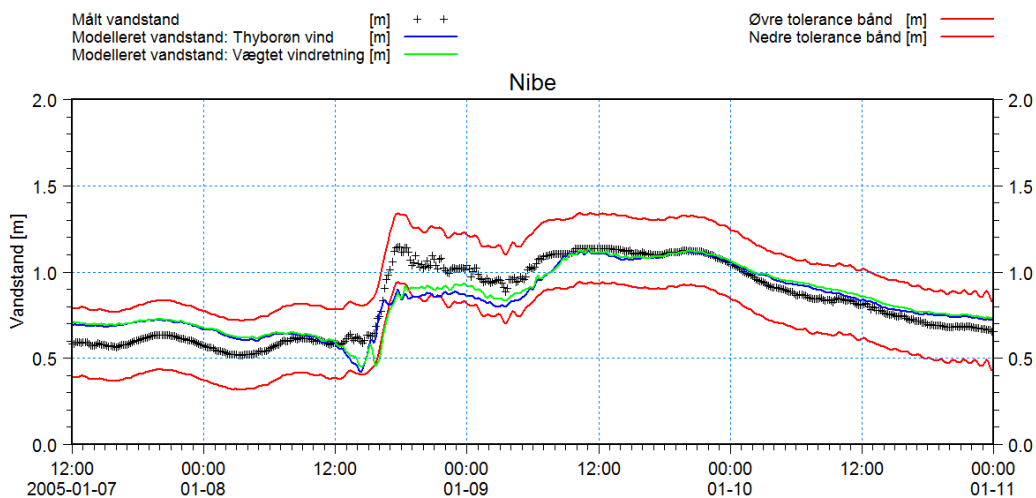
Figur 8-26 Sammenligning af nulpunktskorrigeret målt vandstand og modelleret vandstand i Hvalpsund.



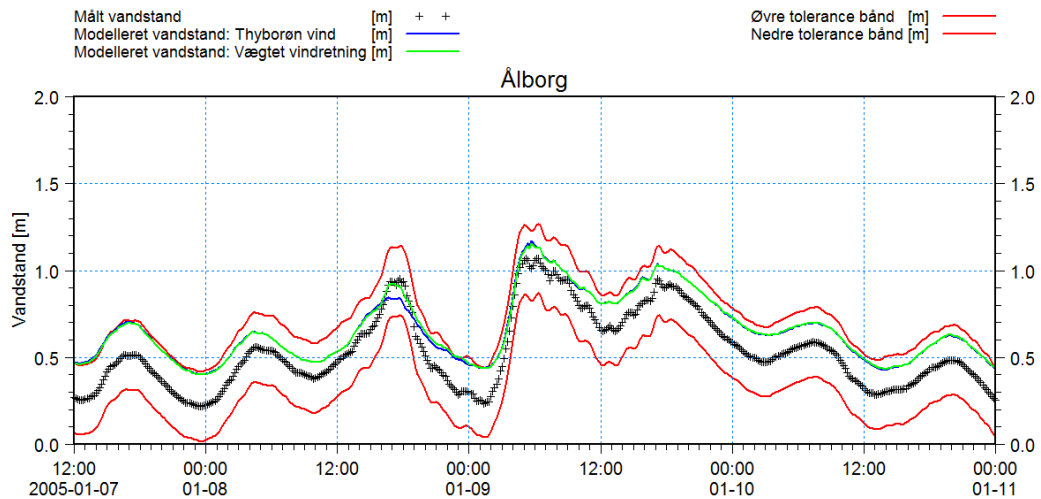
Figur 8-27 Modellerede vandstande i Nykøbing Mors. Ingen målinger.



Figur 8-28 Modelleret vandstand ved Øland Attrup. Måleren var ude af drift under denne hændelse.

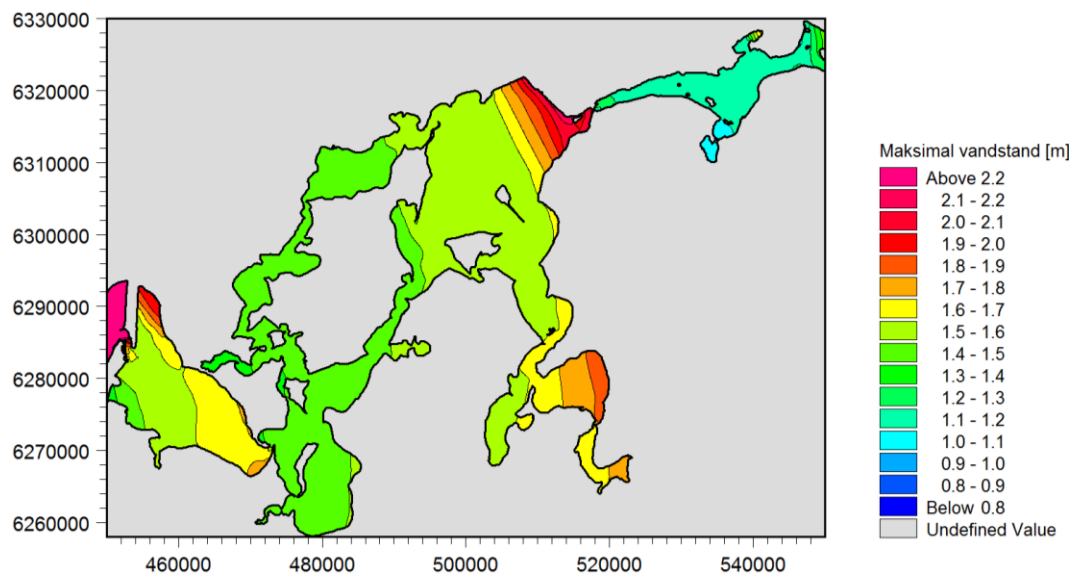


Figur 8-29 Sammenligning af målte og modellerede vandstande ved Nibe.



Figur 8-30 Sammenligning af målte og modellerede vandstande ved Ålborg.

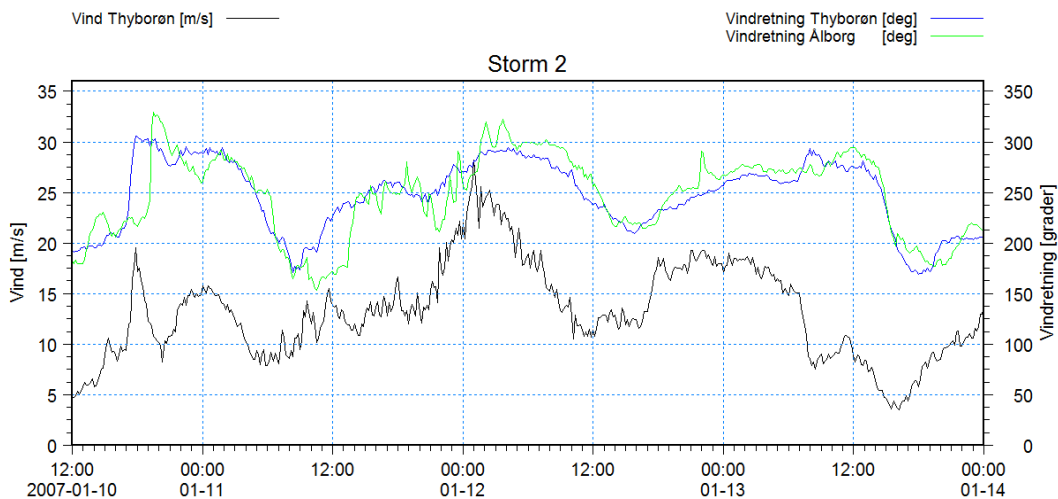
I Figur 8-31 er der vist et konturplot af de modellerede maksimalvandstande. Det ses tydeligt, at den høje vandstand ved Løgstør er forårsaget af en meget kraftig vindstuvning i Løgstør Bredning.



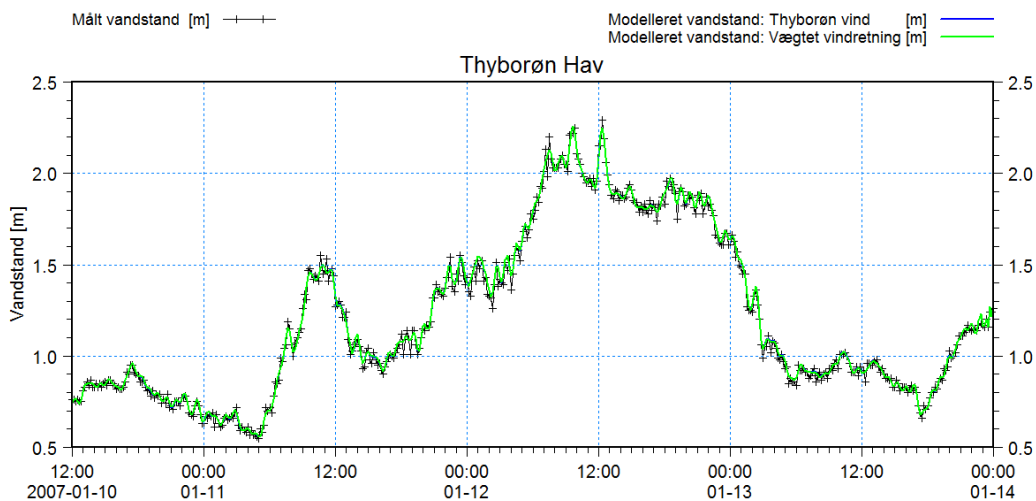
Figur 8-31 Modelleret maksimalvandstand under forløbet af Storm 1.

8.3.3 Simulering, Storm 2

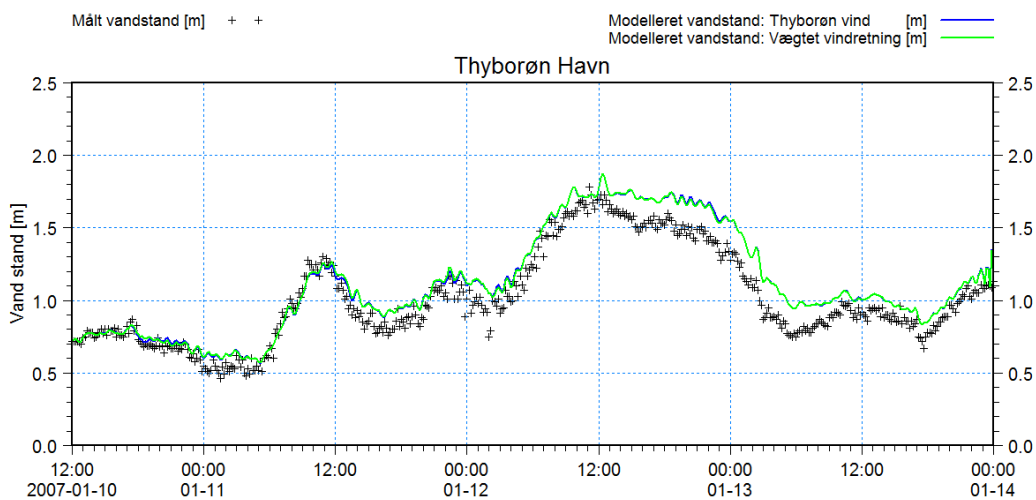
De simulerede vandstande i en række stationer under Storm 2 samt datagrundlaget for den benyttede vind er plottet i det følgende. Hvor det har været muligt eller af betydning, er de modellerede vandstande nulpunktskorrigerede vandstande. I de øvrige stationer er der sammenlignet med målte vandstande. Det ses, at der generelt er god overensstemmelse mellem målte og modellerede vandstande under forløbet af denne storm frem til det tidspunkt, hvor maksimalvandstandene optræder. I modsætning til Storm 1 er der i modelleringen af Storm 2 en tendens til, at der trænger for meget vand ind i Limfjordssystemet gennem Thyborøn Kanal, hvilket giver sig udslag i en forsinket vandstandsreduktion i perioden efter, at maksimalvandstanden er indtruffet.



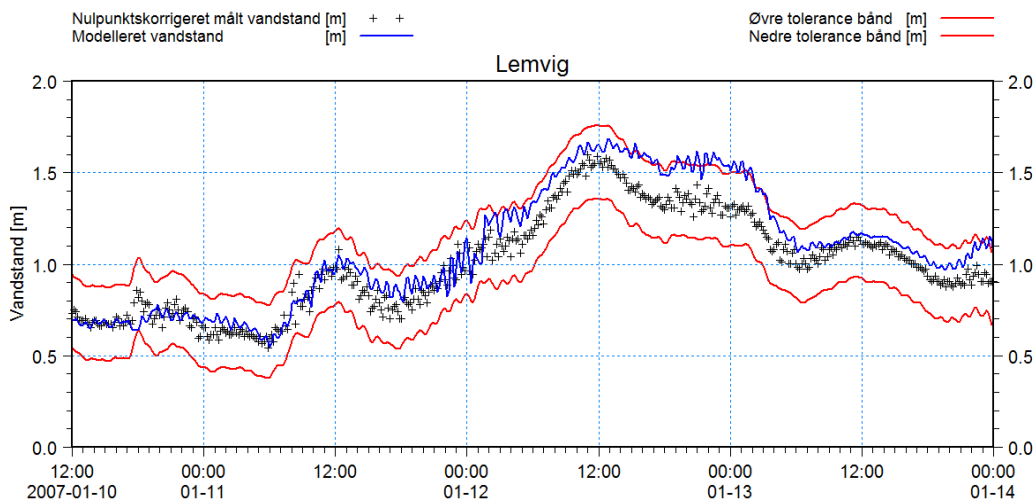
Figur 8-32 Vindforhold i løbet af Storm 2.



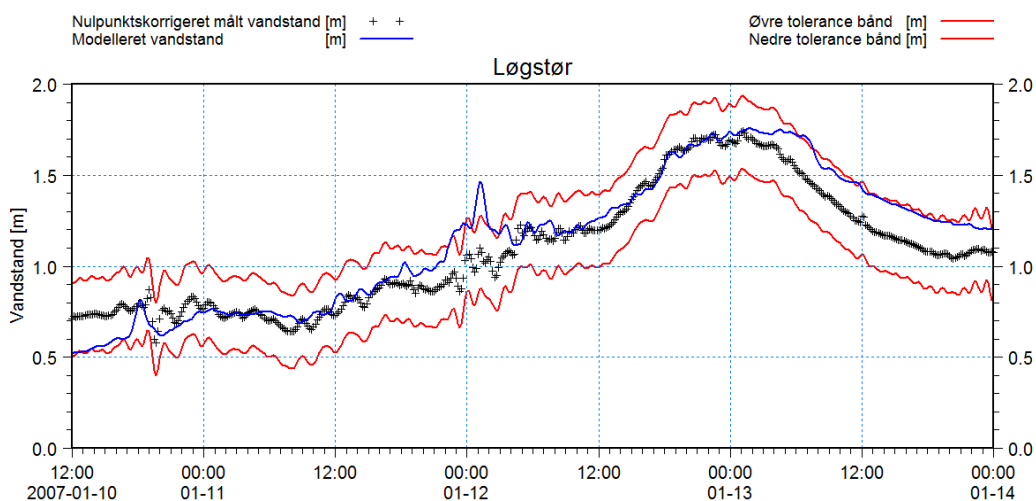
Figur 8-33 Sammenligning af målte og modellerede vandstande ved Thyborøn Kyst.



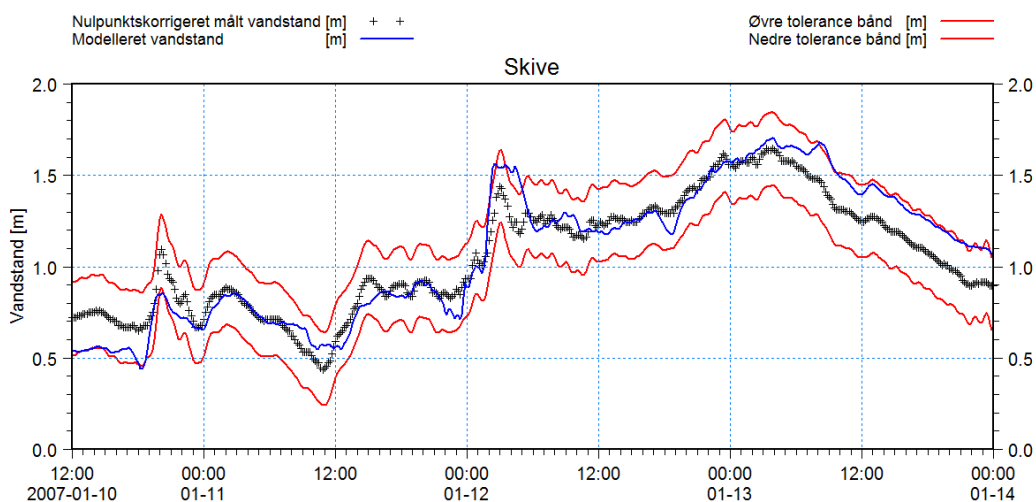
Figur 8-34 Sammenligning af målte og modellerede vandstande i Thyborøn Havn.



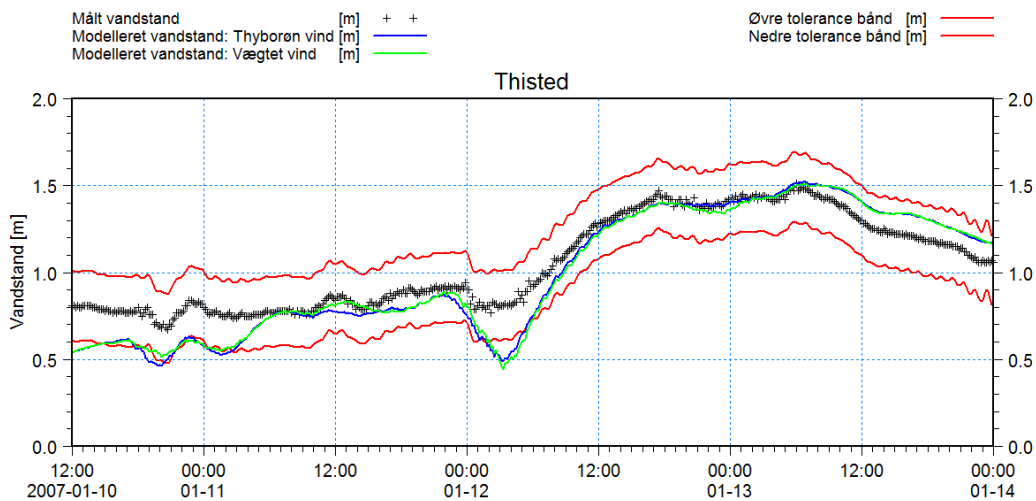
Figur 8-35 Sammenligning af nulpunktskorrigeret målt vandstand og modelleret vandstand i Lemvig.



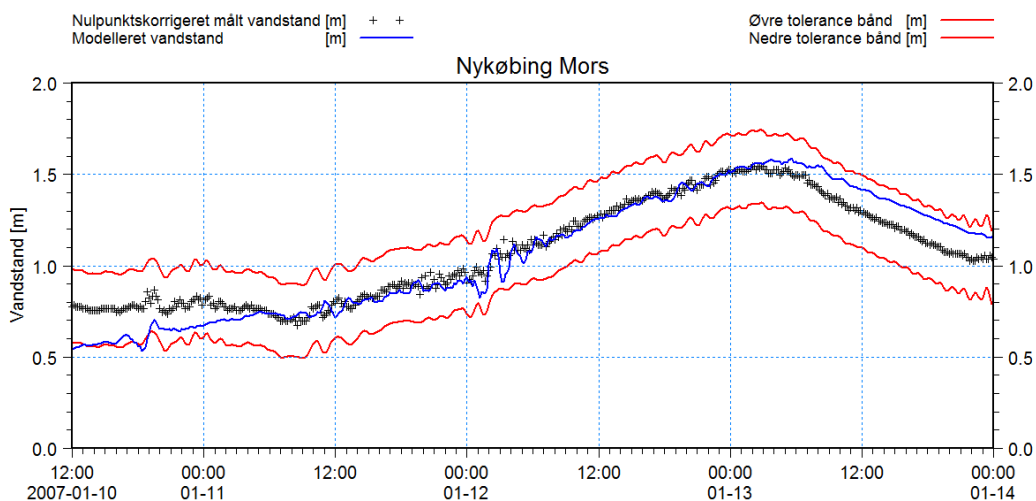
Figur 8-36 Sammenligning af nulpunktskorrigeret målt vandstand og modelleret vandstand i Løgstør.



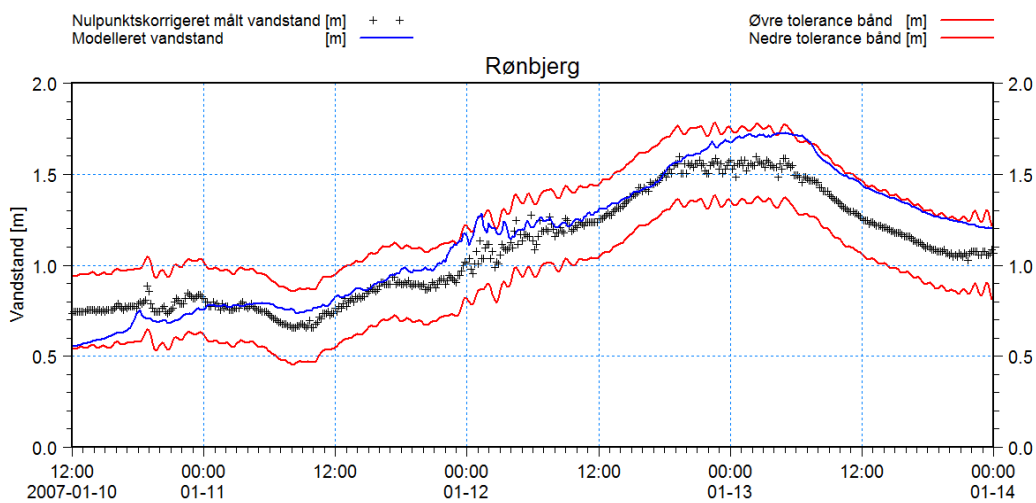
Figur 8-37 Sammenligning af nulpunktskorrigeret målt vandstand og modelleret vandstand i Skive.



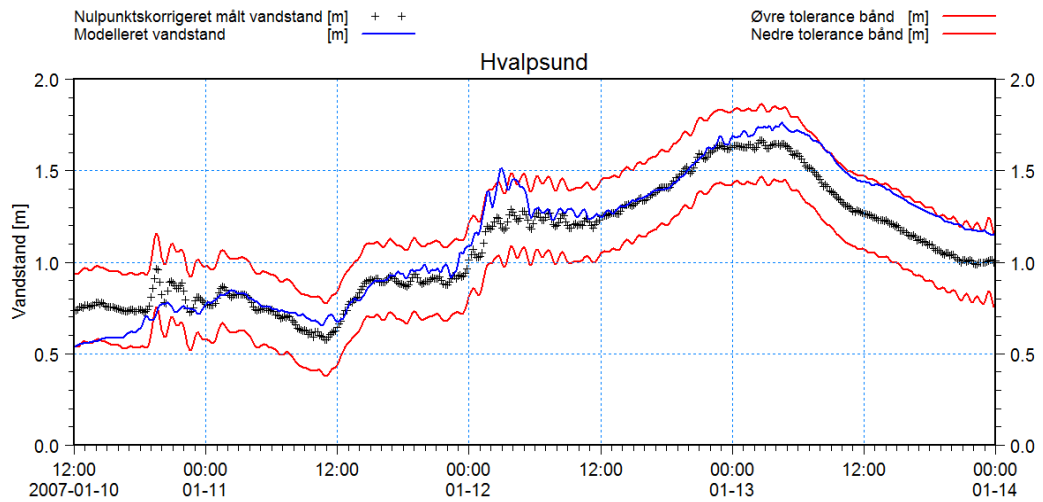
Figur 8-38 Sammenligning af målte og modellerede vandstande ved Thisted.



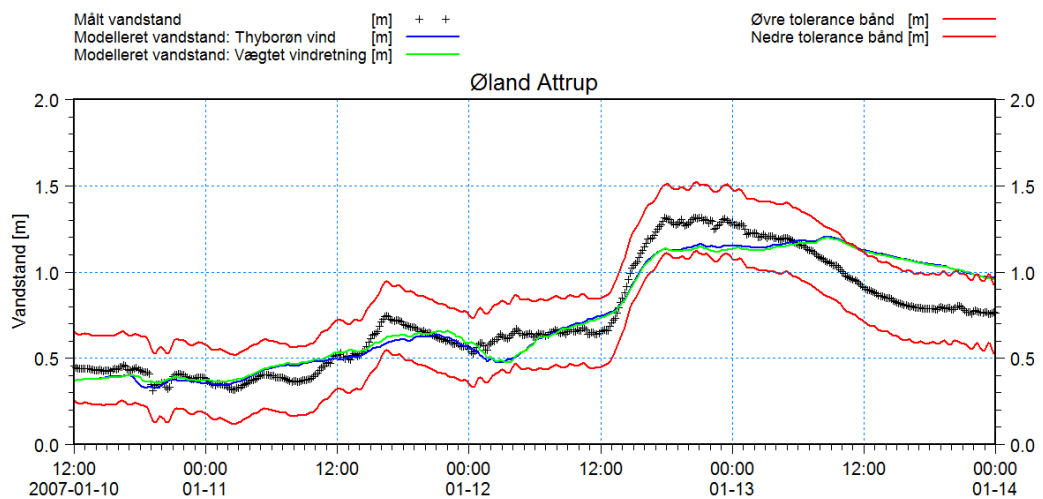
Figur 8-39 Sammenligning af nulpunktskorrigeret målt vandstand og modelleret vandstand i Nykøbing Mors.



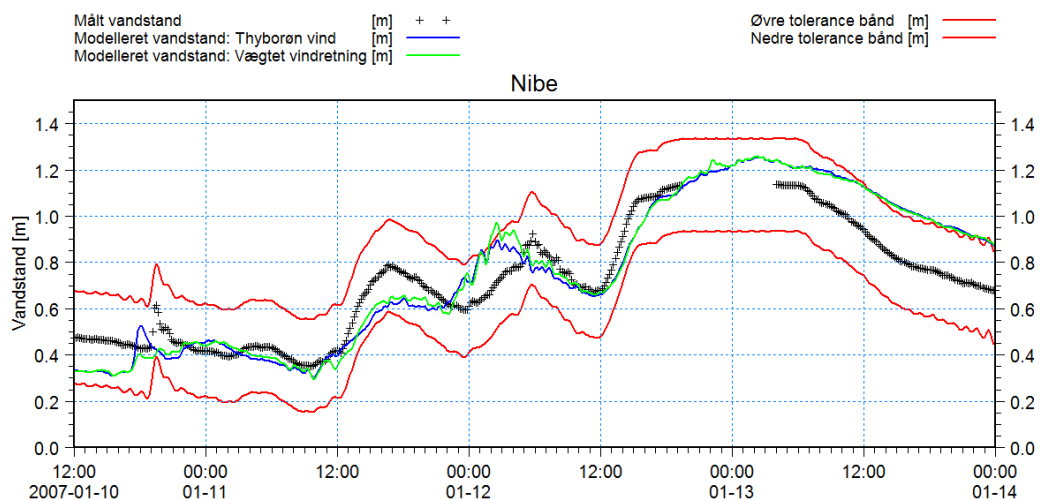
Figur 8-40 Sammenligning af nulpunktskorrigeret målt vandstand og modelleret vandstand i Rønbjerg.



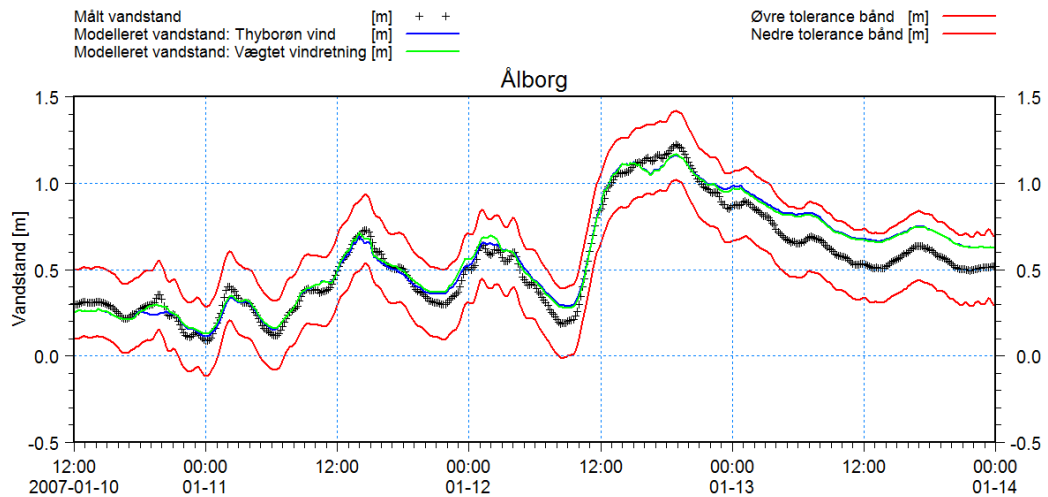
Figur 8-41 Sammenligning af nulpunktskorrigeret målt vandstand og modelleret vandstand i Hvalpsund.



Figur 8-42 Sammenligning af målte og modellerede vandstande ved Øland Attrup.

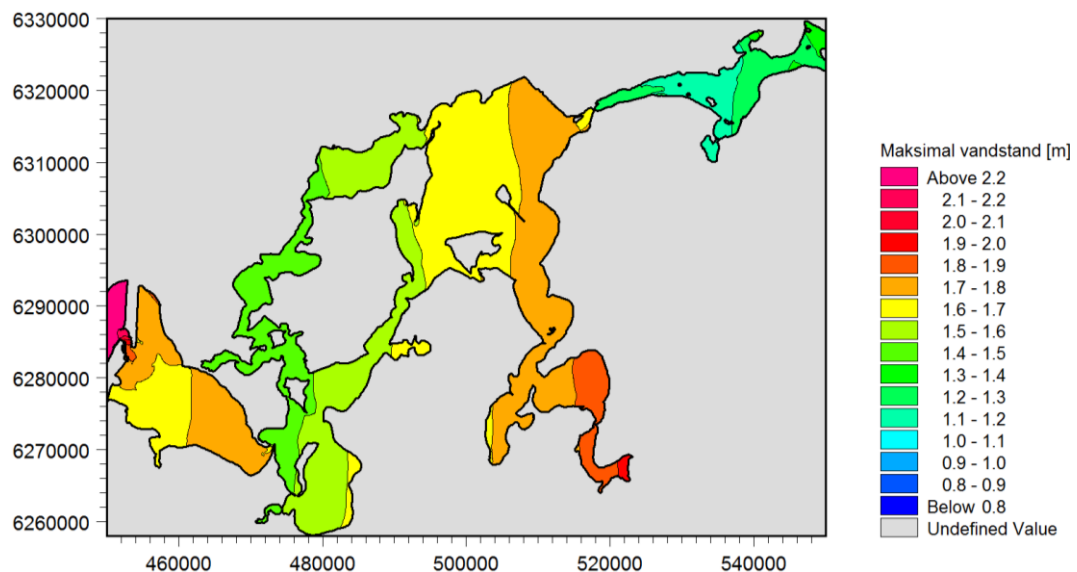


Figur 8-43 Sammenligning af målte og modellerede vandstande ved Nibe.



Figur 8-44 Sammenligning af målte og modellerede vandstande ved Ålborg.

I Figur 8-45 er der vist et konturplot af maksimalvandstandene under forløbet af Storm 2. Det ses, at vindstuvningseffekter er væsentlig svagere end under Storm 1. Højeste vandstande ses at optræde i Lovns Bredning samt Hjarbæk Fjord, hvor der ikke er målinger til rådighed for kalibreringen.

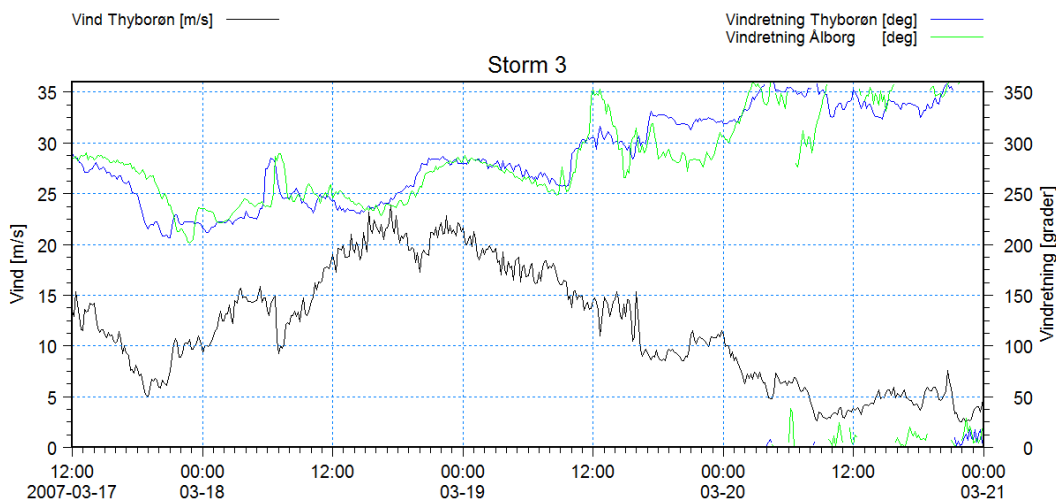


Figur 8-45 Modelleret maksimalvandstand under forløbet af Storm 2.

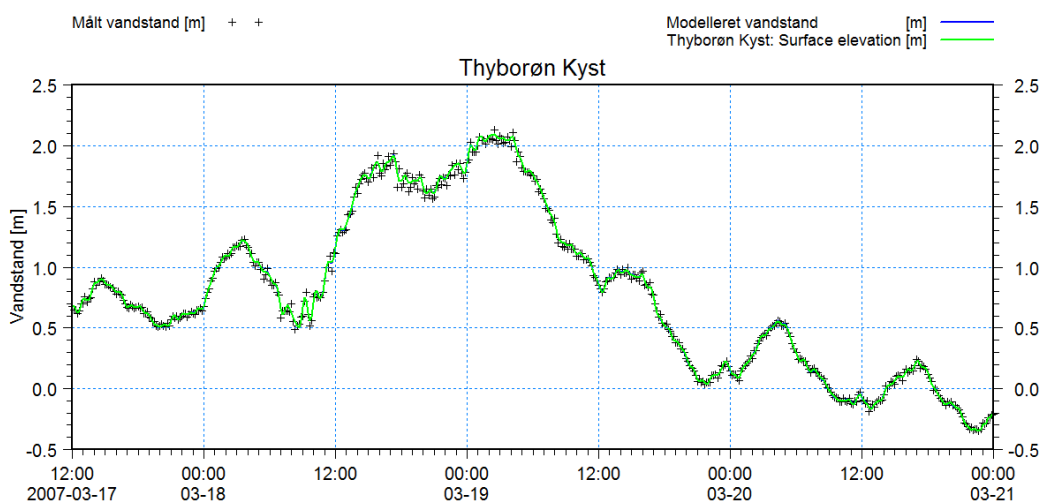
8.3.4 Simulering, Storm 3

De simulerede vandstande i en række stationer under Storm 3 samt datagrundlaget for den benyttede vind er plottet i det følgende. Hvor det har været muligt eller af betydning, er de modellerede vandstande nulpunktskorrigerede vandstande. I de øvrige stationer er der sammenlignet med målte vandstande. Af vandstandsplottene fremgår det, at der generelt er god overensstemmelse mellem målte og modellerede vandstande under forløbet af denne storm. Der er dog en svag tendens til, at der i løbet af Storm 3 er trængt for meget vand ind i Limfjordssystemet gennem Thyborøn Kanal, hvilket giver

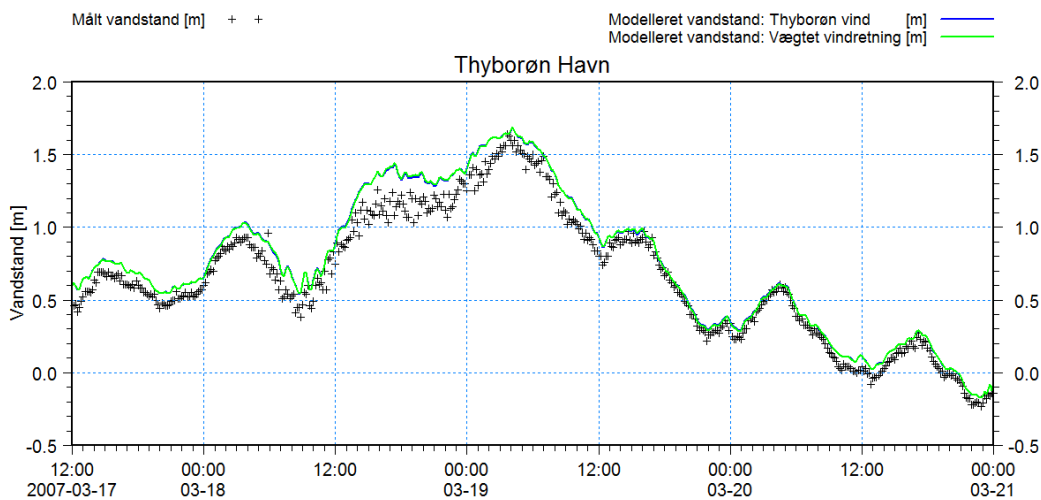
anledning til en forsinket vandstandsreduktion i perioden efter maksimalvandstandens indtræden.



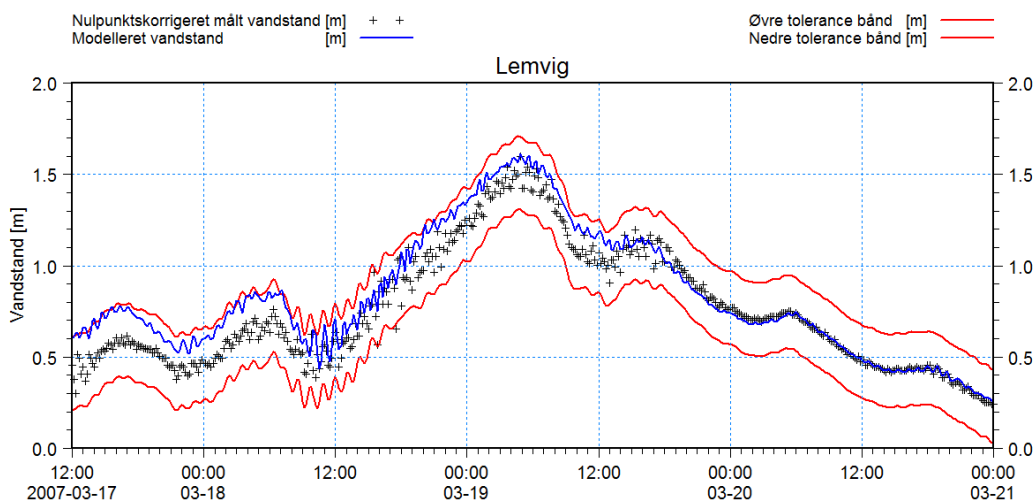
Figur 8-46 Vindforhold i løbet af Storm 3.



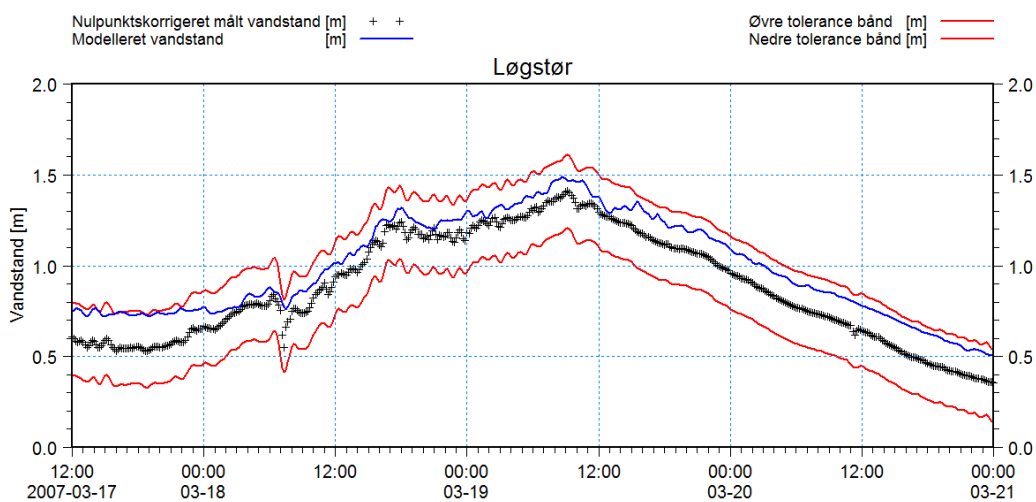
Figur 8-47 Sammenligning af målte og modellerede vandstande ved Thyborøn Kyst.



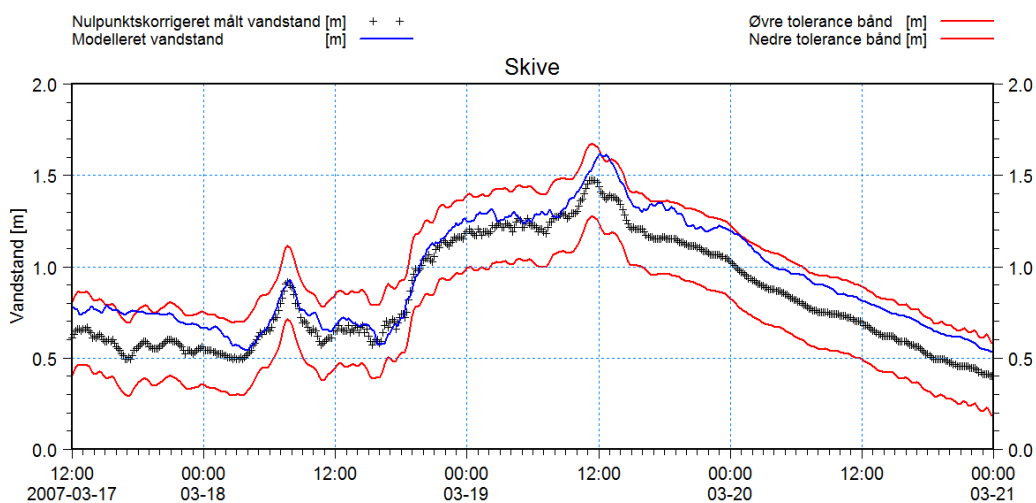
Figur 8-48 Sammenligning af målte og modellerede vandstande i Thyborøn Havn.



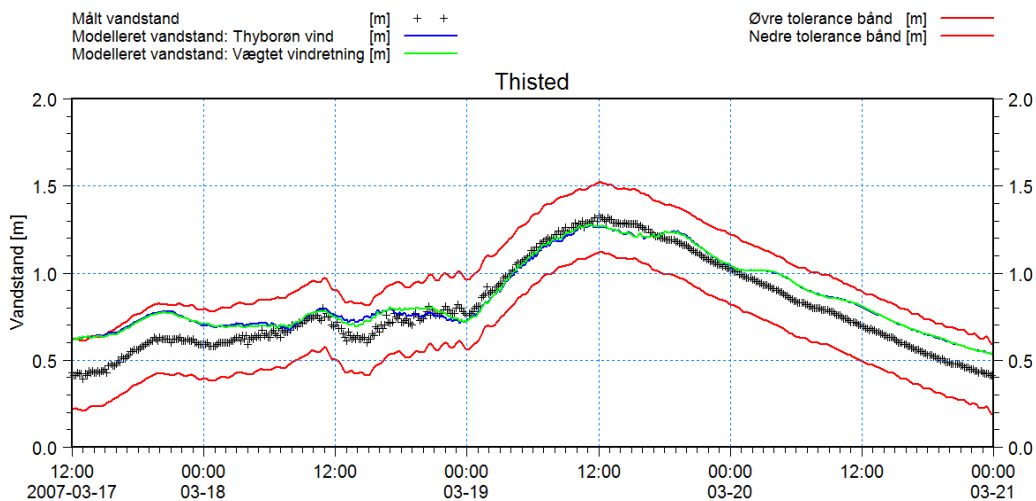
Figur 8-49 Sammenligning af nulpunktskorrigeret målt vandstand og modelleret vandstand i Lemvig.



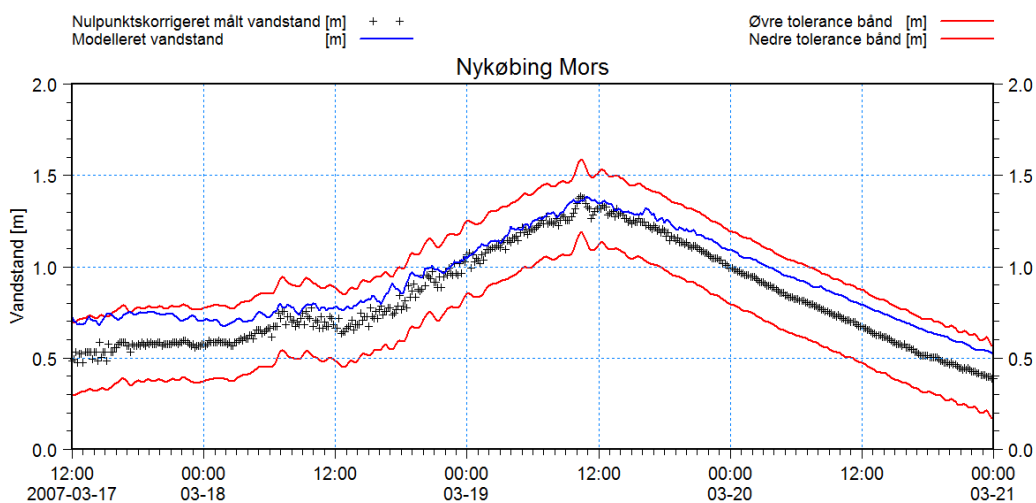
Figur 8-50 Sammenligning af nulpunktskorrigeret målt vandstand og modelleret vandstand i Løgstør.



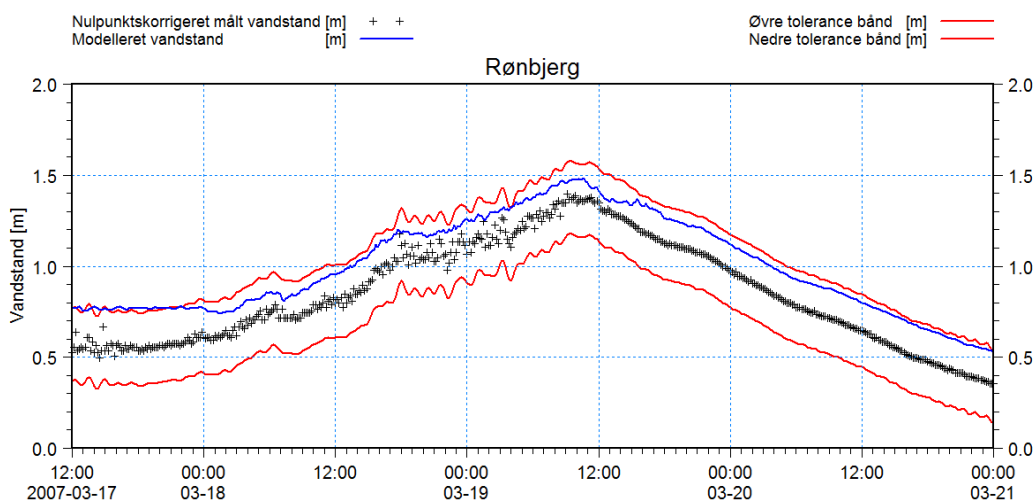
Figur 8-51 Sammenligning af nulpunktskorrigeret målt vandstand og modelleret vandstand i Skive.



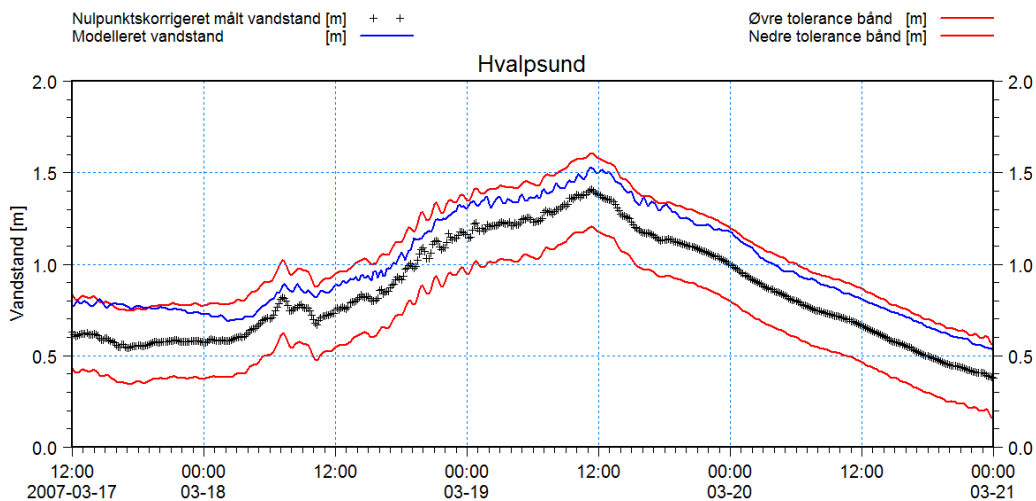
Figur 8-52 Sammenligning af målte og modellerede vandstande ved Thisted.



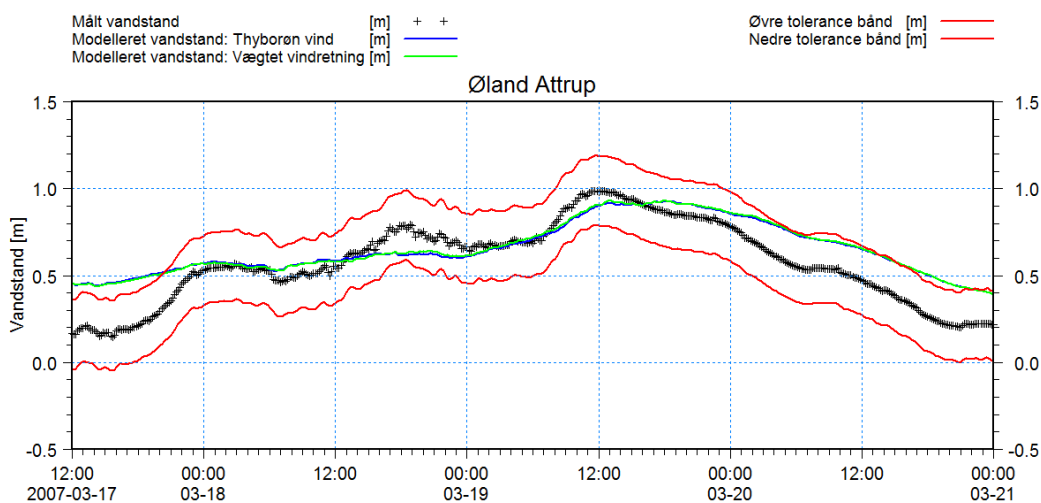
Figur 8-53 Sammenligning af nulpunktskorrigeret målt vandstand og modelleret vandstand i Nykøbing Mors.



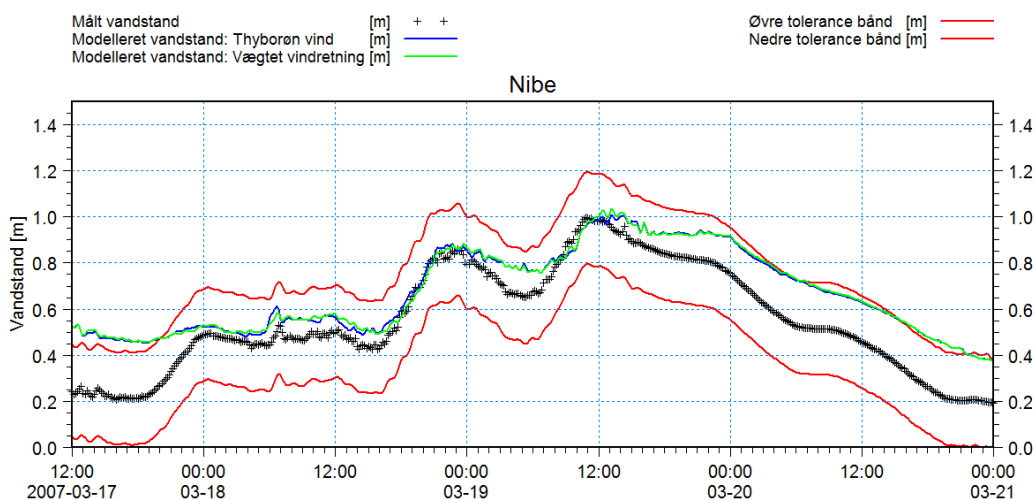
Figur 8-54 Sammenligning af nulpunktskorrigeret målt vandstand og modelleret vandstand i Rønbjerg.



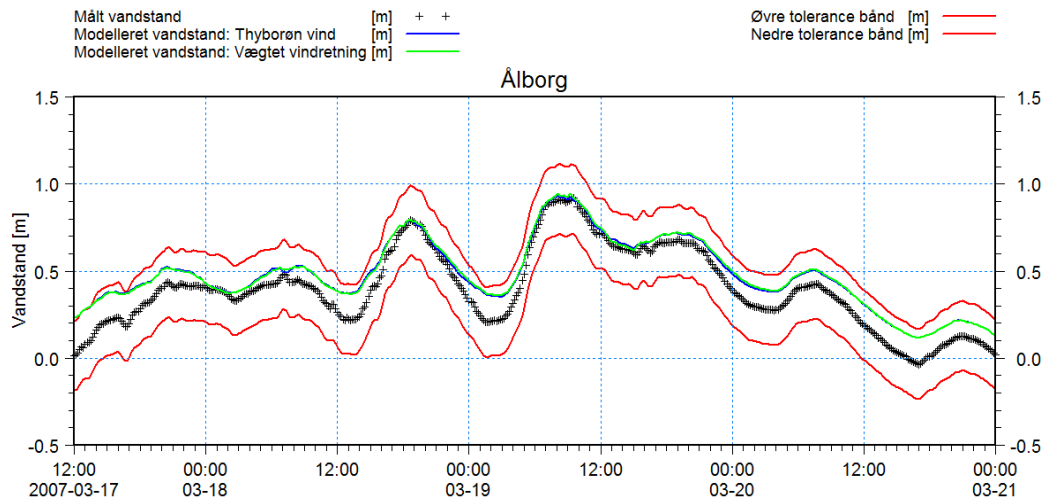
Figur 8-55 Sammenligning af nulpunktskorrigeret målt vandstand og modelleret vandstand i Hvalpsund.



Figur 8-56 Sammenligning af målte og modellerede vandstande ved Øland Attrup.

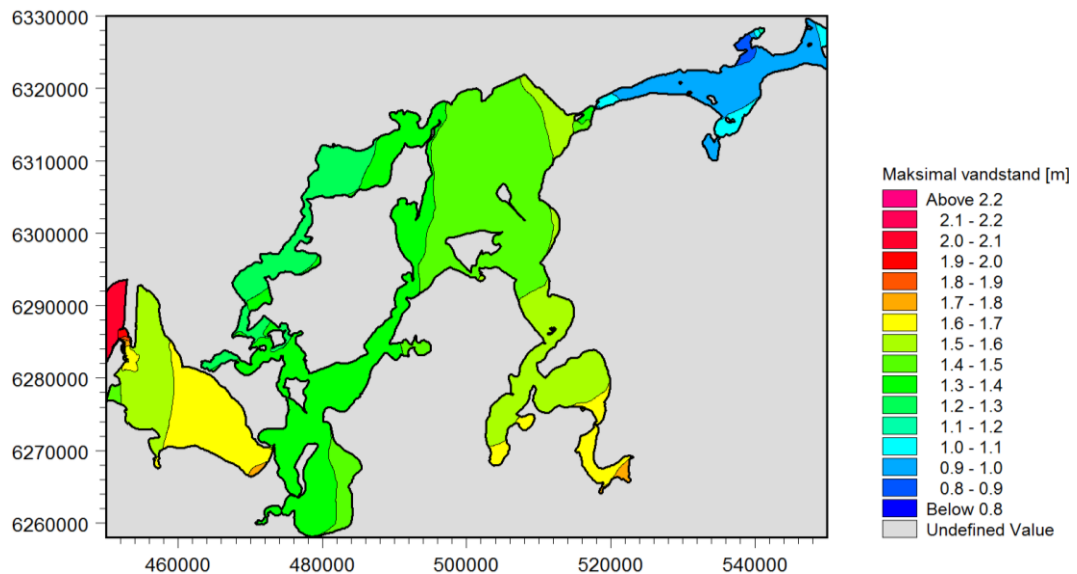


Figur 8-57 Sammenligning af målte og modellerede vandstande ved Nibe.



Figur 8-58 Sammenligning af målte og modellerede vandstande ved Ålborg.

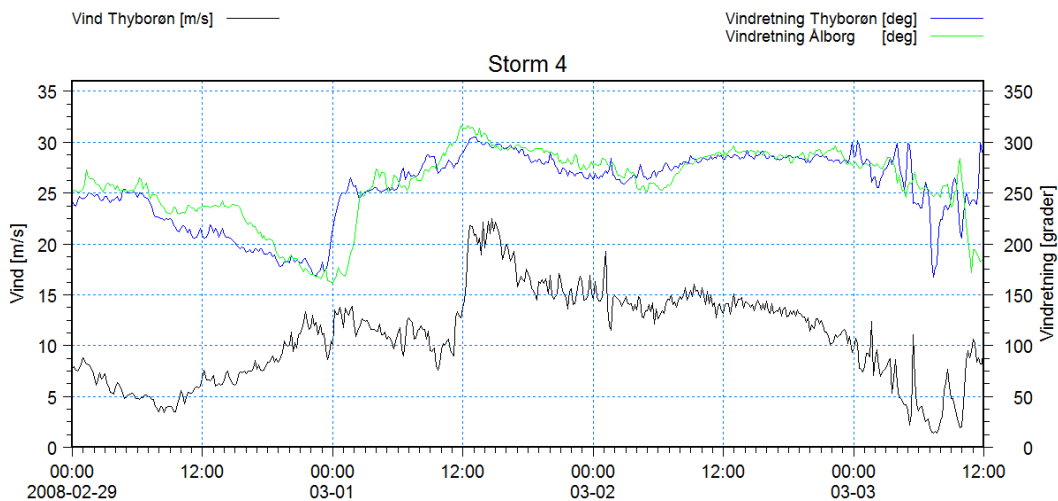
I Figur 8-59 er der vist et konturplot af maksimalvandstandene under forløbet af Storm 3. Heraf fremgår det, at vindstuvningseffekten er væsentlig svagere end under Storm 1. De højeste vandstande ses at optræde vest for Oddesund og i Hjarbæk Fjord som følge af, at vinden presser vandet mod sydøst.



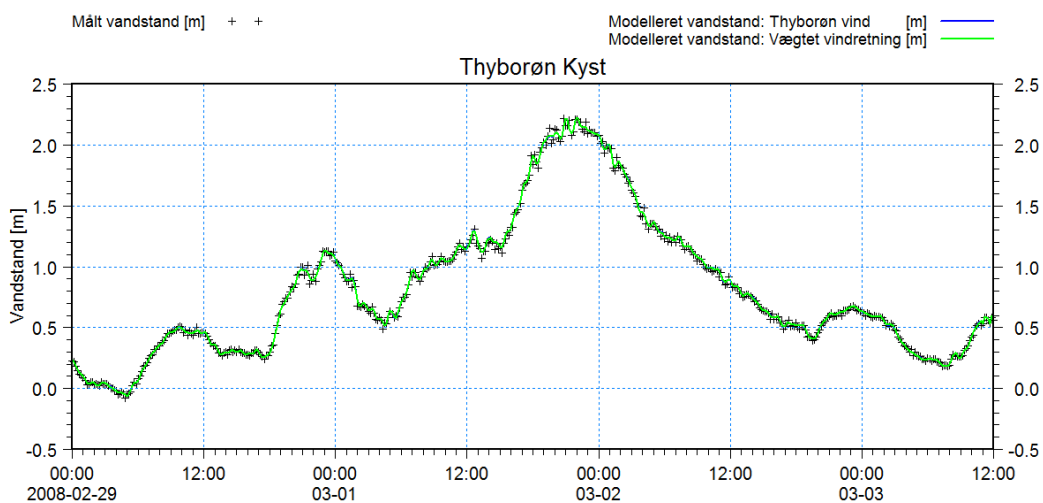
Figur 8-59 Modelleret maksimalvandstand under forløbet af Storm 3.

8.3.5 Simulering, Storm 4

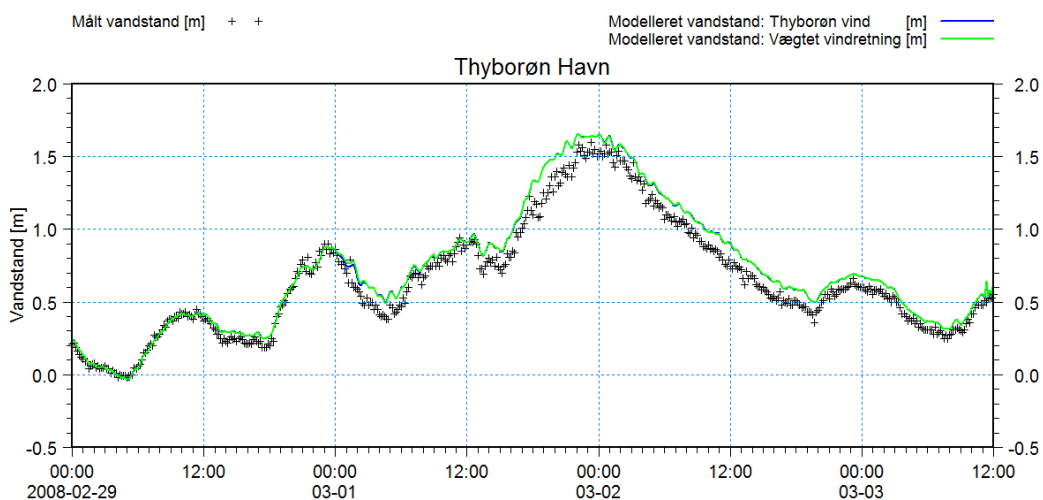
De simulerede vandstande i en række stationer under Storm 4 samt datagrundlaget for den benyttede vind er plottet i det følgende. Hvor det har været muligt eller af betydning, er de modellerede vandstande nulpunktskorrigerede vandstande. I de øvrige stationer er der sammenlignet med målte vandstande. Med udgangspunkt i de indlagte røde tolerancebånd ses der også for Storm 4 at være god overensstemmelse mellem målte og modellerede vandstande.



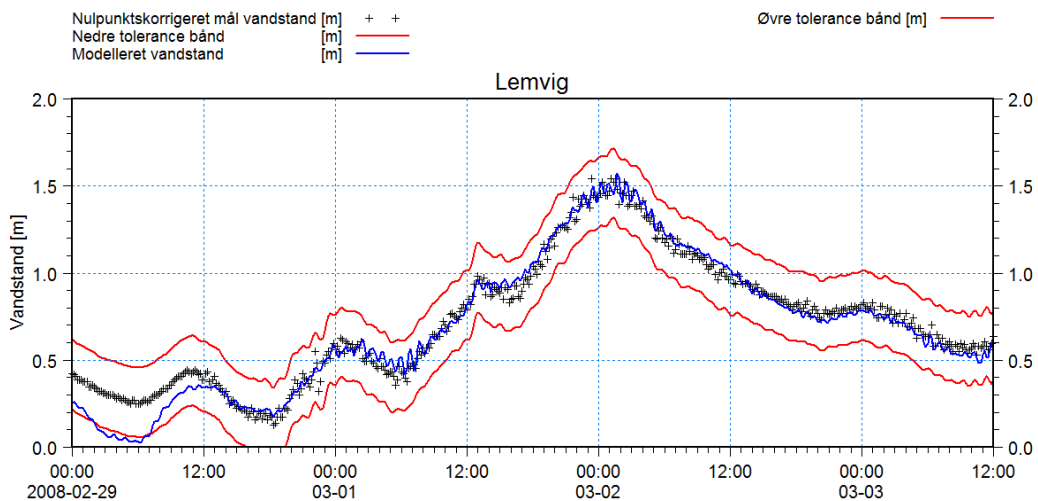
Figur 8-60 Vindforhold i løbet af Storm 4.



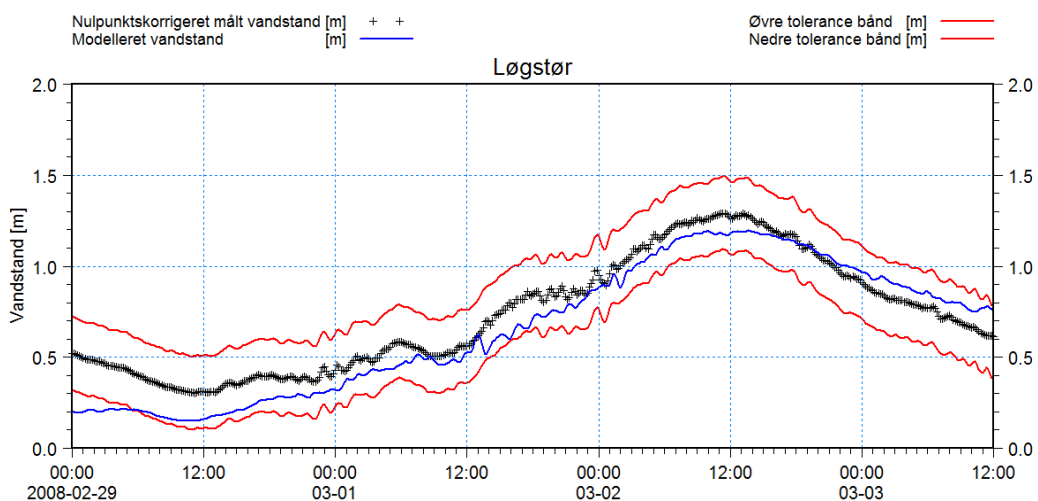
Figur 8-61 Sammenligning af målte og modellerede vandstande ved Thyborøn Kyst.



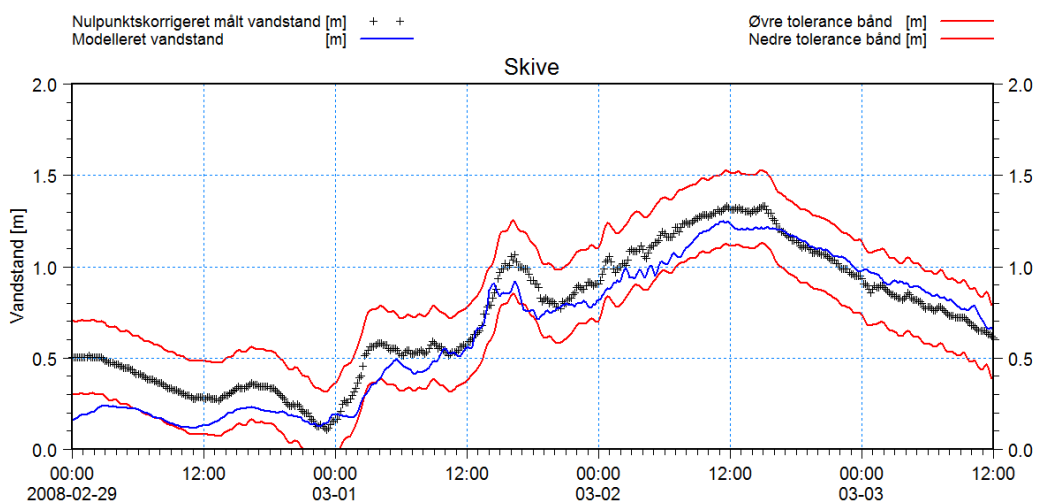
Figur 8-62 Sammenligning af målte og modellerede vandstande i Thyborøn Havn.



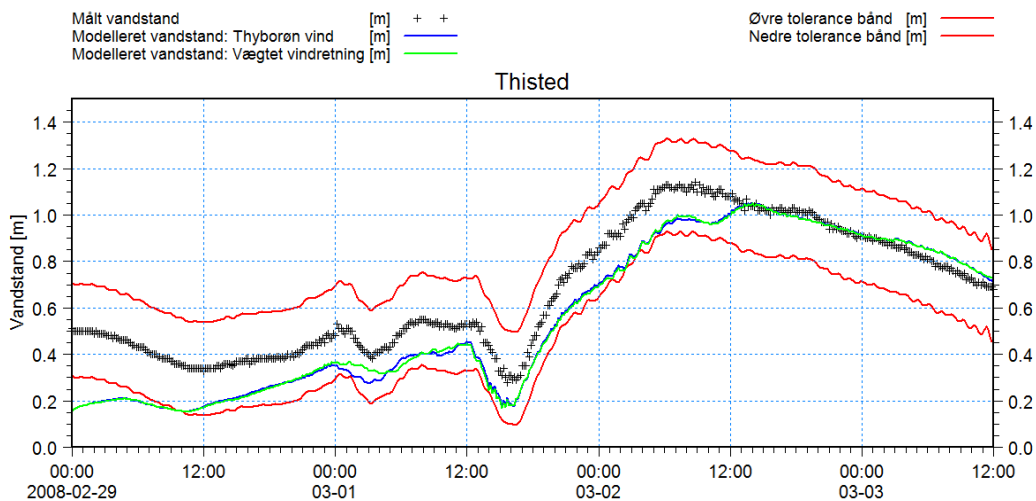
Figur 8-63 Sammenligning af nulpunktskorrigeret målt vandstand og modelleret vandstand i Lemvig.



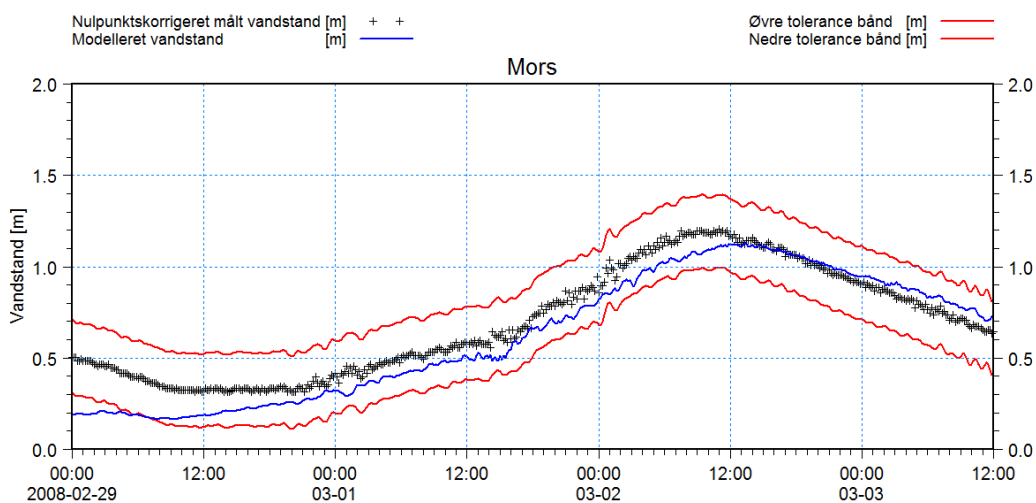
Figur 8-64 Sammenligning af nulpunktskorrigeret målt vandstand og modelleret vandstand i Løgstør.



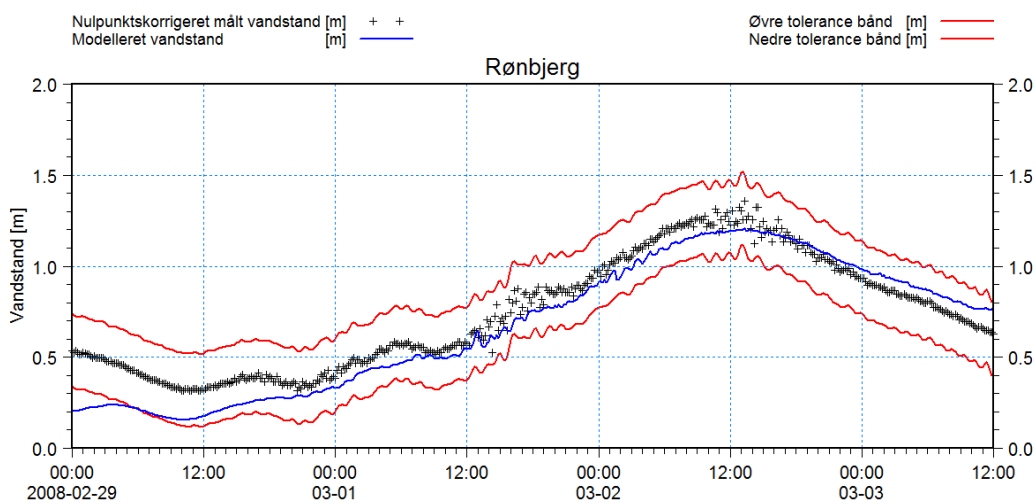
Figur 8-65 Sammenligning af nulpunktskorrigeret målt vandstand og modelleret vandstand i Skive.



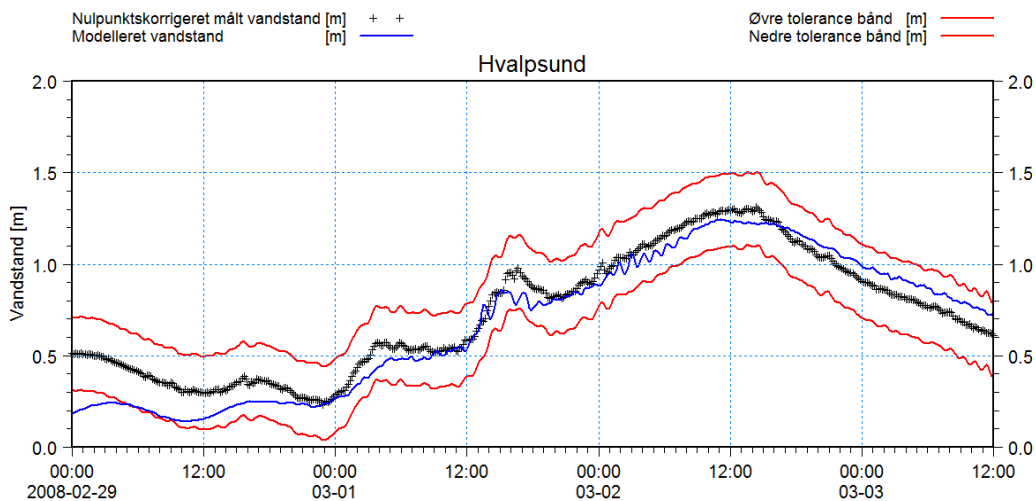
Figur 8-66 Sammenligning af målte og modellerede vandstande ved Thisted.



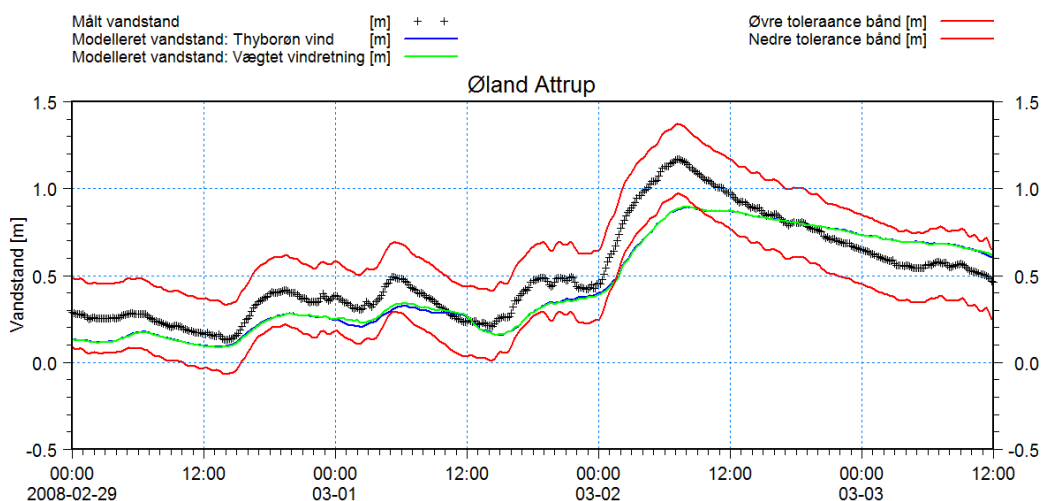
Figur 8-67 Sammenligning af nulpunktskorrigeret målt vandstand og modelleret vandstand i Nykøbing Mors.



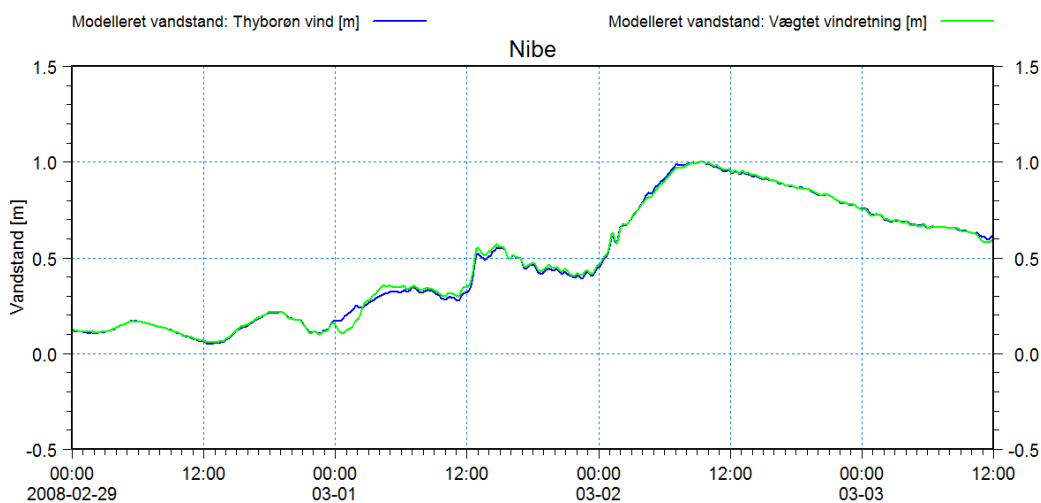
Figur 8-68 Sammenligning af nulpunktskorrigeret målt vandstand og modelleret vandstand i Rønbjerg.



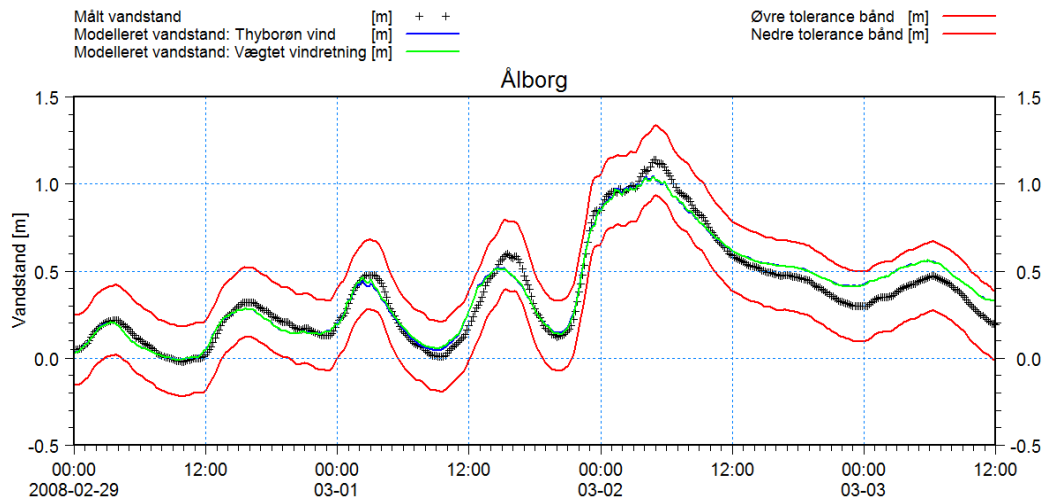
Figur 8-69 Sammenligning af nulpunktskorrigeret målt vandstand og modelleret vandstand i Hvalpsund.



Figur 8-70 Sammenligning af målte og modellerede vandstande ved Øland Attrup.

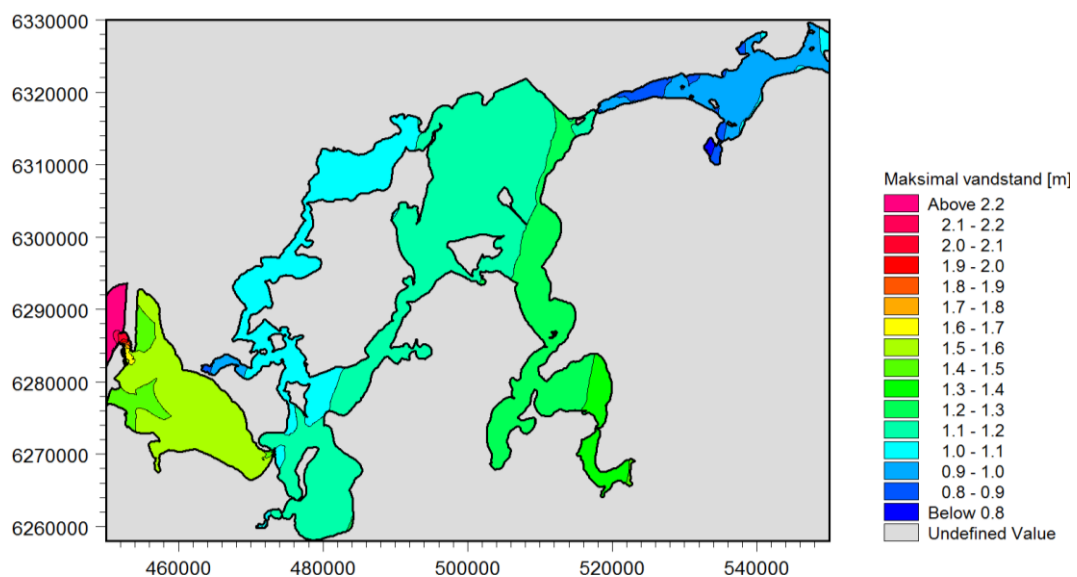


Figur 8-71 Sammenligning af målte og modellerede vandstande ved Nibe.



Figur 8-72 Sammenligning af målte og modellerede vandstande ved Ålborg.

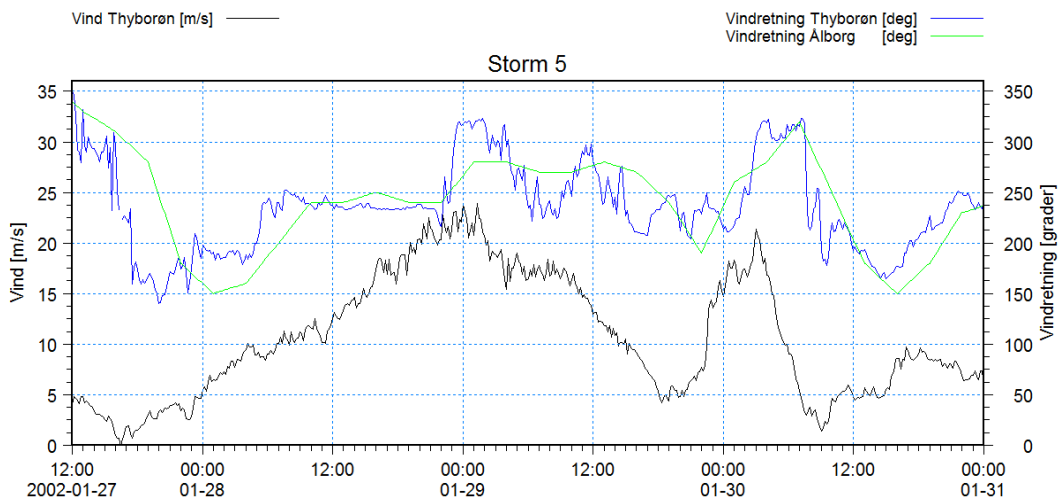
I Figur 8-73 er der vist et konturplot af maksimalvandstandene under forløbet af Storm 4. Vindstuvningseffekter virkende på den centrale del af Limfjorden kan tydeligt identificeres i form af hældende vandstand på tværs af fjorden i retning øst mod vest. DE højeste vandstande optræder i Nissum Bredning, Hjarbæk Fjord, Lovns Bredning samt vest for Aggersund.



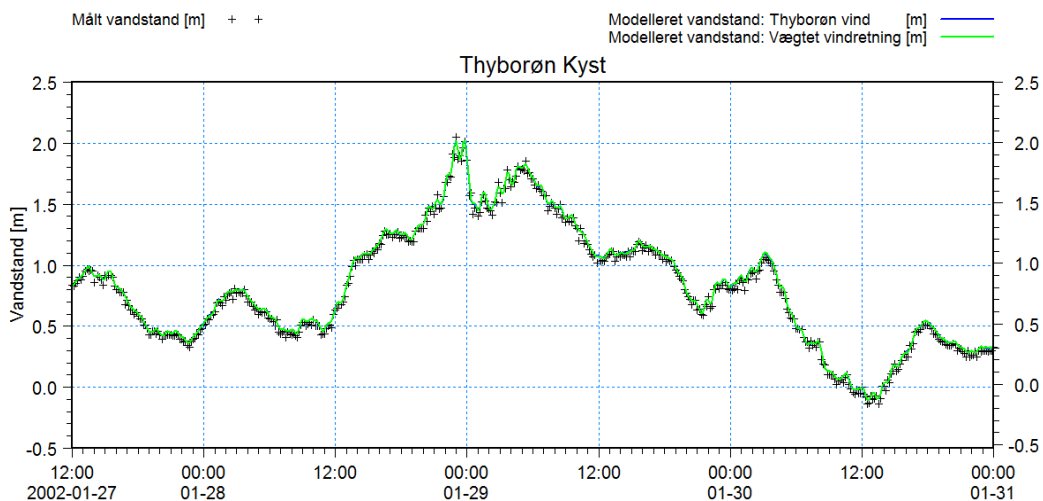
Figur 8-73 Modelleret maksimalvandstand under forløbet af Storm 4.

8.3.6 Simulering, Storm 5

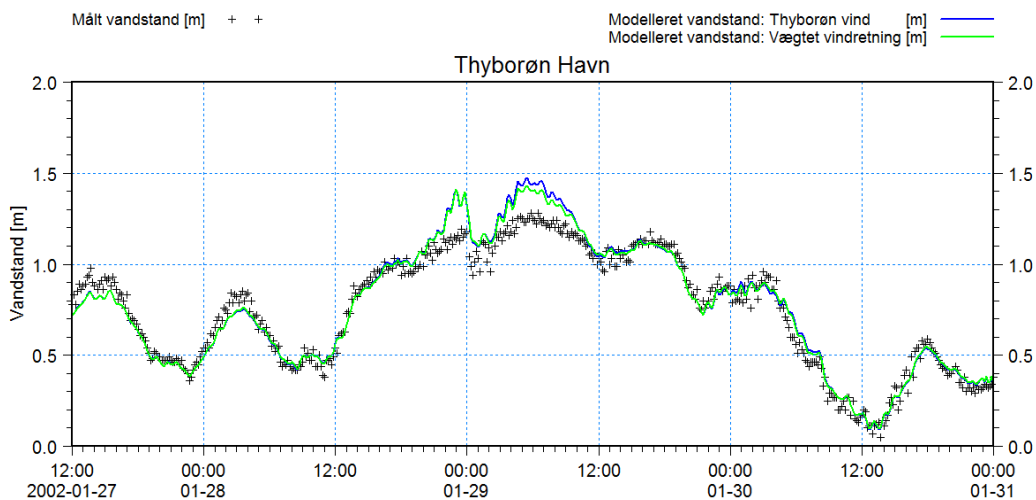
De simulerede vandstande i en række stationer under Storm 5 samt datagrundlaget for den benyttede vind er plottet i det følgende. Hvor det har været muligt eller af betydning, er de modellerede vandstande nulpunktskorrigerede vandstande. I de øvrige stationer er der sammenlignet med målte vandstande. Generelt ses der at være fin overensstemmelse mellem de modellerede og målte vandstande under forløbet af Storm 5.



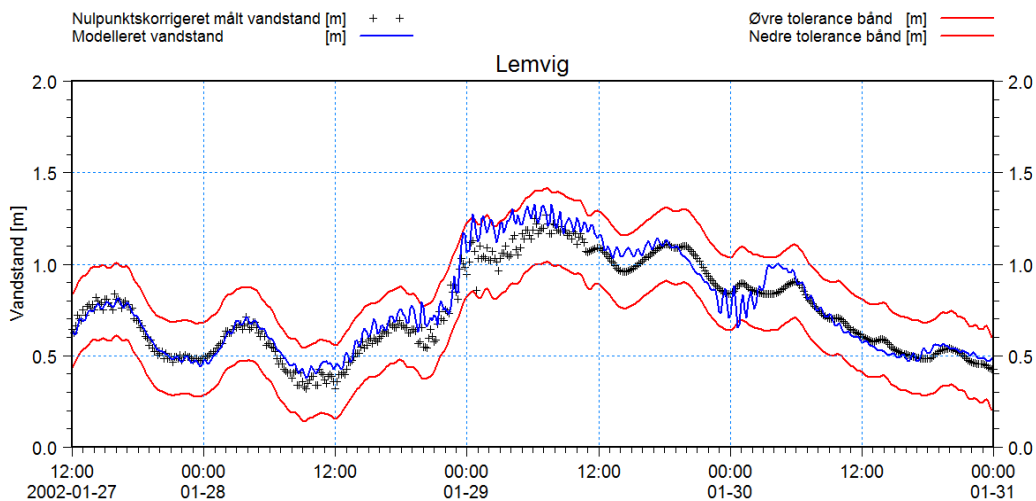
Figur 8-74 Vindforhold i løbet af Storm 5.



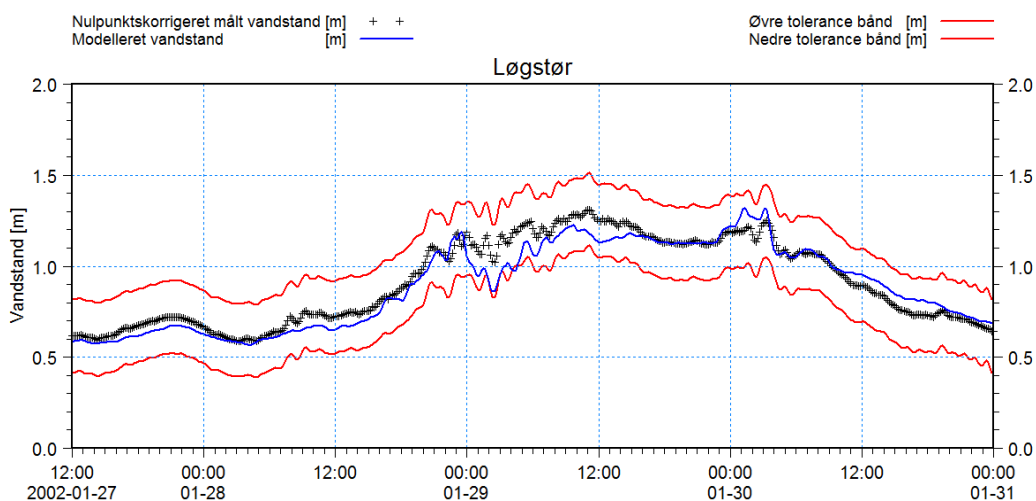
Figur 8-75 Sammenligning af målte og modellerede vandstande ved Thybørn Kyst.



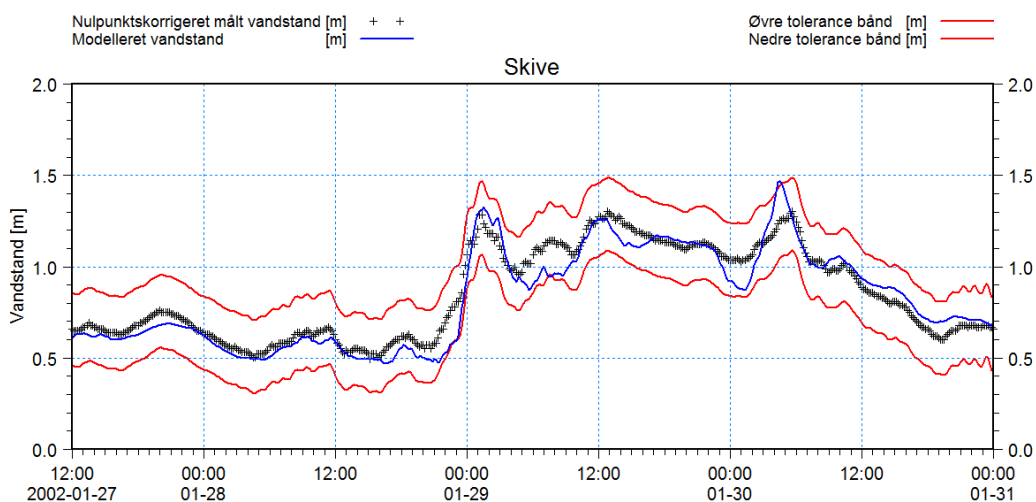
Figur 8-76 Sammenligning af målte og modellerede vandstande i Thybørn Havn.



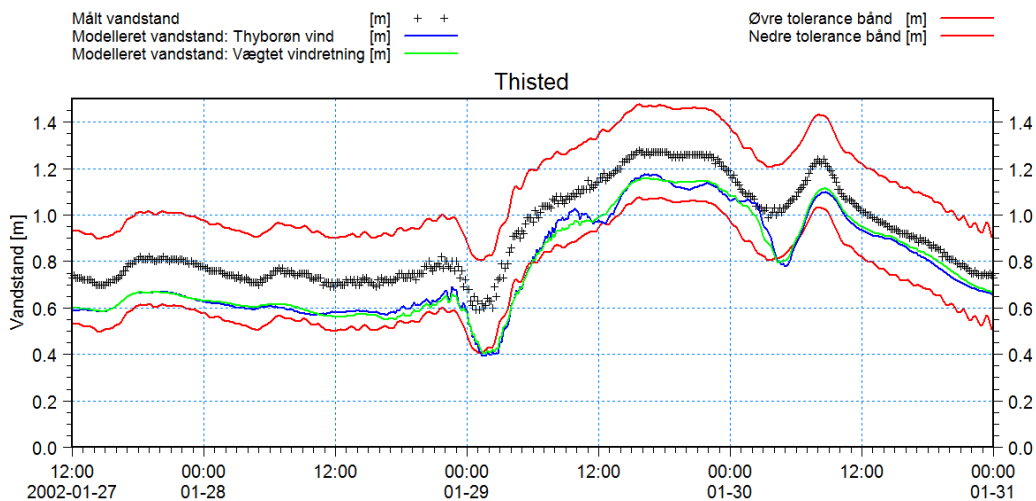
Figur 8-77 Sammenligning af nulpunktskorrigeret målt vandstand og modelleret vandstand i Lemvig.



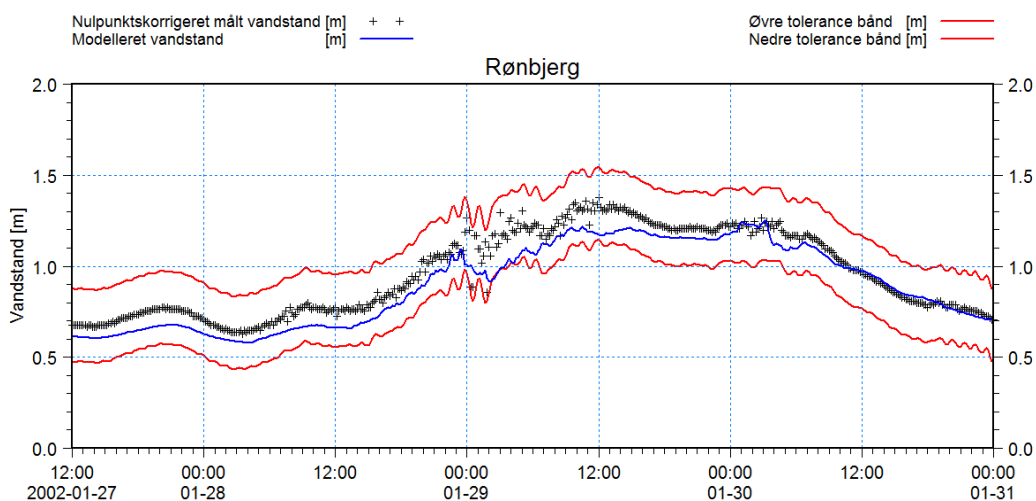
Figur 8-78 Sammenligning af nulpunktskorrigeret målt vandstand og modelleret vandstand i Løgstør.



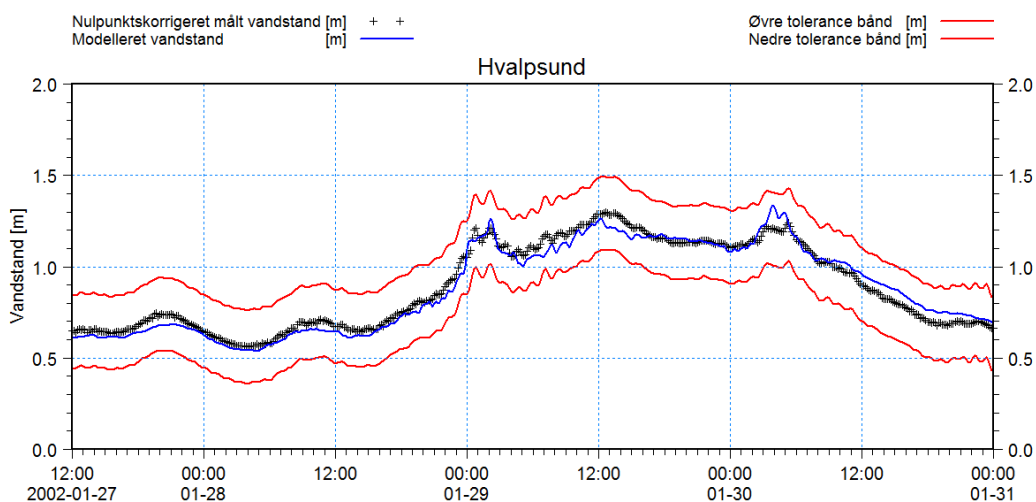
Figur 8-79 Sammenligning af nulpunktskorrigeret målt vandstand og modelleret vandstand i Skive.



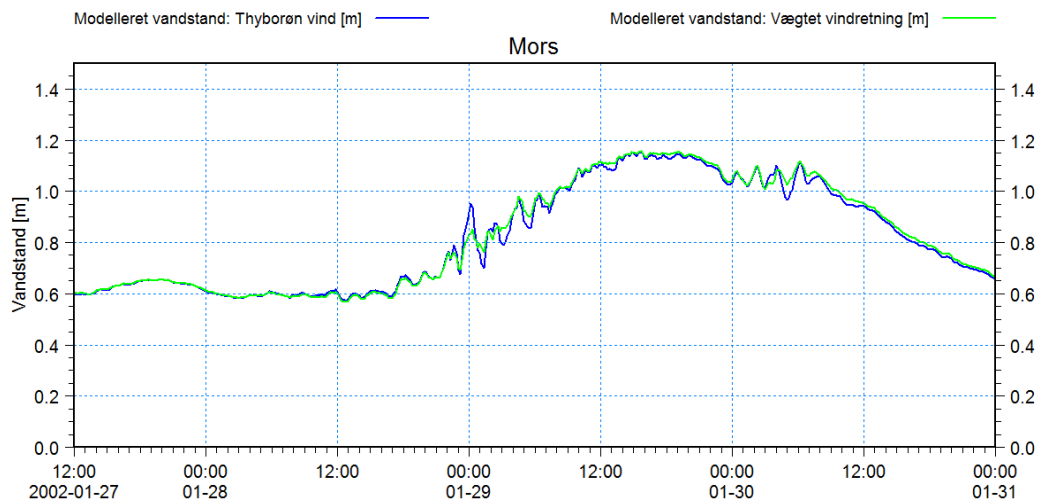
Figur 8-80 Sammenligning af målte og modellerede vandstande ved Thisted.



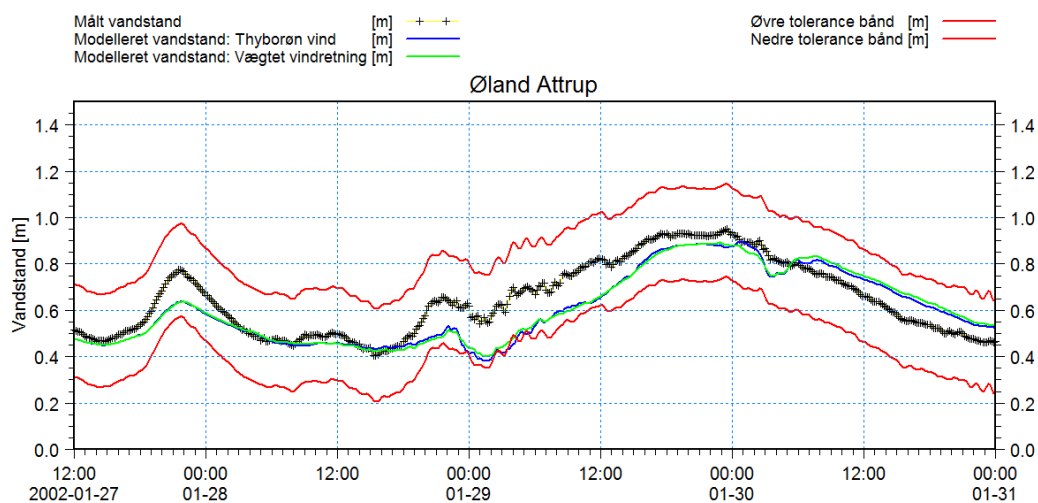
Figur 8-81 Sammenligning af nulpunktskorrigeret målt vandstand og modelleret vandstand i Rønbjerg.



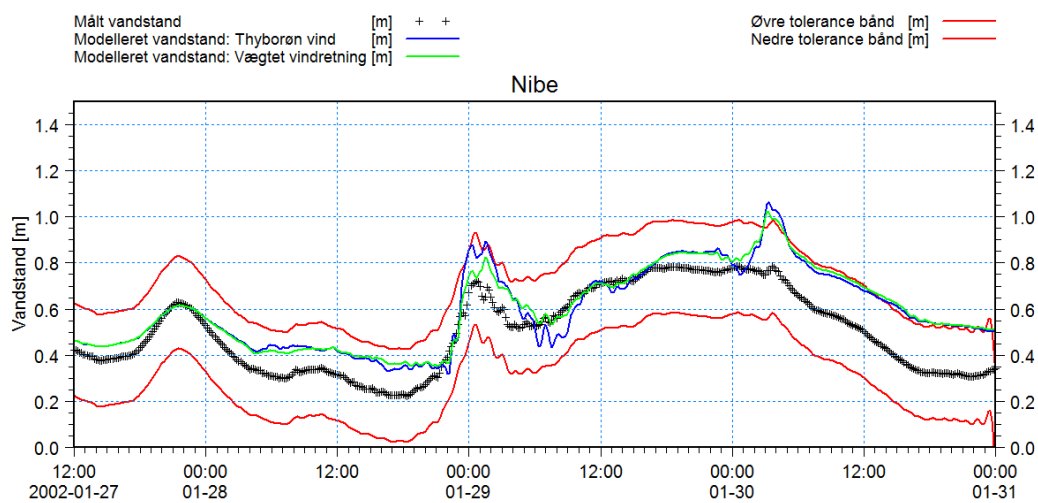
Figur 8-82 Sammenligning af nulpunktskorrigeret målt vandstand og modelleret vandstand i Hvalpsund.



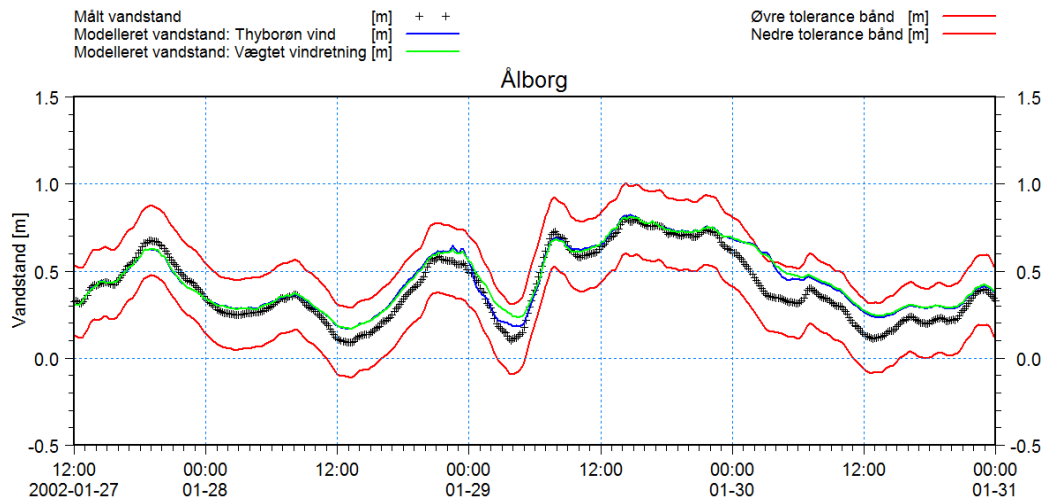
Figur 8-83 Sammenligning af målte og modellerede vandstande i Nykøbing Mors.



Figur 8-84 Sammenligning af målte og modellerede vandstande ved Øland Attrup.

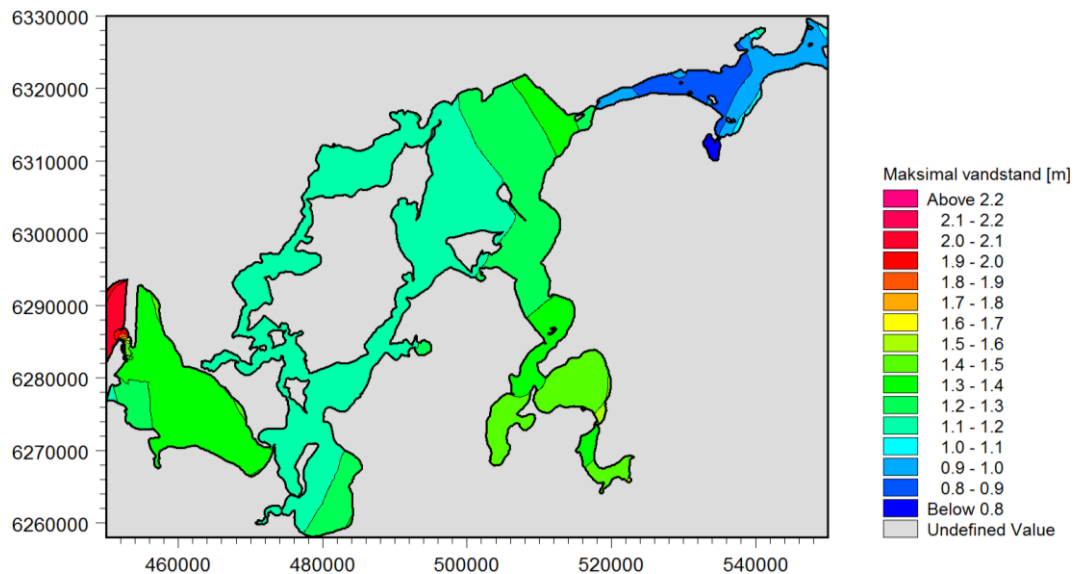


Figur 8-85 Sammenligning af målte og modellerede vandstande ved Nibe.



Figur 8-86 Sammenligning af målte og modellerede vandstande ved Ålborg.

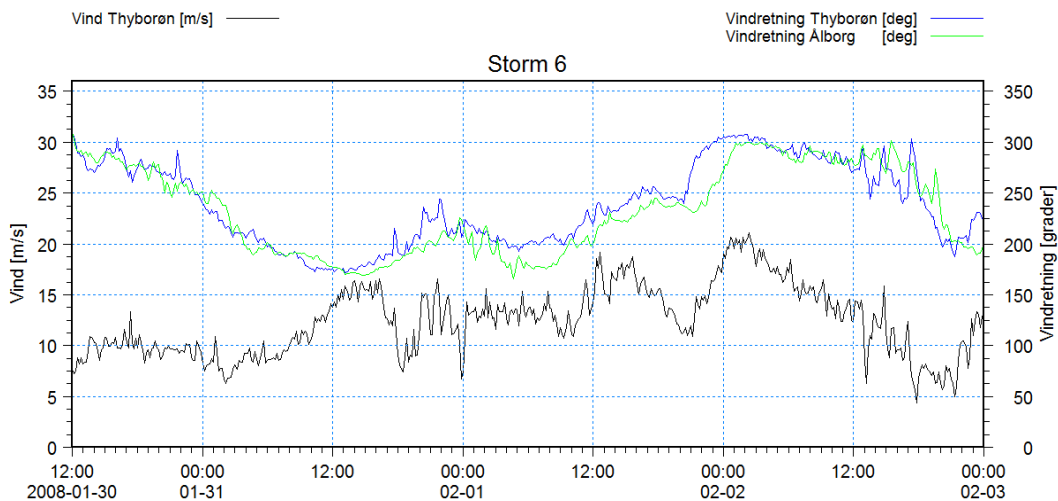
I Figur 8-87 er der vist et konturplot af de modellerede maksimalvandstande under forløbet af Storm 5. Vindstuvningseffekter kan tydeligt identificeres men ses at være langt svagere, end hvad der blev fundet for Storm 1. De højeste vandstande ses at optræde i Skive Fjord, Lovns Bredning, Hjarbæk Fjord og Løgstør Bredning.



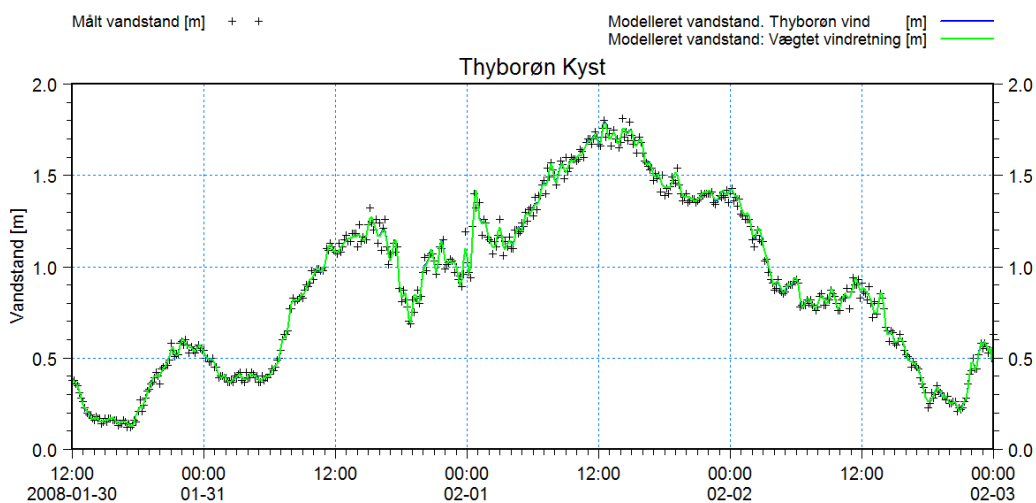
Figur 8-87 Modelleret maksimalvandstand under forløbet af Storm 5.

8.3.7 Simulering, Storm 6

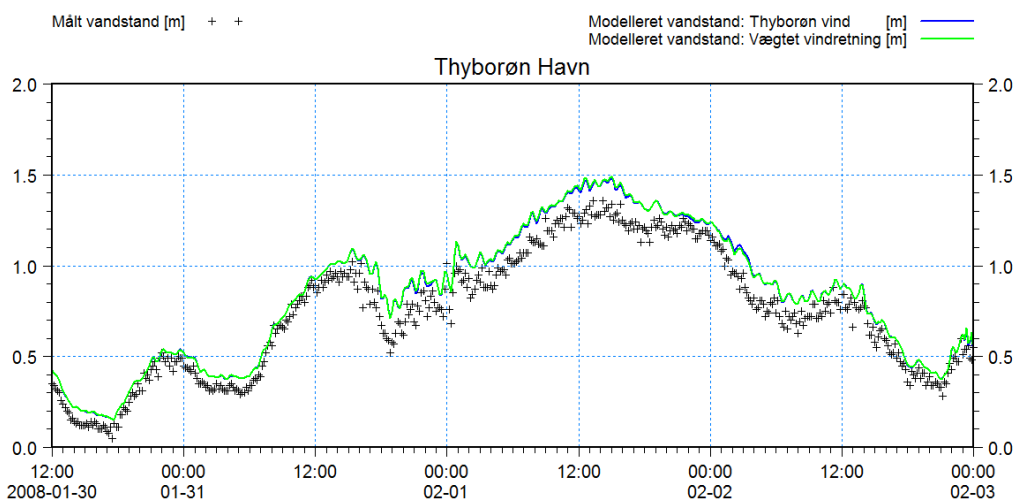
De simulerede vandstande i en række stationer under Storm 6 samt datagrundlaget for den benyttede vind er plottet i det følgende. Hvor det har været muligt eller af betydning, er de modellerede vandstande nulpunktskorrigerede vandstande. I de øvrige stationer er der sammenlignet med målte vandstande. Af plottene ses der at være en fin overensstemmelse mellem målte og modellerede vandstande.



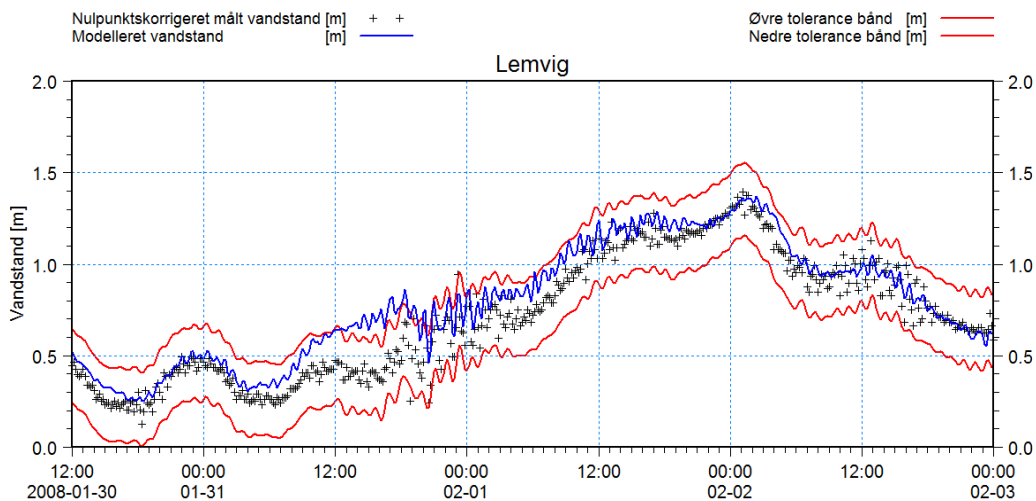
Figur 8-88 Vindforhold i løbet af Storm 6.



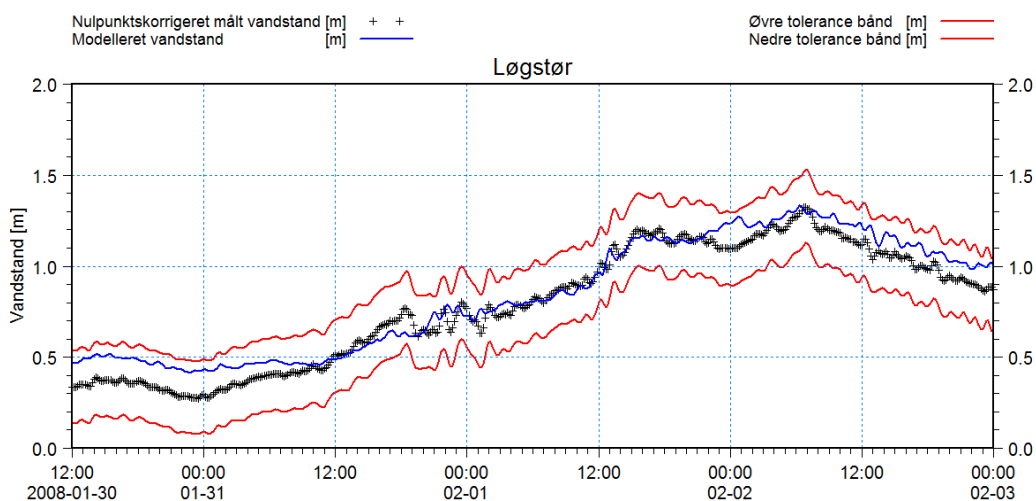
Figur 8-89 Sammenligning af målte og modellerede vandstande ved Thyborøn Kyst.



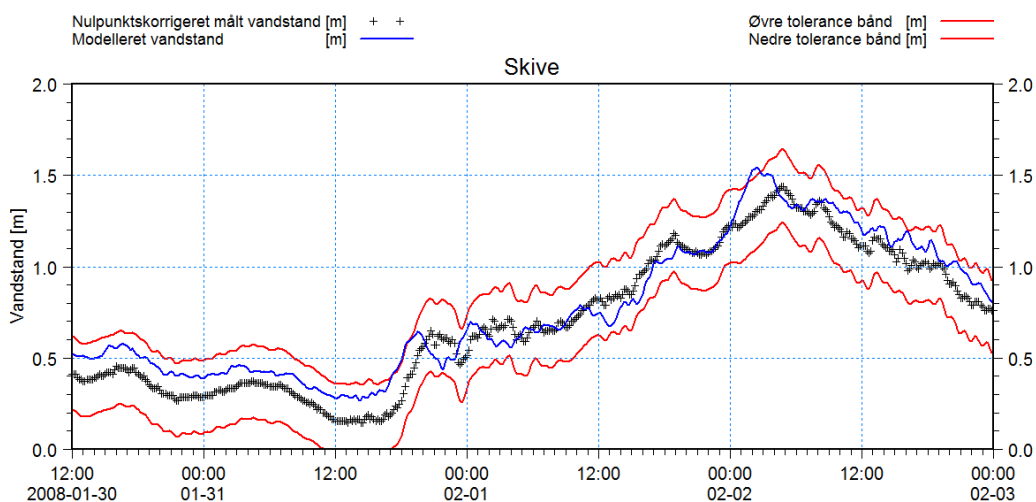
Figur 8-90 Sammenligning af målte og modellerede vandstande i Thyborøn Havn.



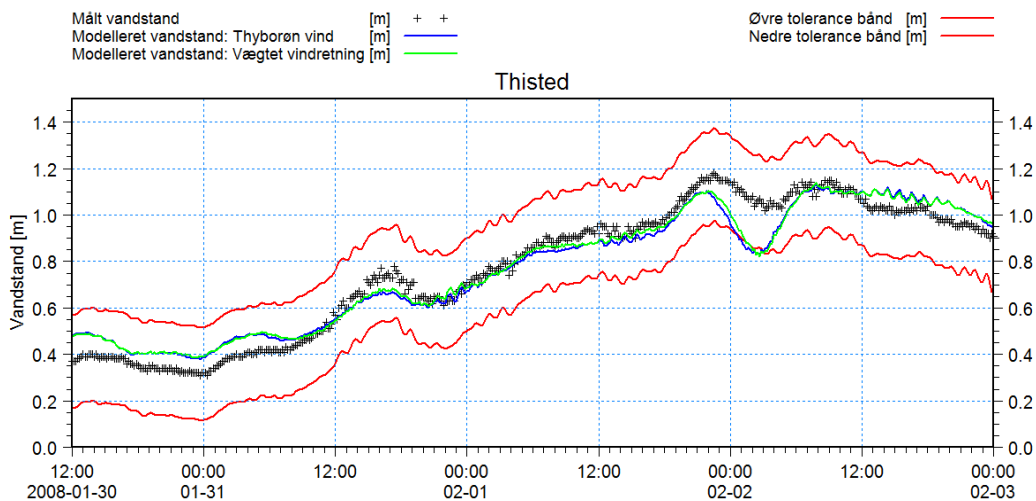
Figur 8-91 Sammenligning af nulpunktskorrigeret målt vandstand og modelleret vandstand i Lemvig.



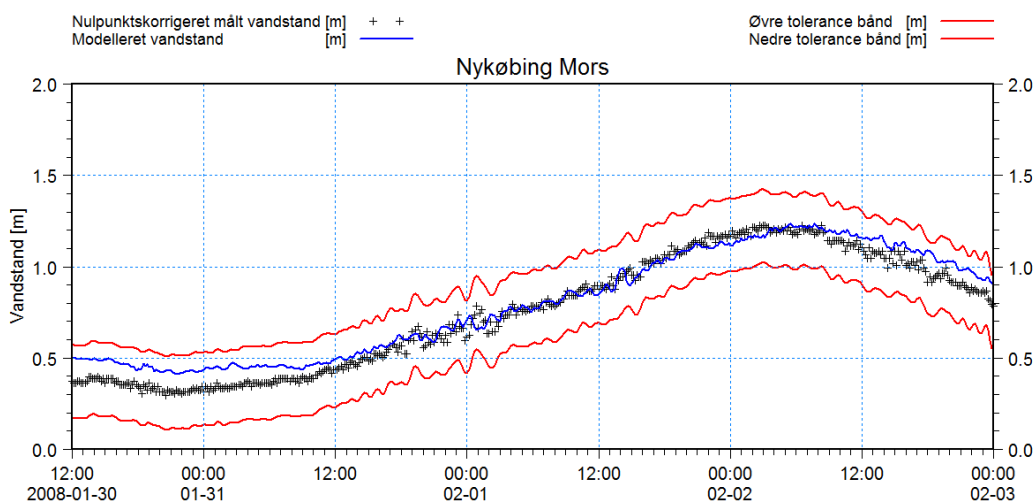
Figur 8-92 Sammenligning af nulpunktskorrigeret målt vandstand og modelleret vandstand i Løgstør.



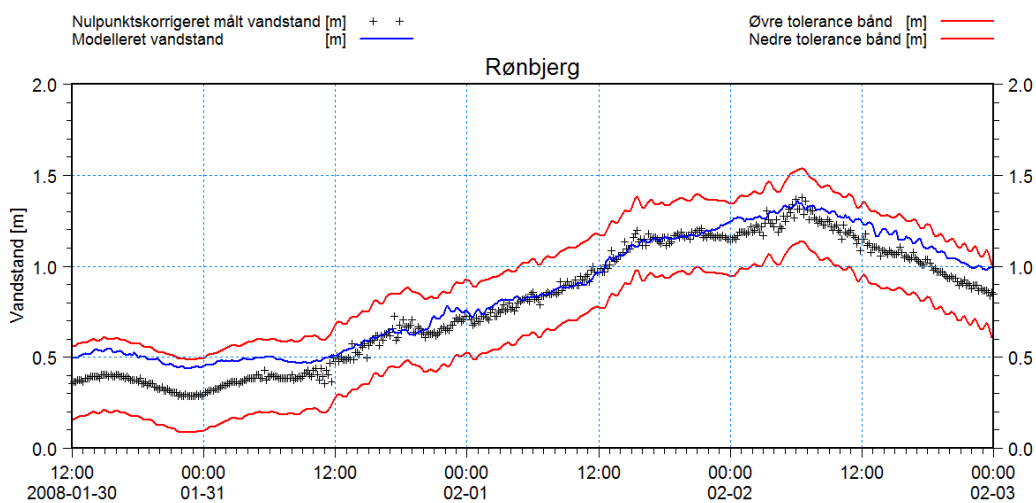
Figur 8-93 Sammenligning af nulpunktskorrigeret målt vandstand og modelleret vandstand i Skive.



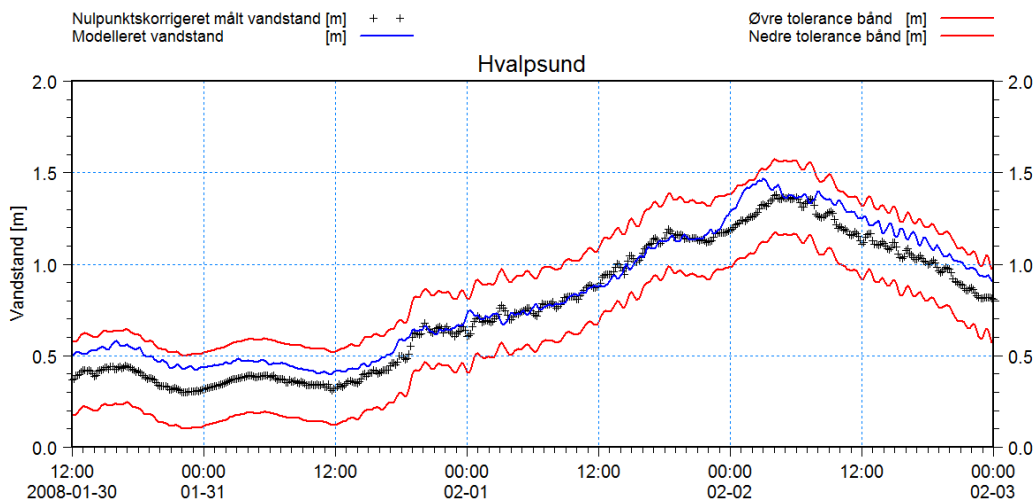
Figur 8-94 Sammenligning af målte og modellerede vandstande ved Thisted.



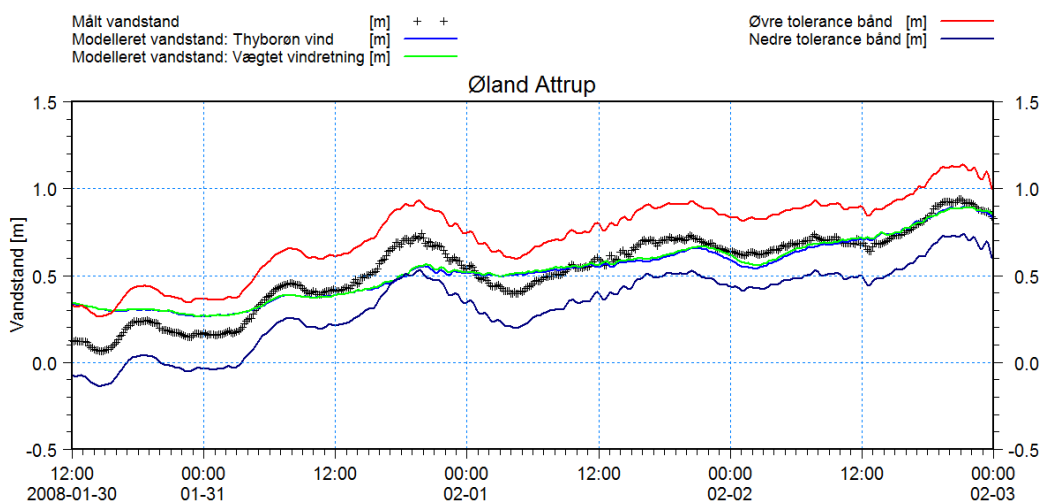
Figur 8-95 Sammenligning af nulpunktskorrigeret målt vandstand og modelleret vandstand i Nykøbing Mors.



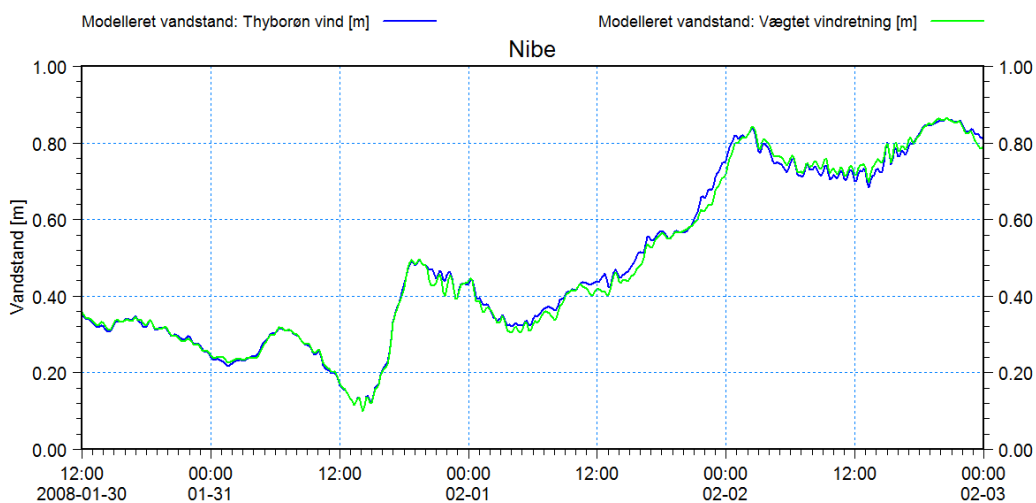
Figur 8-96 Sammenligning af nulpunktskorrigeret målt vandstand og modelleret vandstand i Rønbjerg.



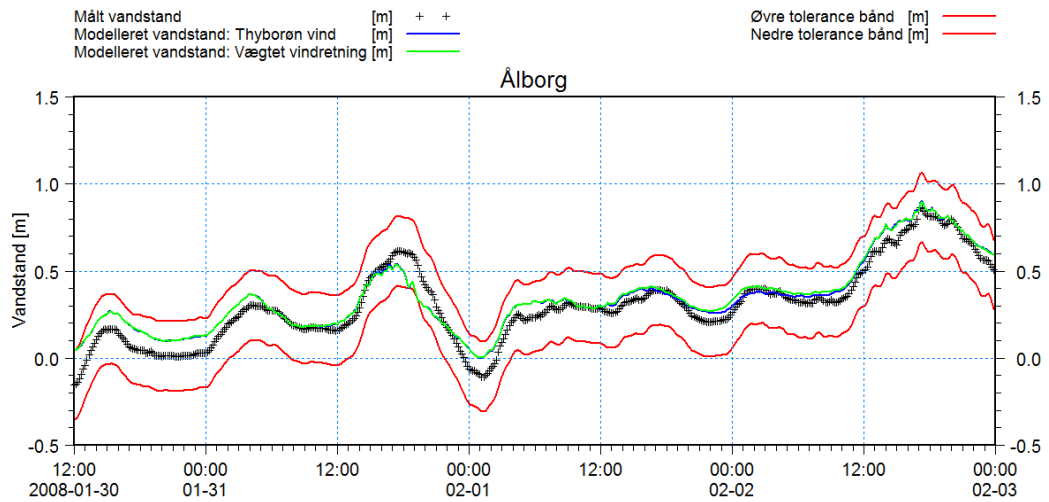
Figur 8-97 Sammenligning af nulpunktskorrigeret målt vandstand og modelleret vandstand i Hvalpsund.



Figur 8-98 Sammenligning af målte og modellerede vandstande ved Øland Attrup.

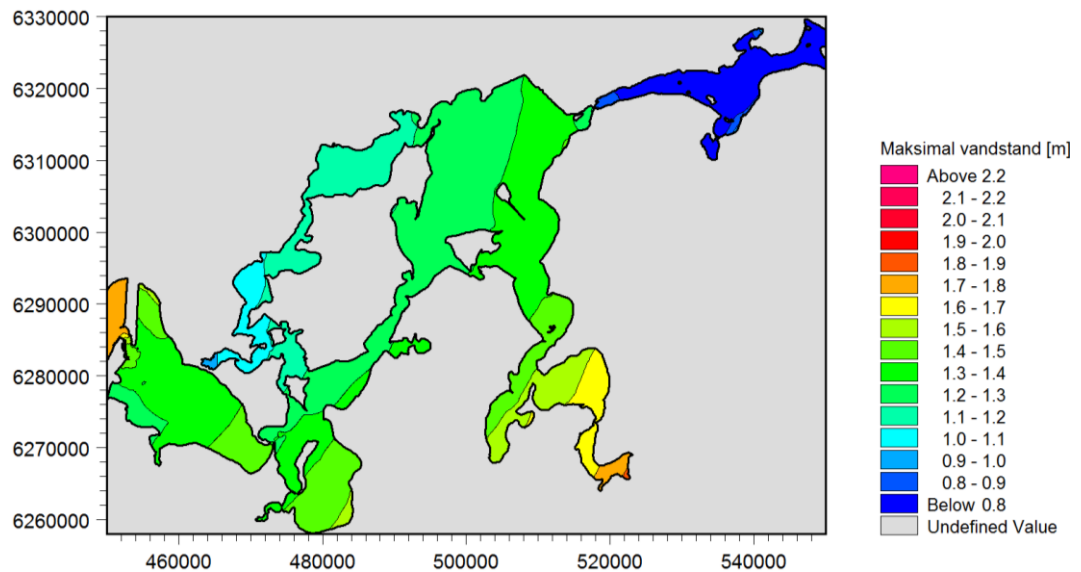


Figur 8-99 Sammenligning af målte og modellerede vandstande ved Nibe.



Figur 8-100 Sammenligning af målte og modellerede vandstande ved Ålborg.

I Figur 8-101 er der vist et plot af de modellerede maksimalvandstande under forløbet af Storm 6. Vindstuvningseffekter rettet mod SØØ i den centrale del af fjorden kan tydeligt identificeres. De højeste vandstande ses at optræde i Hjarbæk Fjord og Lovns Bredning som følge af vindens påvirkning.



Figur 8-101 Modelleret maksimalvandstand under forløbet af Storm 6.



9 FØLSOMHEDSANALYSE

For at klarlægge en række fænomeners indflydelse på og betydning for historisk og fremtidig udvikling af højvandsstande i Limfjorden er der udført en række følsomheds-test i form af simuleringer med den hydrodynamiske model. De udførte følsomhedsanalyser er alle udført med udgangspunkt i Storm 1 og Storm 2, idet de af natur er væsensforskellige, samtidig med at de begge forårsager meget høje vandstande i Limfjorden. Desuden er systemets respons på bratte vandstandsændringer på randene undersøgt.

Følsomhedsanalysen er inddelt i to typer og således, at man kun ændrer på et fænomen af gangen. Den første type relaterer til batymetriske ændringer i systemet inddelt på dybderne i Thyborøn Kanal, dybderne i løbene i Nissum Bredning og fjordgrundenes koter. Den anden type relaterer til fysiske fænomener i form af ændringer i stormintensitet og ændringer af middelvandstand. Følsomheden af stormintensitet er inddelt på ændringer af drivende vandstande, forøgelse af hændelsesvarighed og forøgelse af vindstyrke.

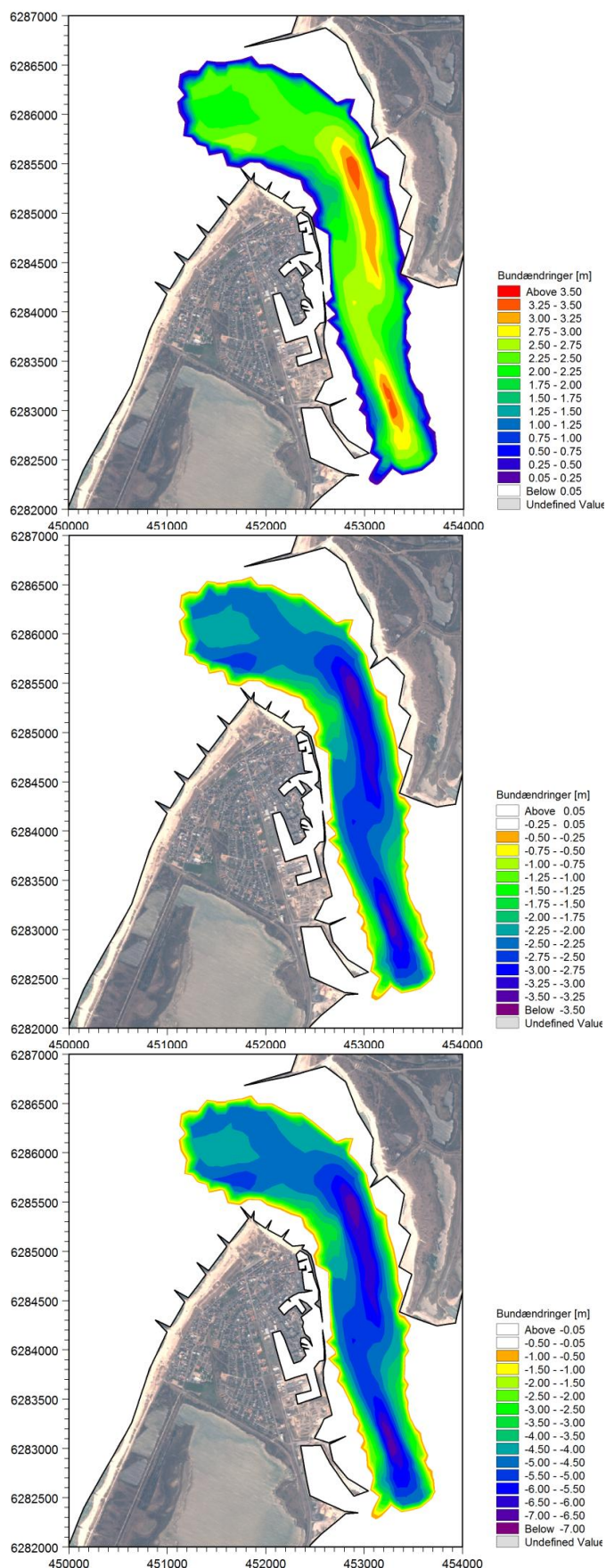
9.1 Følsomhed for ændring af dybderne i Thyborøn Kanal

Thyborøn Kanal udgør en flaskehals mellem Vesterhavet og Limfjorden (Nissum Bredning) og er derfor den mest regulerende mekanisme for vandudvekslingen mellem fjord og hav. Historisk set har åbningen været væsentlig mindre end i dag, mens den i fremtiden forventes fortsat at vokse som følge af, at systemet endnu ikke har opnået nogen form for morfologisk ligevægt. Det er derfor i følsomhedsanalysen valgt at undersøge betydningen af både reducerede og forøgede dybder i Thyborøn Kanal. Ændringer i systemet er introduceret ved at reducere vanddybderne med 25 % og forøge vanddybderne med henholdsvis 25 % og 50 %. De hermed introducerede bundændringer, som er indlagt i modelberegningsnettets batymetri, er vist i Figur 9-1. Tilsvarende er de korreponderende batymetrier vist i Figur 9-2 med kote konturlinjer indlagt.

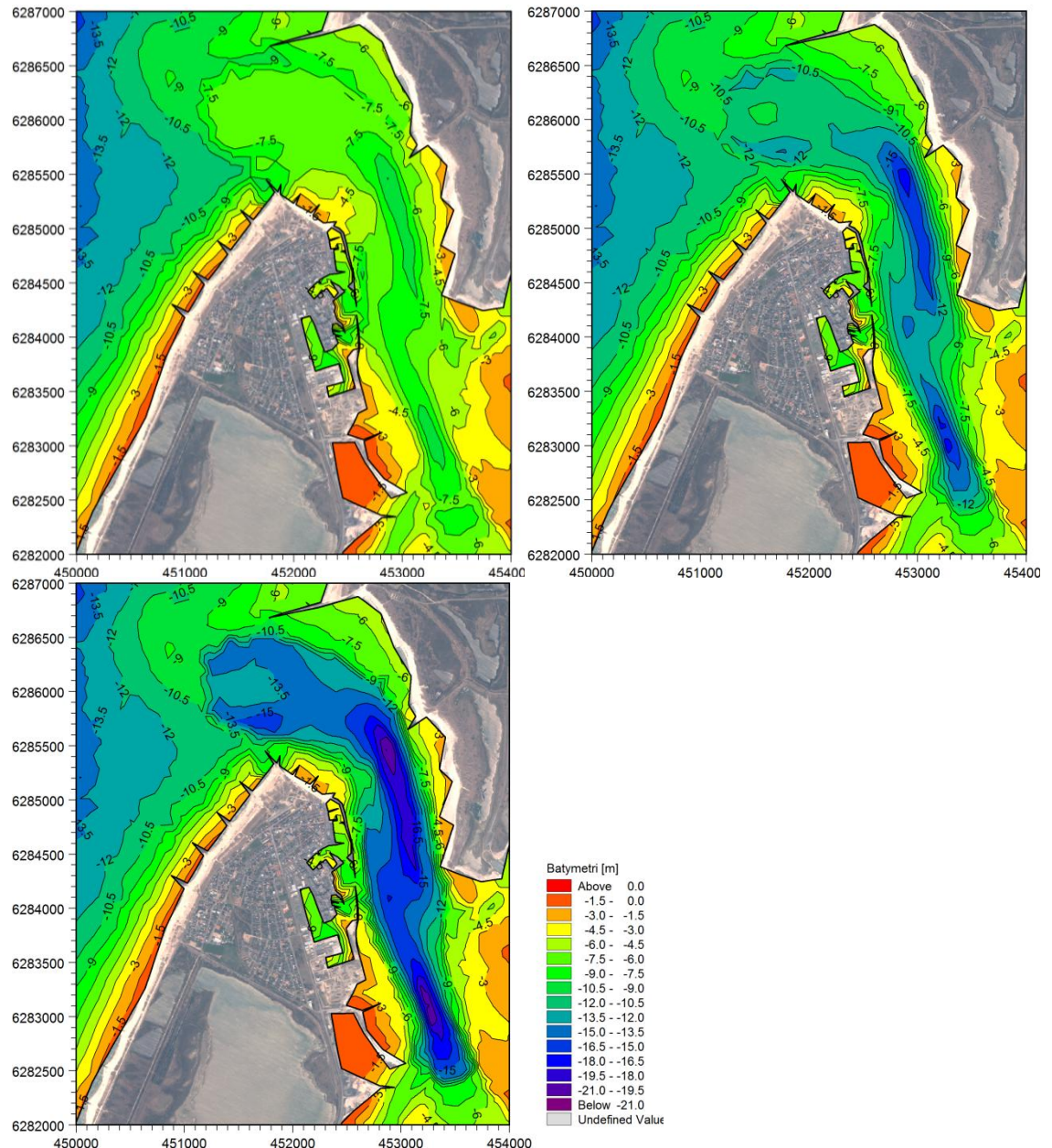
De indlagte bundændringer i Thyborøn Kanal i de tre undersøgte batymetrier er omregnet til ækvivalente aflejrings/erosionsmængder samt en ækvivalent ændring af dybden i middel. Mængderne er angivet i Tabel 9-1 nedenfor. Negative værdier i tabellen indikerer aflejring, mens positive værdier er udtryk for erosion.

Tabel 9-1 Indlagte bundændringer i Thyborøn Kanal omregnet til ækvivalente aflejrings/erosionsmængder.

Dybdeforøgelse [%]	Ækvivalent erosionsmængde [m ³]
-25	-7.900.000
25	7.900.000
50	15.700.000



Figur 9-1 Bundændringer i Thyborøn Kanal anvendt til følsomhedsanalyse. Øverst: Vanddybder reduceret med 25 %. Midt: Vanddybder forøget med 25 %. Nederst: Vanddybder forøget med 50 %.

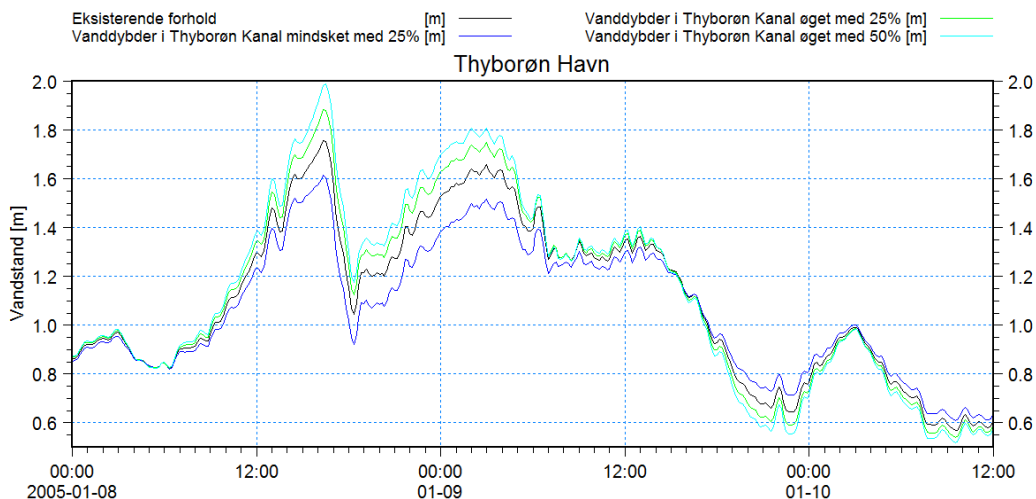


Figur 9-2 Batymetrier af Thyborøn Kanal anvendt til følsomhedsanalysen. Øverst til venstre: Vanddybder reduceret med 25 %. Øverst til højre: Vanddybder forøget med 25 %. Nederst til venstre: Vanddybder forøget med 50 %.

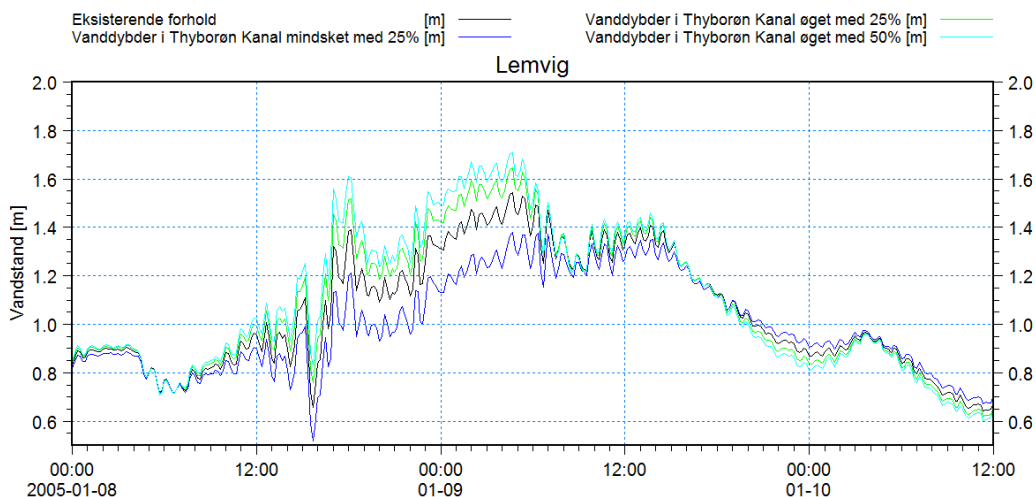
9.1.1 Storm 1

En sammenligning af de modellerede vandstande under forløbet af Storm 1 på den nutidige og de tre modificerede batymetrier er vist i de følgende seks figurer for stationerne: Thyborøn Havn, Lemvig, Løgstør, Nykøbing Mors, Skive og Thisted. Det ses som forventet, at stormflodsniveauerne falder i alle stationerne inde i Limfjorden, når vanddybden i Thyborøn Kanal reduceres, og stiger når den forøges.

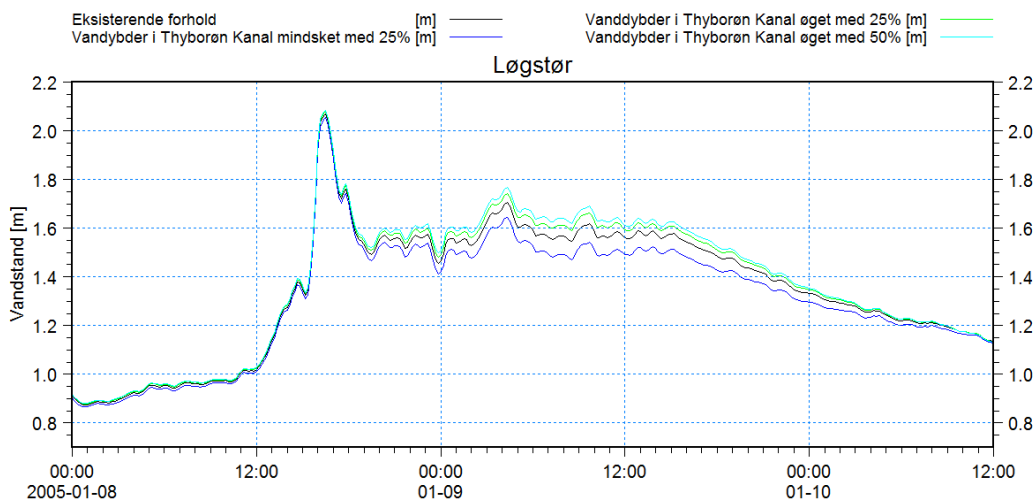
Forskellene i vandstande for fem af stationerne er vist i Figur 9-9 til og med Figur 9-13. Den største forskel i stormflodsniveauerne finder sted inde i Nissum Bredning, hvilket fremgår af de plottede vandstande for Thyborøn Havn og Lemvig. I Løgstør og Skive optræder effekten med nogen forsinkelse, og efter at maksimalvandstanden er indtruffet, idet denne er forårsaget af kraftig vindstuvning.



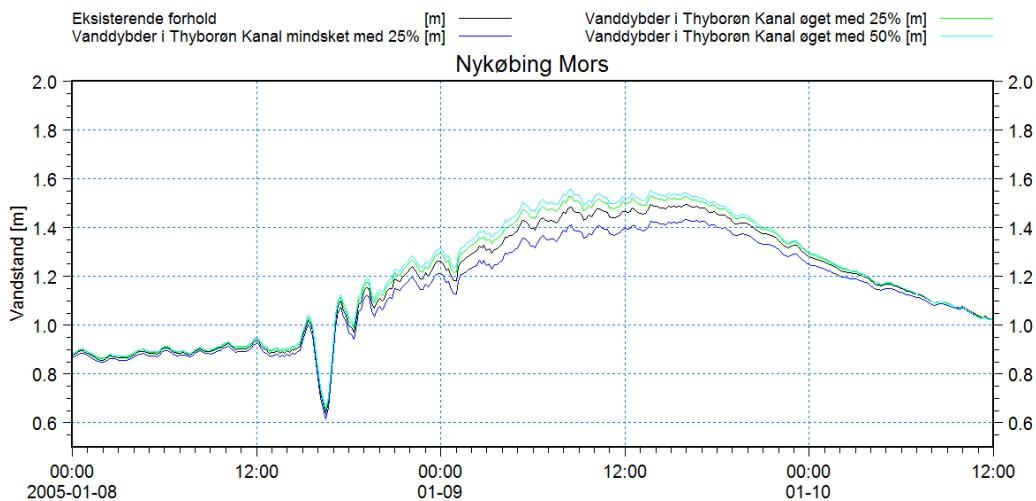
Figur 9-3 Sammenligning af modellerede vandstande i Thyborøn Havn som følge af ændrede dybder i Thyborøn Kanal.



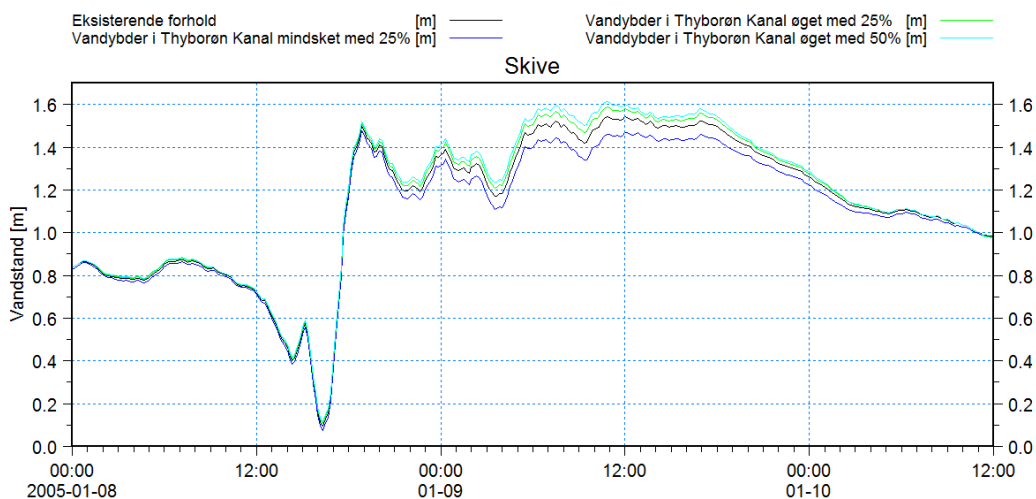
Figur 9-4 Sammenligning af modellerede vandstande i Lemvig Havn som følge af ændrede dybder i Thyborøn Kanal.



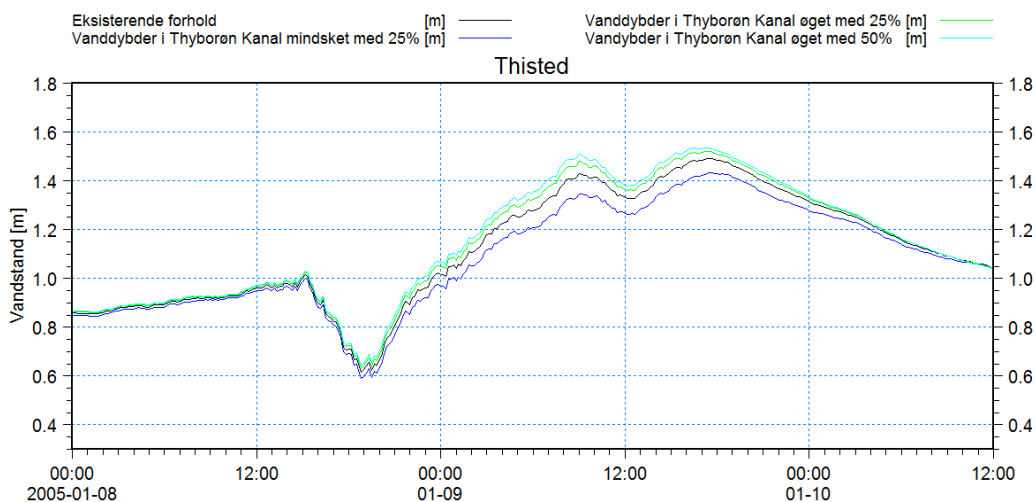
Figur 9-5 Sammenligning af modellerede vandstande ved Løgstør som følge af ændrede dybder i Thyborøn Kanal.



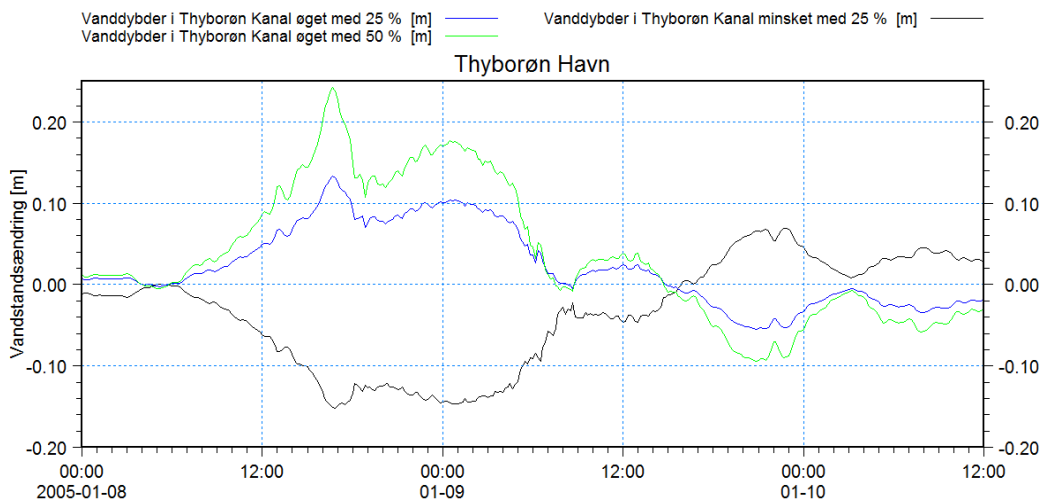
Figur 9-6 Sammenligning af modellerede vandstande ved Nykøbing Mors som følge af ændrede dybder i Thyborøn Kanal.



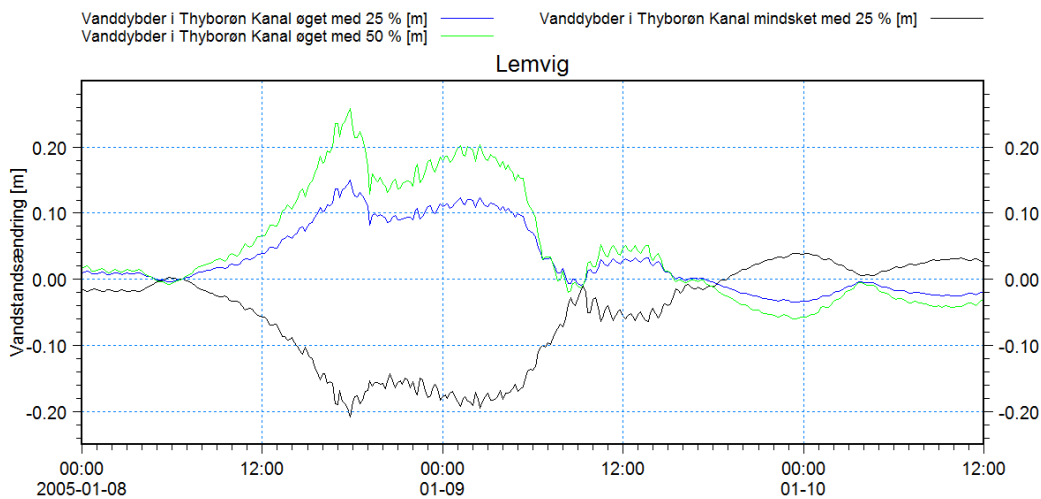
Figur 9-7 Sammenligning af modellerede vandstande ved Skive som følge af ændrede dybder i Thyborøn Kanal.



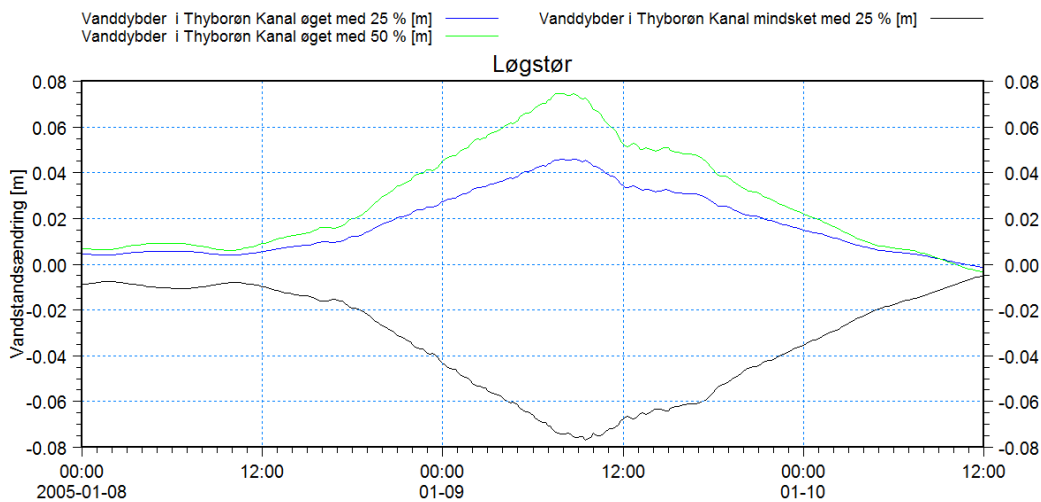
Figur 9-8 Sammenligning af modellerede vandstande ved Thisted som følge af ændrede dybder i Thyborøn Kanal.



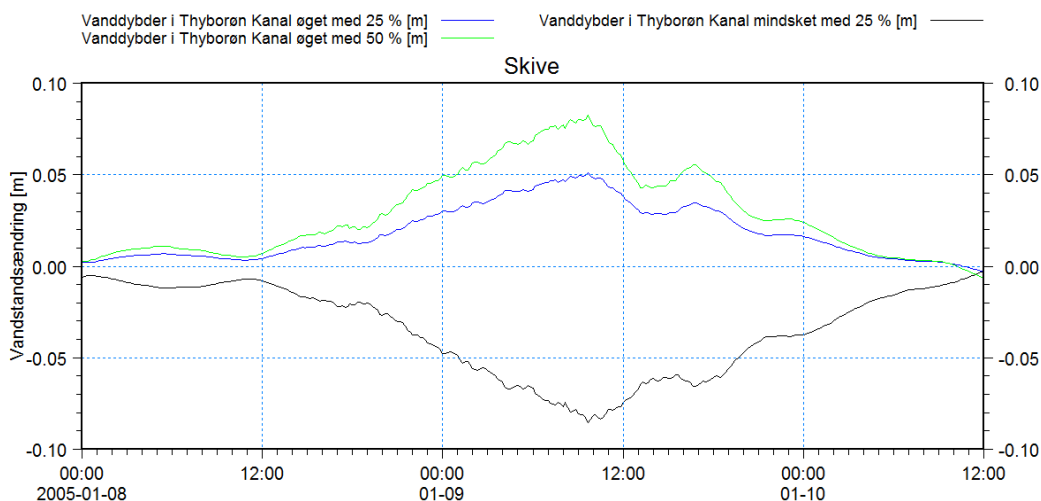
Figur 9-9 Modellerede vandstandsændringer i Thyborøn Havn som følge af ændrede dybder i Thyborøn Kanal.



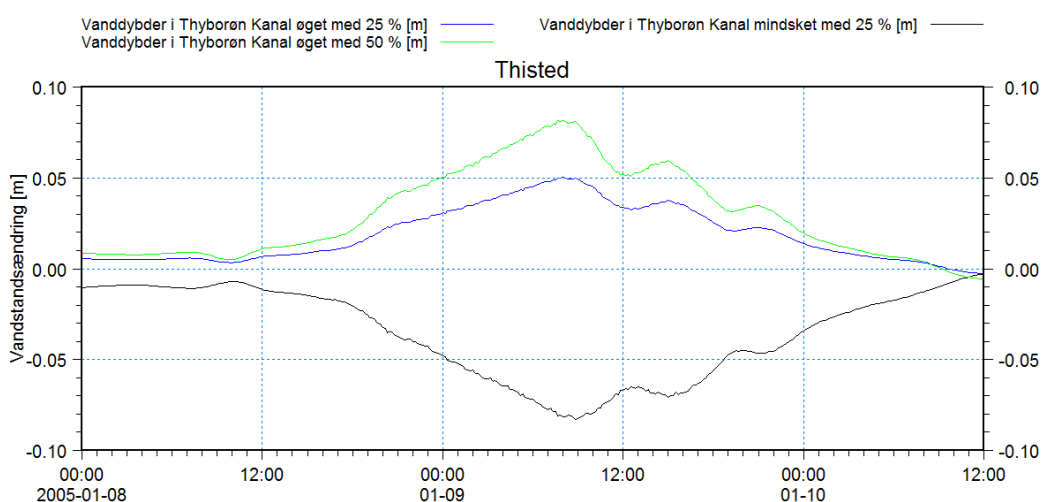
Figur 9-10 Modellerede vandstandsændringer i Lemvig Havn som følge af ændrede dybder i Thyborøn Kanal.



Figur 9-11 Modellerede vandstandsændringer ved Løgstør som følge af ændrede dybder i Thyborøn Kanal.



Figur 9-12 Modellerede vandstandsændringer ved Skive som følge af ændrede dybder i Thyborøn Kanal.



Figur 9-13 Modellerede vandstandsændringer i Thisted som følge af ændrede dybder i Thyborøn Kanal.

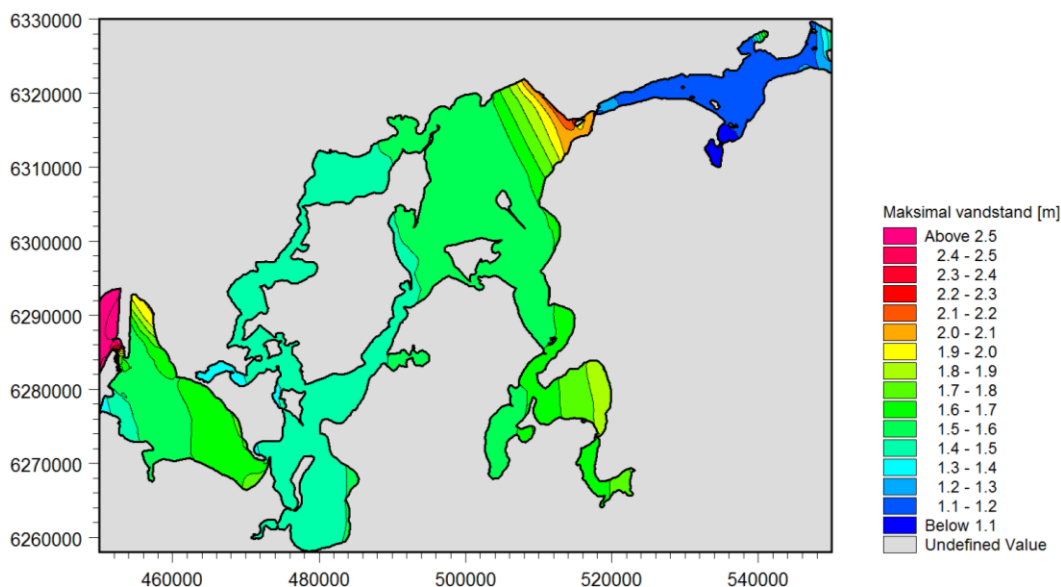
I Tabel 9-2 er ændringerne i maksimalvandstanden som følge af de ændrede dybder i Thyborøn Kanal angivet for 8 stationer i den vestlige del af Limfjorden. Det ses, at de største ændringer finder sted i Thyborøn Havn og Lemvig. Endvidere ses det, at en reduktion af vanddybderne i Thyborøn Kanal med 25 % er væsentlig kraftigere end en forøgelse af vanddybderne med 25 %, og en forøgelse med 50 % giver væsentligt mindre end en fordobling i forhold til 25 %. En fortsat udvikling som hidtil af Thyborøn Kanal må derfor isoleret set forventes at influere svagere på maksimalvandstandene i Limfjorden end den historiske udvikling.

Et konturplot af de modellerede maksimalvandstande under Storm 1 baseret på 2005 batymetrien er vist i Figur 9-14. Tilsvarende er der i Figur 9-15 vist konturplot af ændring i maksimalvandstanden for hver af de tre undersøgte batymetrier. Det ses, at effekten er minimal i Løgstør Bredning og Lovns Bredning, idet den kraftige vindstuvning finder sted, før de via Thyborøn Kanal og Oddesund indtrængende vandmængder når frem. I de dele af fjorden hvor vindstuvningen er mindre betydende, ses til gengæld effekten af den ændrede indstrømning gennem Thyborøn Kanal i form af en relativt konstant æn-

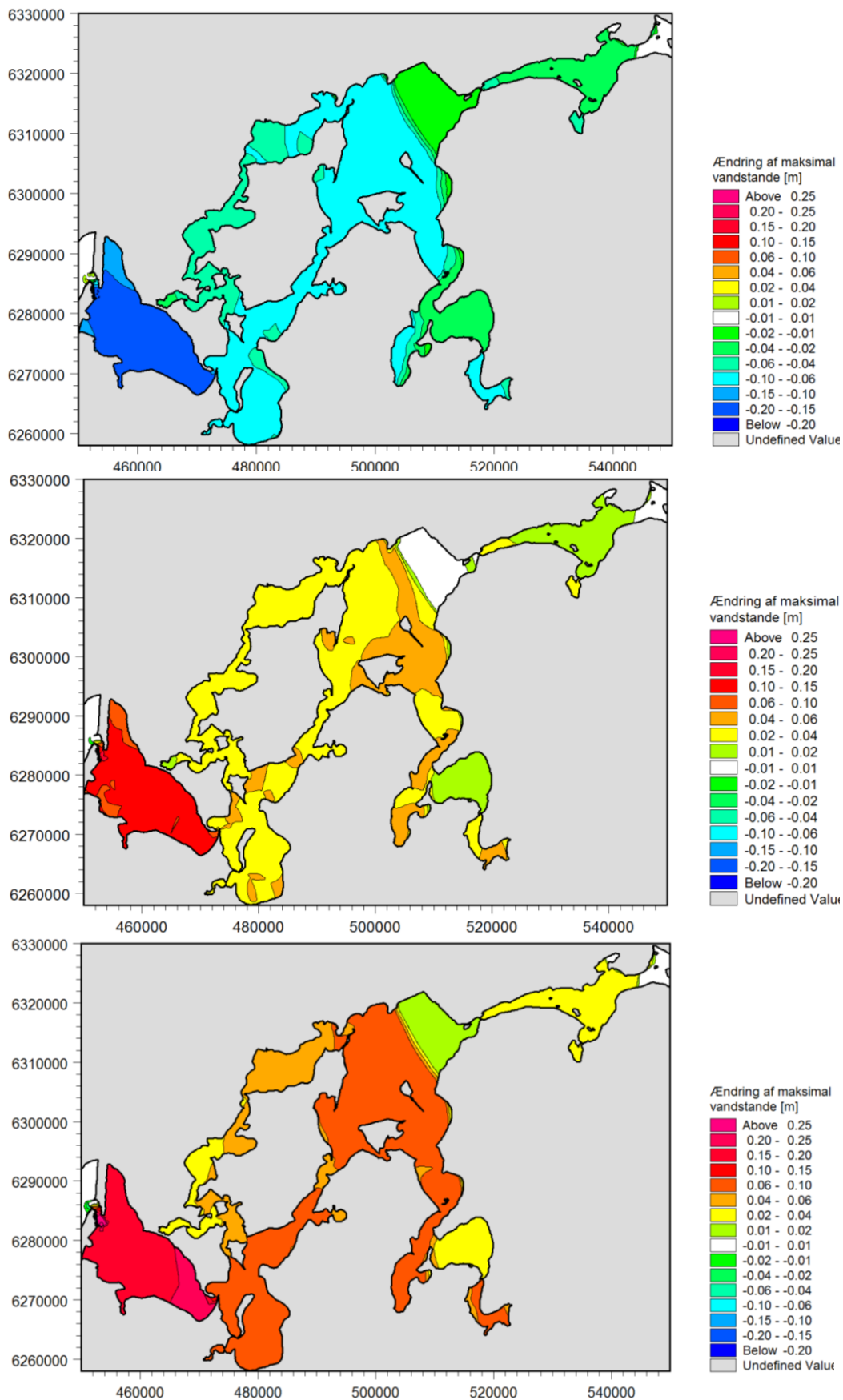
dring indenfor hvert enkelt bassin. I det centrale bassin indebærer den reducerede dybde et fald i maksimalvandstandene på 2-7 cm, mens effekten i Nissum Bredning er 14-17 cm. Når vanddybderne forøges med 25 % og 50 % bliver effekten en maksimalvandsforøgelse på 1-5 cm og 2-7 cm i det centrale bassin og 10-12 cm og 16-23 cm i Nissum Bredning.

Tabel 9-2 Ændringer af ekstremvandstande som følge af ændrede dybder i Thyborøn Kanal. Alle værdier er angivet i cm.

Station	Vanddybder øget med 25 %	Vanddybder øget med 50 %	Vanddybder mindsket med 25 %
Thyborøn Havn	12,4	22,9	-14,4
Lemvig	10,1	16,2	-16,6
Mors	3,58	5,95	-6,18
Løgstør	0,96	1,59	-1,57
Thisted	2,83	4,30	-5,80
Hvalpsund	4,53	7,40	-2,62
Skive	4,54	7,14	-6,63
Rønbjerg	3,88	6,34	-2,28



Figur 9-14 Modelleret maksimalvandstand under Storm 1 med eksisterende forhold.

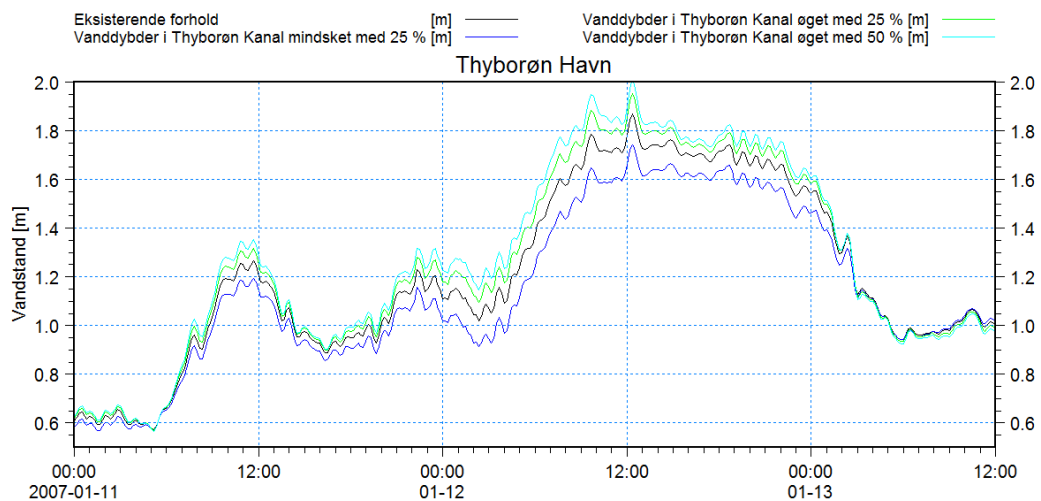


Figur 9-15 Maksimal vandstandsfølsomhed for ændringer af vanddybden i Thyborøn Kanal. Øverst: Vanddybder reduceret med 25 %. Midt: Vanddybder forøget med 25 %. Nederst: Vanddybder forøget med 50 %.

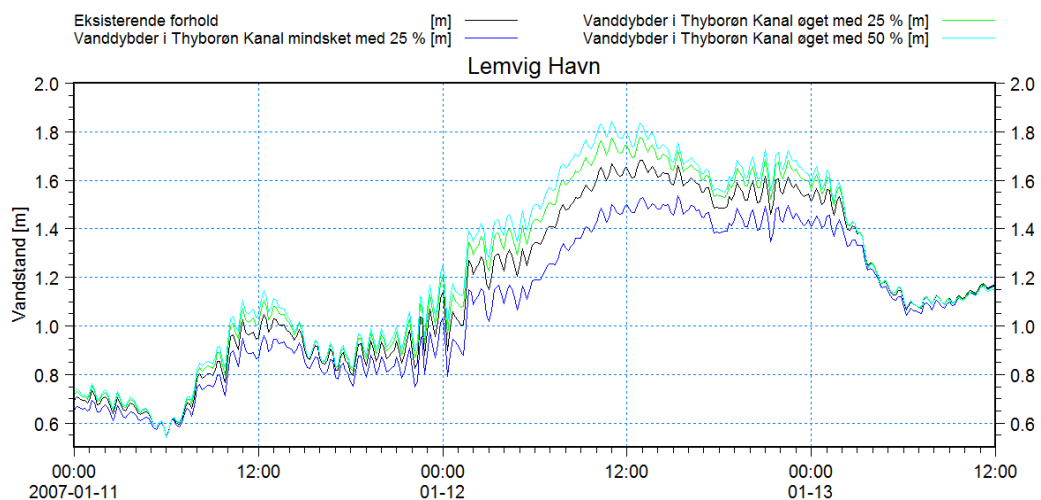
9.1.2 Storm 2

En sammenligning af de modellerede vandstande under forløbet af Storm 2 på den nutidige og de tre modificerede batymetrier er vist i de følgende fem figurer for stationerne: Thyborøn Havn, Lemvig, Løgstør, Skive og Thisted. Storm 2 er karakteriseret ved, at maksimalvandstanden i alle stationer er domineret af bidraget fra den via Thyborøn Kanal og Oddesund indstrømmende vandmængde. Det ses derfor som forventet, at stormflodsniveauerne falder i alle stationerne inde i Limfjorden, når vanddybden i Thyborøn Kanal reduceres, og stiger når den forøges.

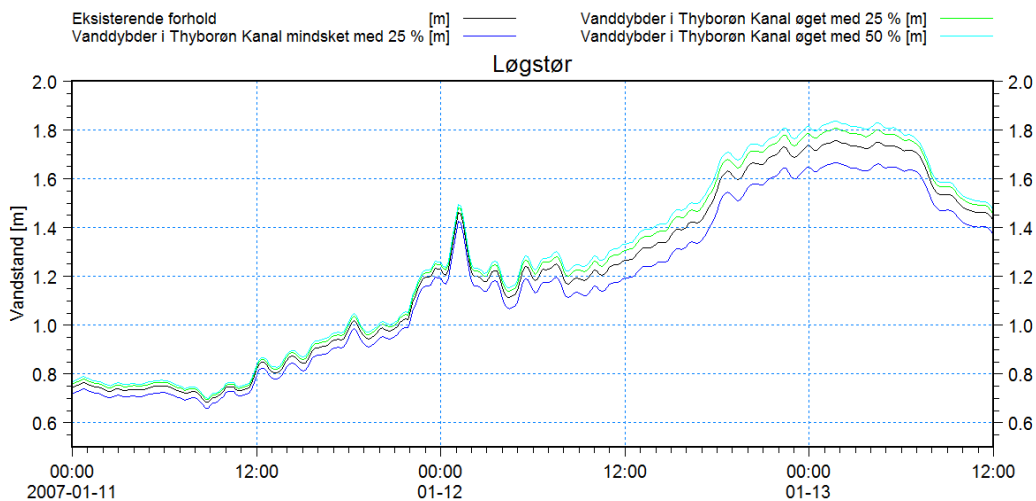
Forskellene i vandstande for fem af stationerne er vist i Figur 9-21 til og med Figur 9-25. Heraf ses, at den største ændring i stormflodsniveauerne finder sted inde i Nissum Bredning, jf. plot af vandstande for Thyborøn Havn og Lemvig. I Løgstør, Skive og Thisted er effekten forholdsvis konstant og omtrent halveret i forhold til vest for Oddesund.



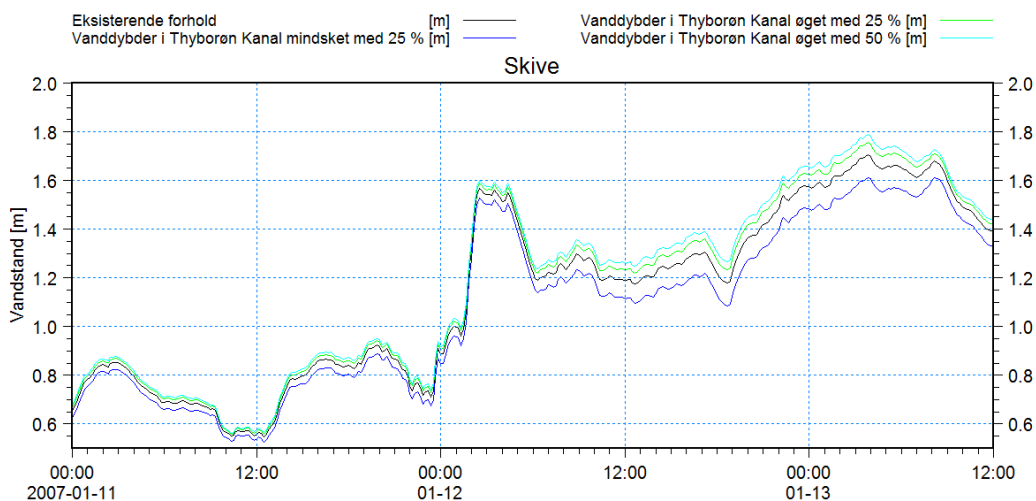
Figur 9-16 Sammenligning af modellerede vandstande i Thyborøn Havn som følge af ændrede dybder i Thyborøn Kanal.



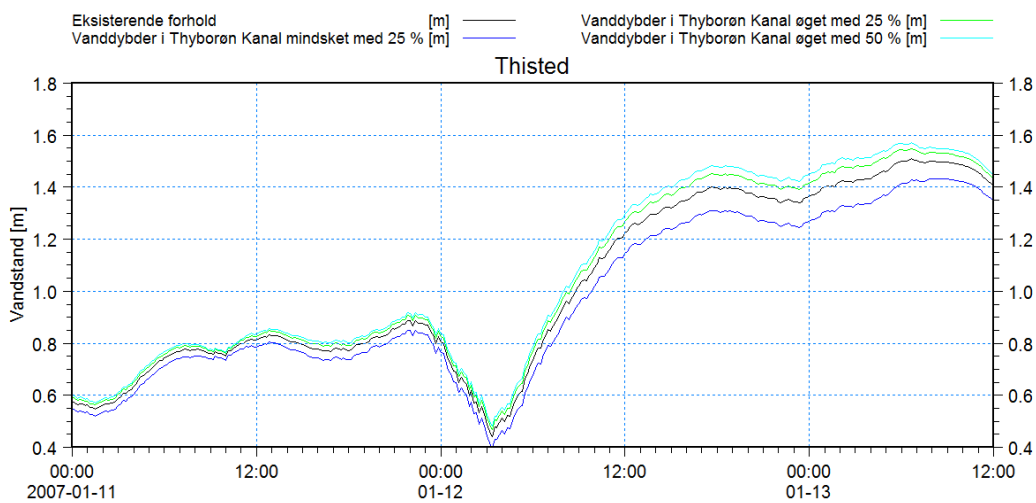
Figur 9-17 Sammenligning af modellerede vandstande i Lemvig Havn som følge af ændrede dybder i Thyborøn Kanal.



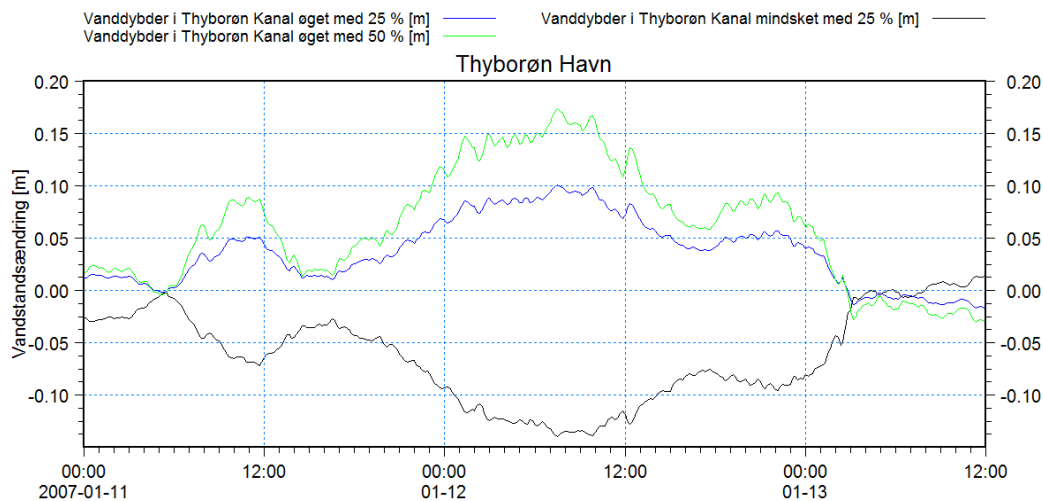
Figur 9-18 Sammenligning af modellerede vandstande ved Løgstør som følge af ændrede dybder i Thyborøn Kanal.



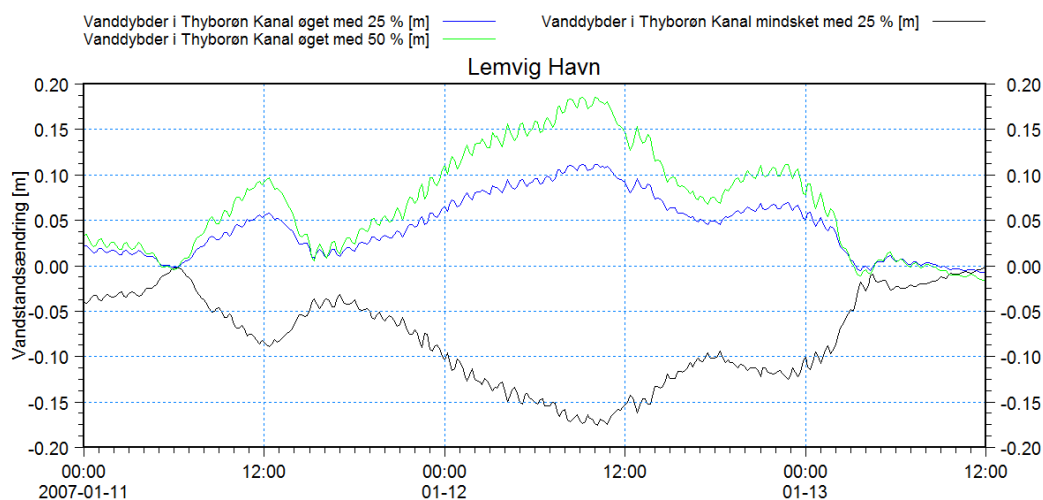
Figur 9-19 Sammenligning af modellerede vandstande i Skive Havn som følge af ændrede dybder i Thyborøn Kanal.



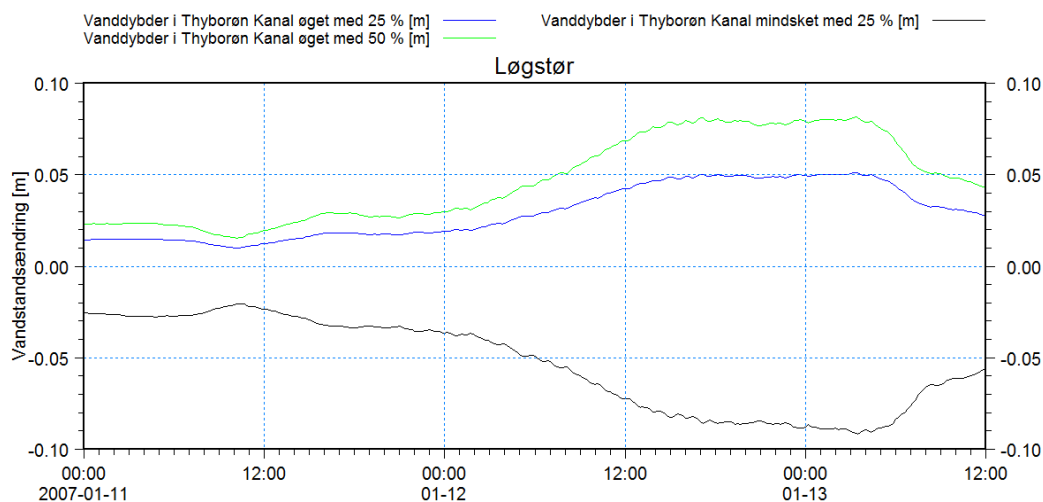
Figur 9-20 Sammenligning af modellerede vandstande i Thisted som følge af ændrede dybder i Thyborøn Kanal.



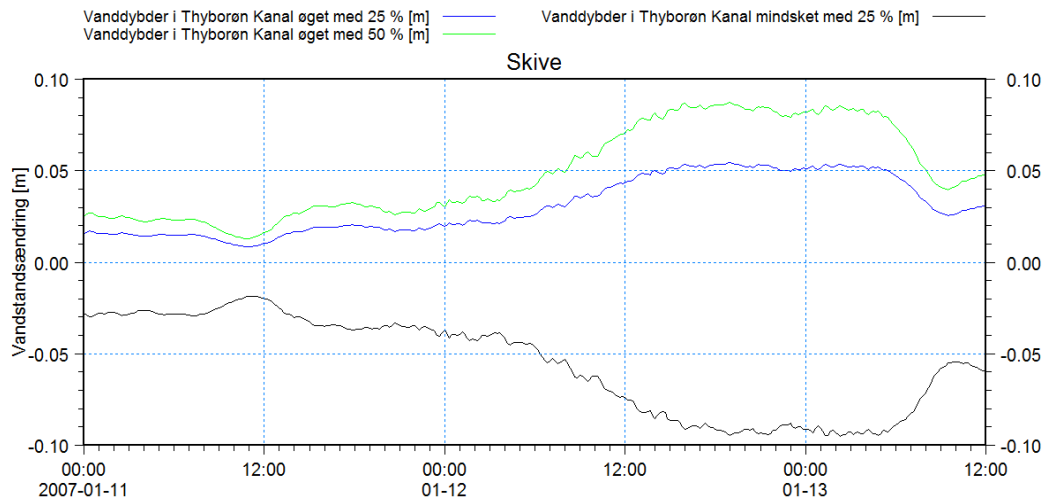
Figur 9-21 Modellerede vandstandsændringer i Thyborøn Havn som følge af ændrede dybder i Thyborøn Kanal.



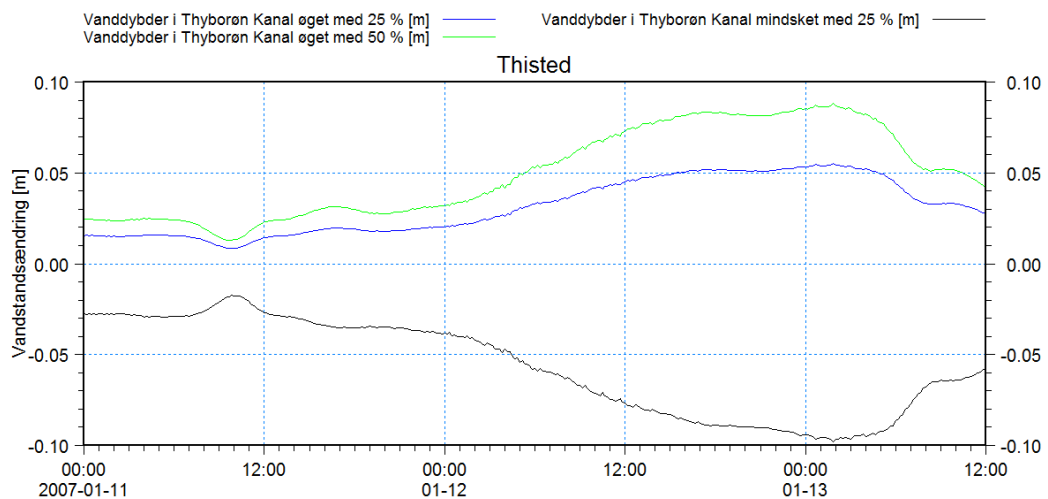
Figur 9-22 Modellerede vandstandsændringer i Lemvig Havn som følge af ændrede dybder i Thyborøn Kanal.



Figur 9-23 Modellerede vandstandsændringer ved Løgstør som følge af ændrede dybder i Thyborøn Kanal.



Figur 9-24 Modellerede vandstandsændringer i Skive som følge af ændrede dybder i Thyborøn Kanal.



Figur 9-25 Modellerede vandstandsændringer i Thisted som følge af ændrede dybder i Thyborøn Kanal.

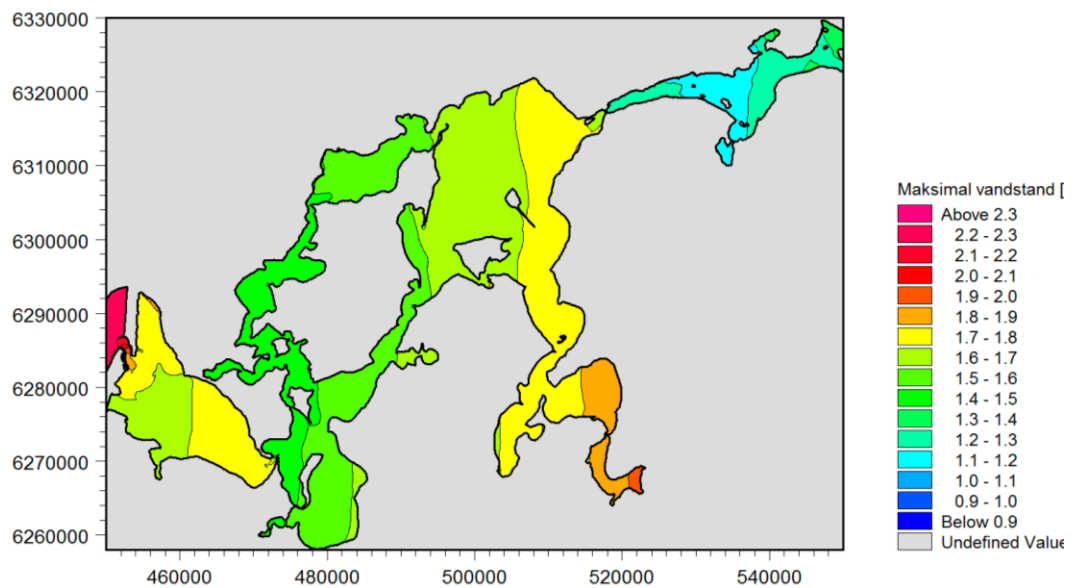
En oversigt, som viser ændringerne i maksimalvandstanden som følge af de introducerede dybdeændringer i Thyborøn Kanal, er indeholdt i Tabel 9-3 for 8 vandstandsstationer i den vestlige del af Limfjorden. Det ses, at de største ændringer finder sted i Thyborøn Havn og Lemvig. Ligesom for Storm 1 ses en reduktion af vanddybderne i Thyborøn Kanal med 25 % at have en væsentlig kraftigere effekt end en tilsvarende forøgelse af vanddybderne med 25 %. En fortsat naturlig udvikling af Thyborøn Kanal må derfor isoleret set forventes at influere svagere på maksimalvandstandene i Limfjorden end den hidtidige historiske udvikling.

Et konturplot af de modellerede maksimalvandstande under Storm 2 baseret på 2005 batymetrien er vist i Figur 9-26. Tilsvarende er der i Figur 9-27 vist konturplot af ændring i maksimalvandstanden for hver af de tre undersøgte batymetrier. Det ses, at effekten på vandstanden er tilnærmelsesvis konstant i hvert af de store bassiner. I det centrale bassin indebærer den reducerede dybde et fald i maksimalvandstandene på 8-9 cm, mens effekten i Nissum Bredning er 13-15 cm. Når vanddybderne forøges med 25 % og 50 % bli-

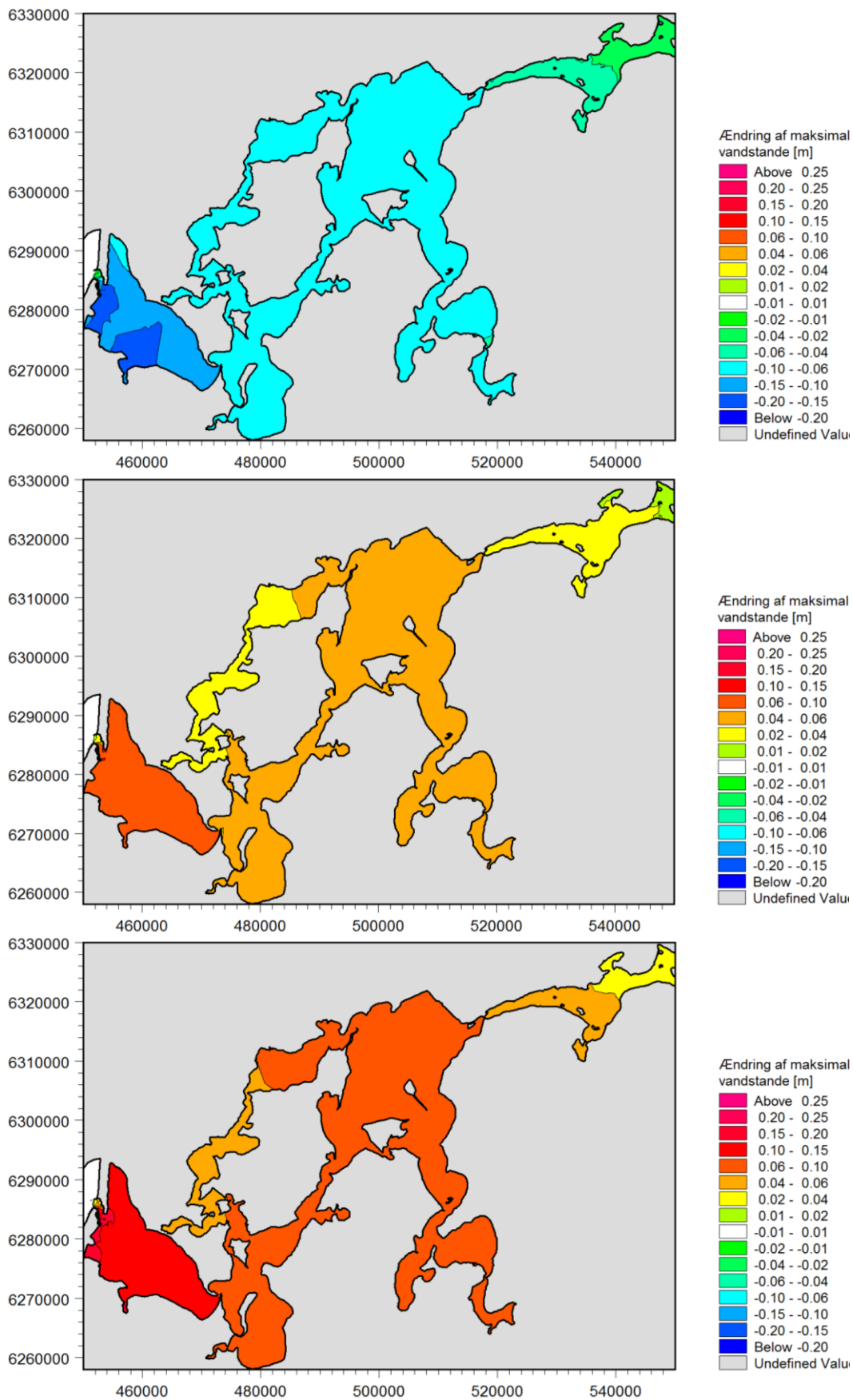
ver effekten en maksimalvandstandsforøgelse på 4-5 cm og 6-8 cm i det centrale bassin og 8-10 cm og 13-16 cm i Nissum Bredning.

Tabel 9-3 Ændringer af ekstremvandstande som følge af ændrede dybder i Thyborøn Kanal. Alle værdier er angivet i cm.

Station	Vanddybder øget med 25 %	Vanddybder øget med 50 %	Vanddybder mindsket med 25 %
Thyborøn Havn	8,28	13,64	-12,77
Lemvig	9,55	15,96	-14,78
Mors	4,32	7,18	-8,11
Løgstør	5,01	8,01	-8,88
Thisted	3,94	6,09	-7,64
Hvalpsund	5,02	7,94	-9,12
Skive	5,25	8,35	-9,39
Rønbjerg	4,92	7,86	-8,93



Figur 9-26 Modelleret maksimalvandstand under Storm 2 med eksisterende forhold.



Figur 9-27 Maksimal vandstandenes følsomhed for ændringer af vanddybden i Thyborøn Kanal. Øverst: Vanddybder reduceret med 25 %. Midt: Vanddybder forøget med 25 %. Nederst: Vanddybder forøget med 50 %.



9.2 Følsomhed for ændringer af fjordgrundene i Nissum Bredning

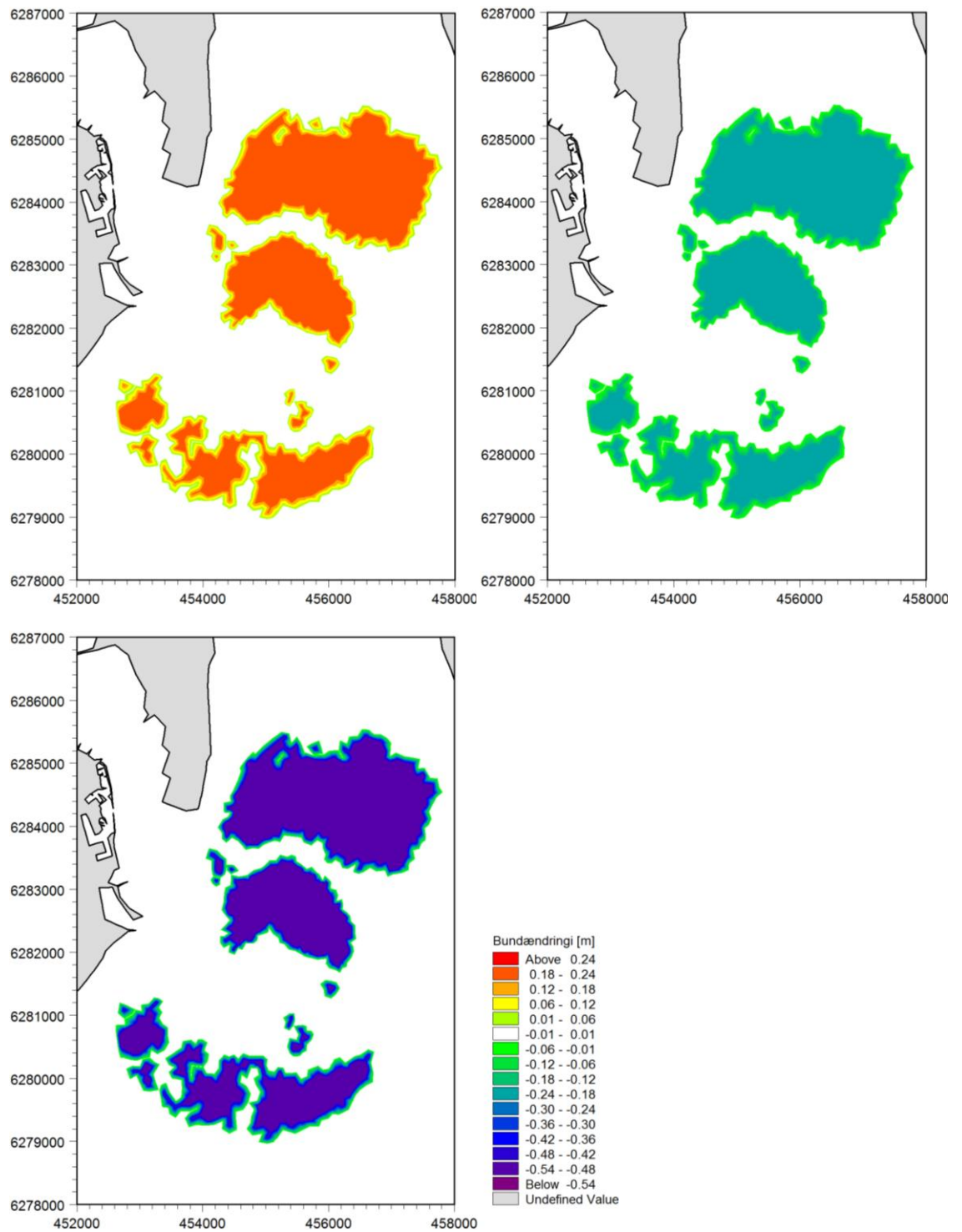
En stor del af det materiale der transporteres ind i Nissum Bredning via Thyborøn Kanal aflejres på fjordgrundene eller i forlængelse heraf. Det er derfor af interesse at undersøge, hvor stor betydning ændringer af fjordgrundene har på stormflodsvandstandene i Limfjorden. Ydermere er pejleinformationerne mere sparsomme på fjordgrundene, idet det primært er forholdene i løbene der opmåles. Det er derfor også af interesse at få klarlagt, hvor stor indflydelse en eventuel fejl i fjordgrundenes generelle niveau kan have på de modellerede stormflodsvandstande. Til at belyse dette er der konstrueret tre batymetrier, hvoraf den ene har løftet fjordgrundenes niveau med 0,2 m, mens de to øvrige har sænket niveauerne med henholdsvis 0,2 m og 0,5 m.

De hermed introducerede bundændringer, som er indlagt i modelberegningsnettets batymetri, er vist i Figur 9-28. Tilsvarende er de korresponderende batymetrier vist i Figur 9-29 med kote konturlinjer indlagt.

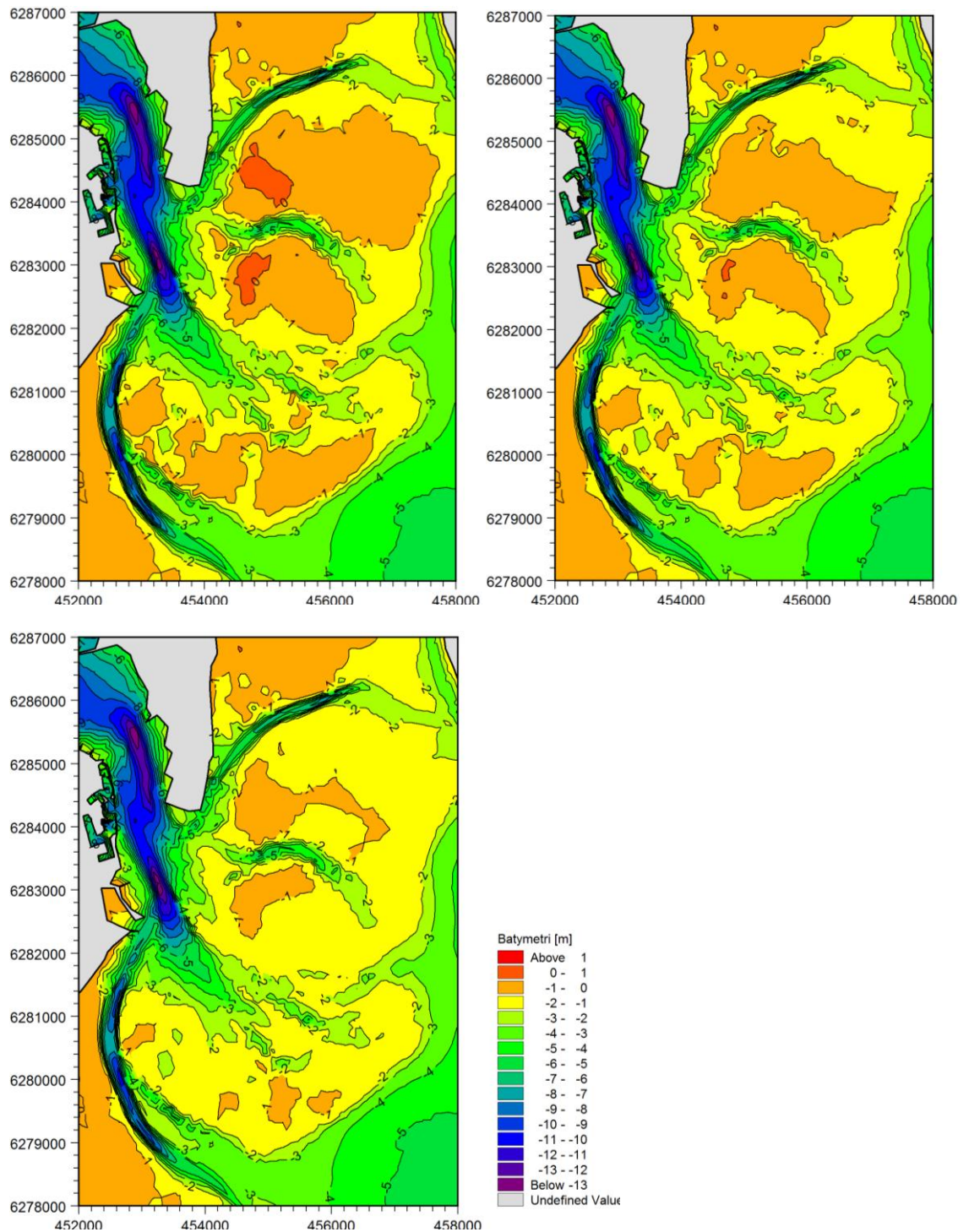
De indlagte bundændringer på fjordgrundene i de tre undersøgte batymetrier er omregnet til ækvivalente aflejnings/erosionsmængder og angivet i Tabel 9-4 nedenfor. Negative værdier i tabellen indikerer aflejring, mens positive værdier er udtryk for erosion.

Tabel 9-4 Indlagte bundændringer på fjordgrundene omregnet til ækvivalente aflejnings/erosionsmængder.

Kote ændring [m]	Ækvivalent erosionsmængde [m ³]
0,2	-2.000.000
-0,2	2.000.000
-0,5	5.000.000



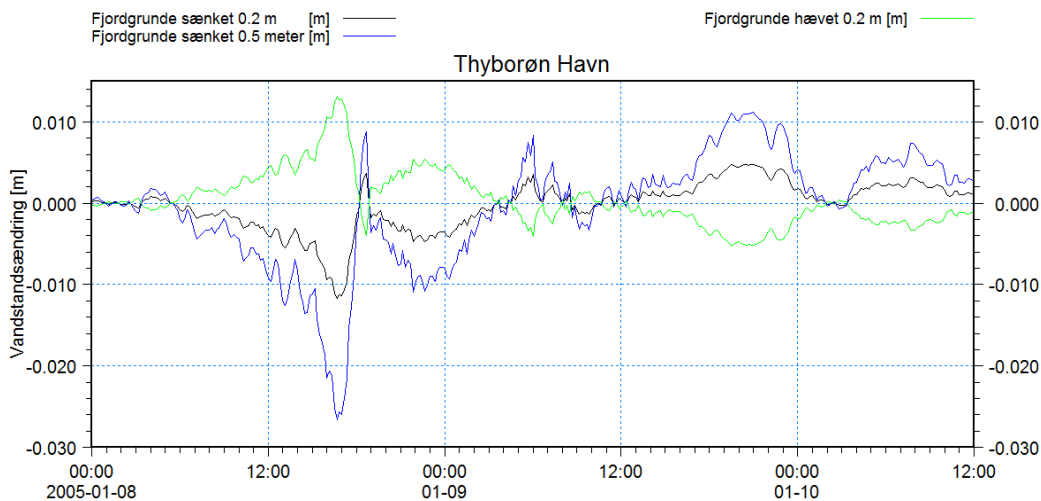
Figur 9-28 Bundændringer på grundene i Nissum Bredning som er anvendt til følsomhedsanalysen. Øverst til venstre: Vanddybder reduceret med 0,2 m. Øverst til højre: Vanddybder forøget med 0,2 m. Nederst til venstre: Vanddybder forøget med 0,5 m.



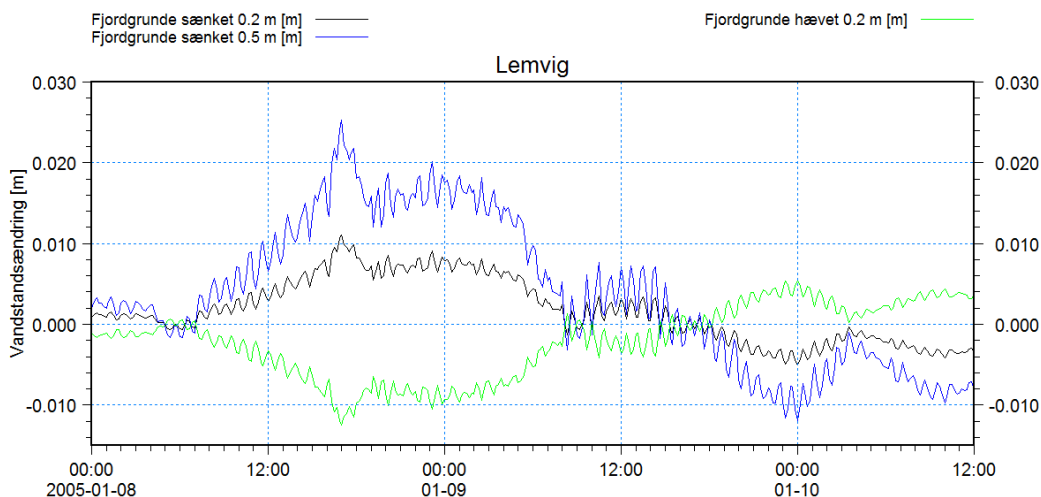
Figur 9-29 Anvendte batymetrier til følsomhedsanalyse af fjordgrundenes betydning for stormflodsniveauet. Øverst til venstre: Vanddybder reduceret med 0,2 m. Øverst til højre: Vanddybder forøget med 0,2 m. Nederst til venstre: Vanddybder forøget med 0,5 m.

9.2.1 Storm 1

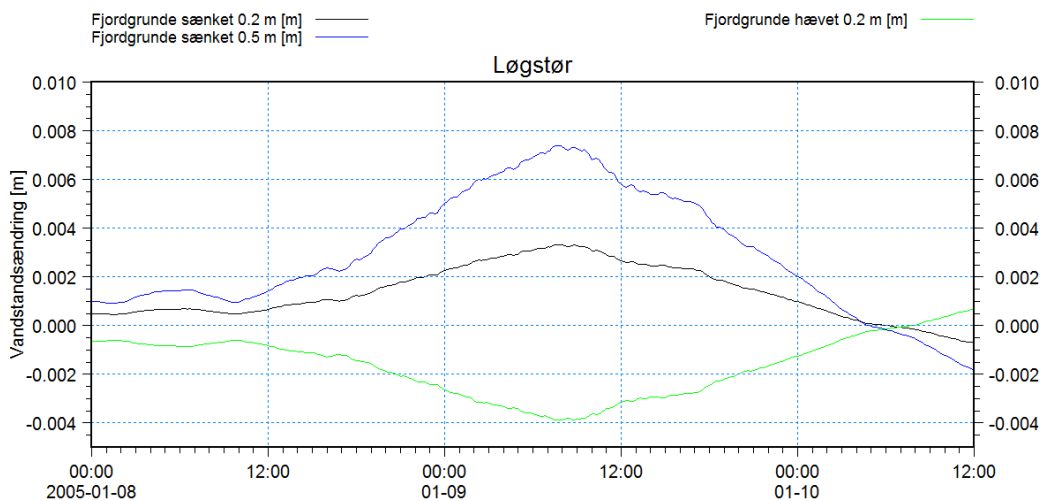
Effekter på vandstandsforløbet under Storm 1 som følge af et ændret fjordgrundsniveau er i det følgende vist for Thyborøn Havn, Lemvig og Løgstør. Det fremgår meget tydeligt, at effekten er meget svag og ubetydelig.



Figur 9-30 Modellerede vandstandsændringer i Thyborøn Havn induceret af ændrede fjordgrunds niveauer.



Figur 9-31 Modellerede vandstandsændringer i Lemvig Havn induceret af ændrede fjordgrunds niveauer.



Figur 9-32 Modellerede vandstandsændringer ved Løgstør forårsaget af ændrede fjordgrunds niveauer.

I Tabel 9-5 er ændringer i ekstremvandstande som følge af ændringer i fjordgrundsni-
veauerne angivet for Storm 1. Af tabellen fremgår det, at niveauet af fjordgrundene kun
influerer meget svagt på ekstremvandstandene i systemet. Effekten i Thyborøn Havn er
modsatrettet de øvrige stationer på grund af beliggenheden vest for fjordgrundene. Den
svage effekt skyldes, at langt størstedelen af vandudvekslingen mellem hav og fjord fin-
der sted via løbene i Nissum Bredning.

Tabel 9-5 Ændringer af ekstremvandstande som følge af ændringer i fjordgrunds niveauerne. Alle værdier er angivet i cm.

Station	Fjordgrunde sænket 20 cm	Fjordgrunde sænket 50 cm	Fjordgrunde hævet 20 cm
Thyborøn Havn	-0,93	-2,12	1,06
Lemvig	0,55	1,22	-0,65
Mors	0,27	0,59	-0,28
Løgstør	0,10	0,23	-0,12
Thisted	0,22	0,47	-0,25
Hvalpsund	0,33	0,74	-0,39
Skive	0,32	0,72	-0,34
Rønbjerg	0,30	0,67	-0,35

9.2.2 Storm 2

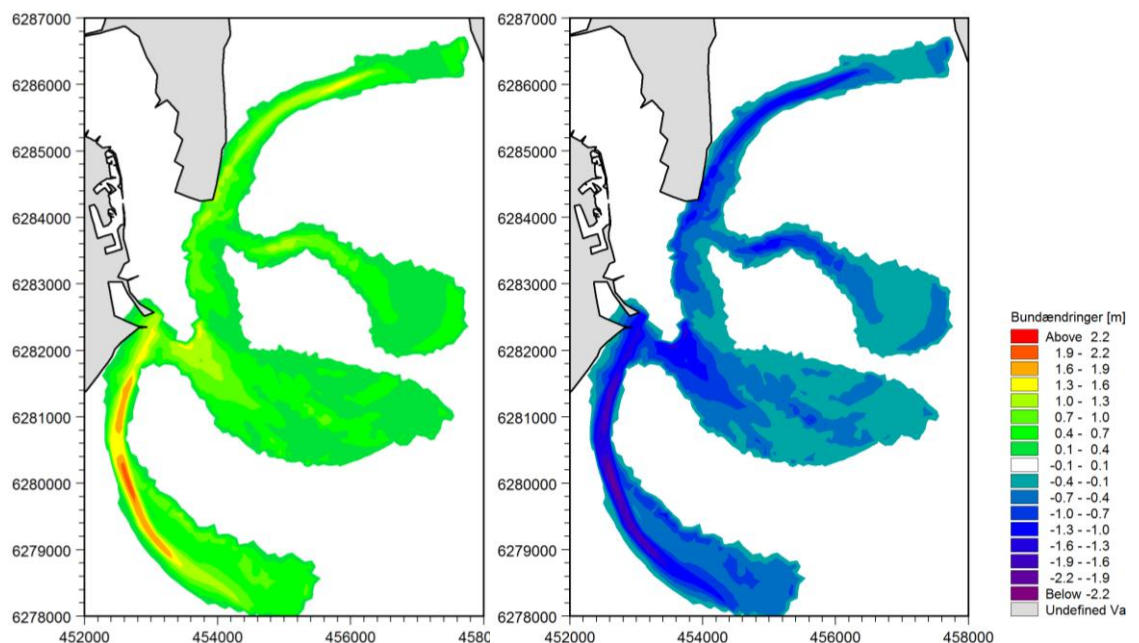
Eftersom at det for Storm 1 er vist, at stormflodsvandstandene ikke influeres af mindre
ændringer i fjordgrunds niveauet, er effekten under Storm 2 kun vist i form af tabelvær-
dierne angivet i Tabel 9-6. Som for Storm 1 ses effekten at være meget svag.

Tabel 9-6 Ændringer af ekstremvandstande som følge af ændringer i fjordgrunds niveauerne. Alle værdier er angivet i cm.

Station	Fjordgrunde sænket 20 cm	Fjordgrunde sænket 50 cm	Fjordgrunde hævet 20 cm
Thyborøn Havn	0,63	1,40	0,06
Lemvig	0,40	0,88	-0,73
Mors	0,33	0,71	-0,39
Løgstør	0,40	0,88	-0,47
Thisted	0,31	0,69	-0,38
Hvalpsund	0,39	0,87	-0,46
Skive	0,41	0,90	-0,48
Rønbjerg	0,38	0,83	-0,44

9.3 Følsomhed for ændring af løbenes dybder i Nissum Bredning

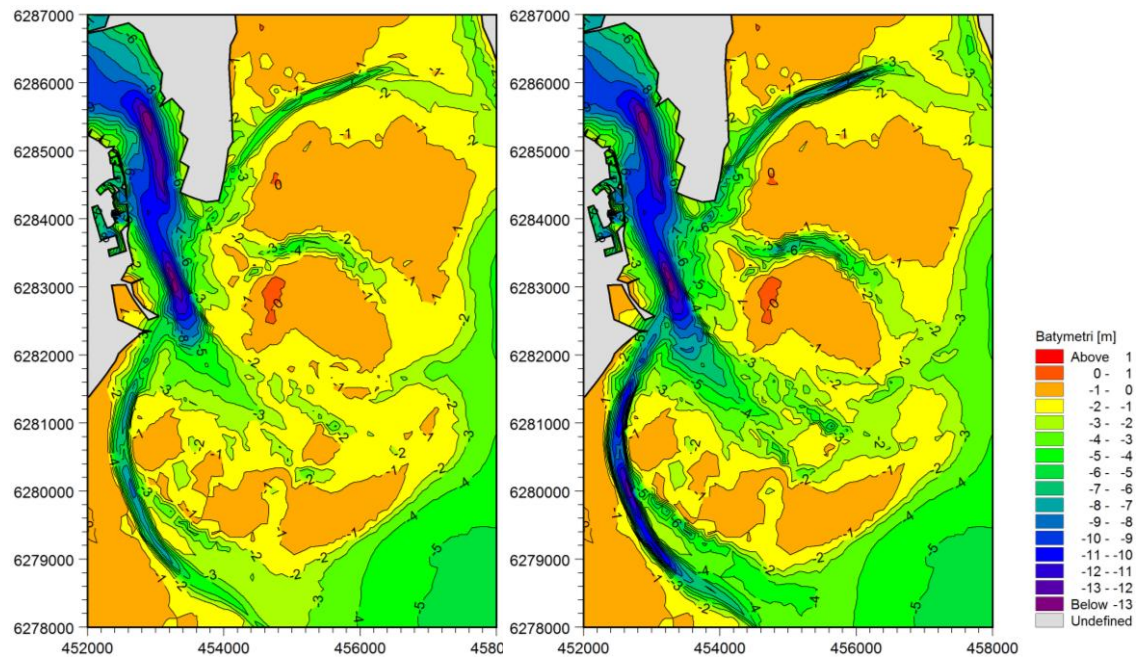
Løbene leder og fordeler det via Thyborøn Kanal indstrømmende vand videre ind i Limfjordssystemet. Endvidere er de vigtige for afdræning af systemet, når udstrømning til Nordsøen finder sted. Det er derfor i følsomhedsanalysen valgt at undersøge løbenes betydning for stormflodsniveauerne. Dette er gjort ved hjælp af to batymetrier med henholdsvis reduceret og forøget vanddybde i løbene. Ændringerne i systemet er introduceret ved at reducere og forøge vanddybderne med 20 % i forhold til 2005 batymetrien. De hermed introducerede bundændringer, som er indlagt i modelberegningsnettets batymetri, er vist i Figur 9-33. Tilsvarende er de to korresponderende batymetrier vist i Figur 9-34.



Figur 9-33 Bundændringer i løbene i Nissum Bredning som er anvendt til følsomhedsanalysen. Til venstre: Vanddybder reduceret med 20 %. Til højre: Vanddybder forøget med 20 %.

De to undersøgte batymetrier med ændrede niveauer i løbene i Nissum Bredning er ækvivalente med følgende aflejnings/erosionsmængder:

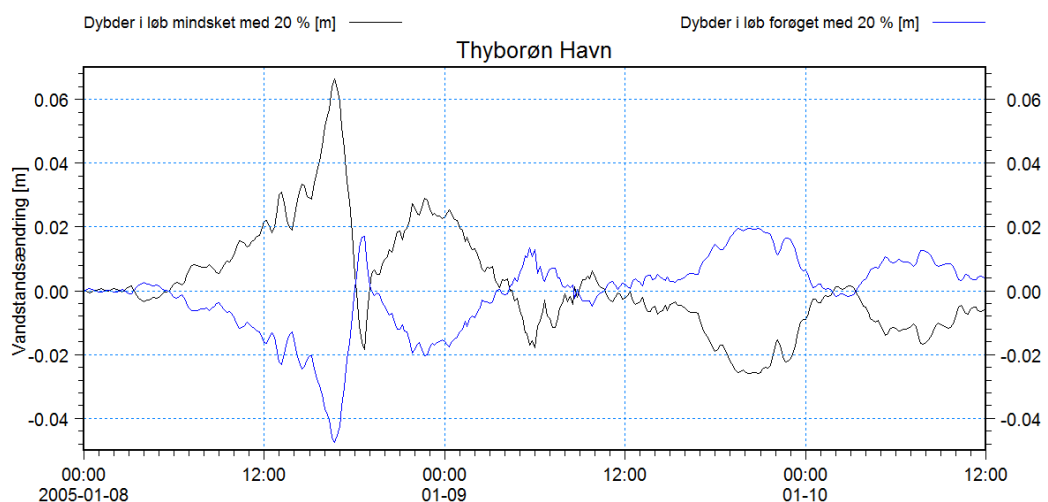
- Dybder mindsket med 20 % i løbene er ækvivalent med aflejring af $8,7 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ bundmateriale.
- Dybder forøget med 20 % i løbene er ækvivalent med erosion af $8,7 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ bundmateriale.



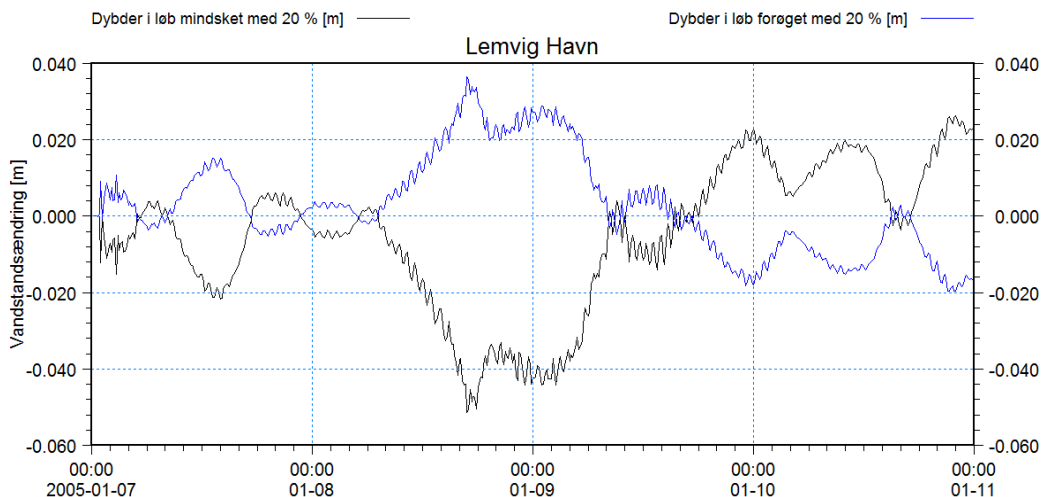
Figur 9-34 Anvendte batymetrier til følsomhedsanalyse af grundenes betydning for stormflodsniveauet. Til venstre: Vanddybder reduceret med 20 %. Til højre: Vanddybder forøget med 20 %.

9.3.1 Storm 1

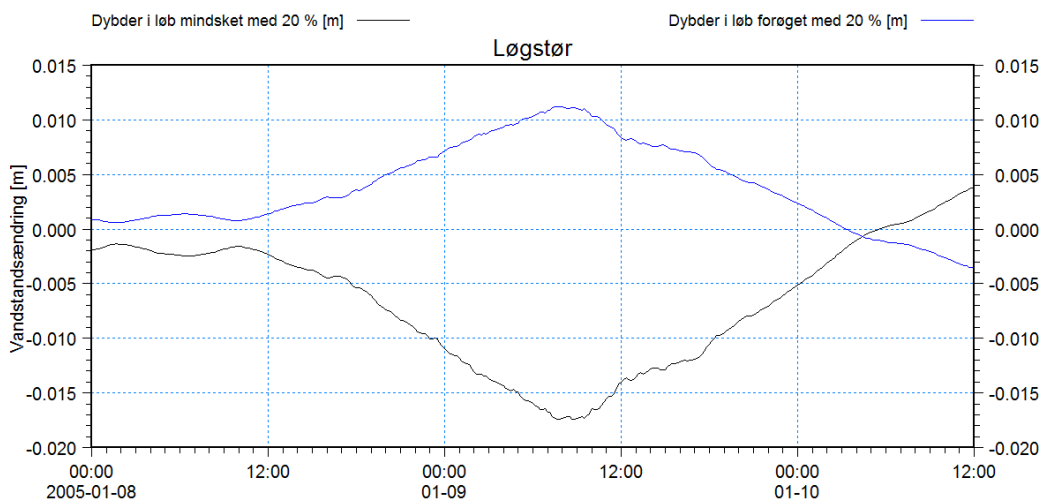
Effekten af ændrede dybder i løbene på vandstandene under Storm 1 er vist i de følgende fire figurer for Thyborøn Havn, Lemvig, Løgstør og Skive. Det ses, at systemet bliver mindre dynamisk, når vanddybderne reduceres, hvilket giver sig udslag i at maksimalvandstandene bliver lidt mindre, men ligeledes afdræner langsommere. Effekten på vandstandene i Thyborøn Havn er modsat de tre øvrige stationer, hvilket hænger sammen med, at havnen ligger vest for løbene, mens de øvrige stationer ligger øst for inde i fjorden.



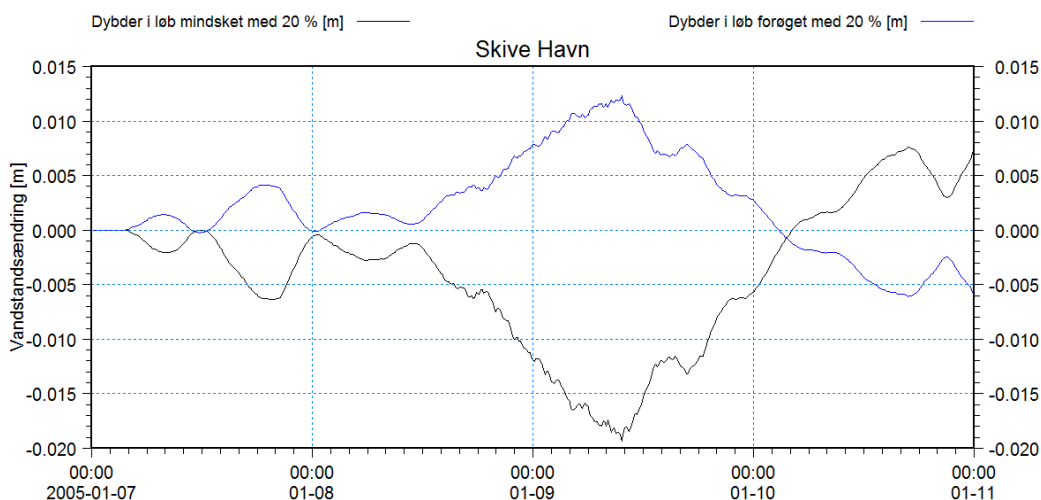
Figur 9-35 Modellerede vandstandsændringer i Thyborøn Havn forårsaget af ændrede dybder i løbene i Nissum Bredning.



Figur 9-36 Modellerede vandstandsændringer i Lemvig Havn forårsaget af ændrede dybder i løbene i Nissum Bredning.



Figur 9-37 Modellerede vandstandsændringer ved Løgstør forårsaget af ændrede dybder i løbene i Nissum Bredning.



Figur 9-38 Modellerede vandstandsændringer i Skive Havn forårsaget af ændrede dybder i løbene i Nissum Bredning.



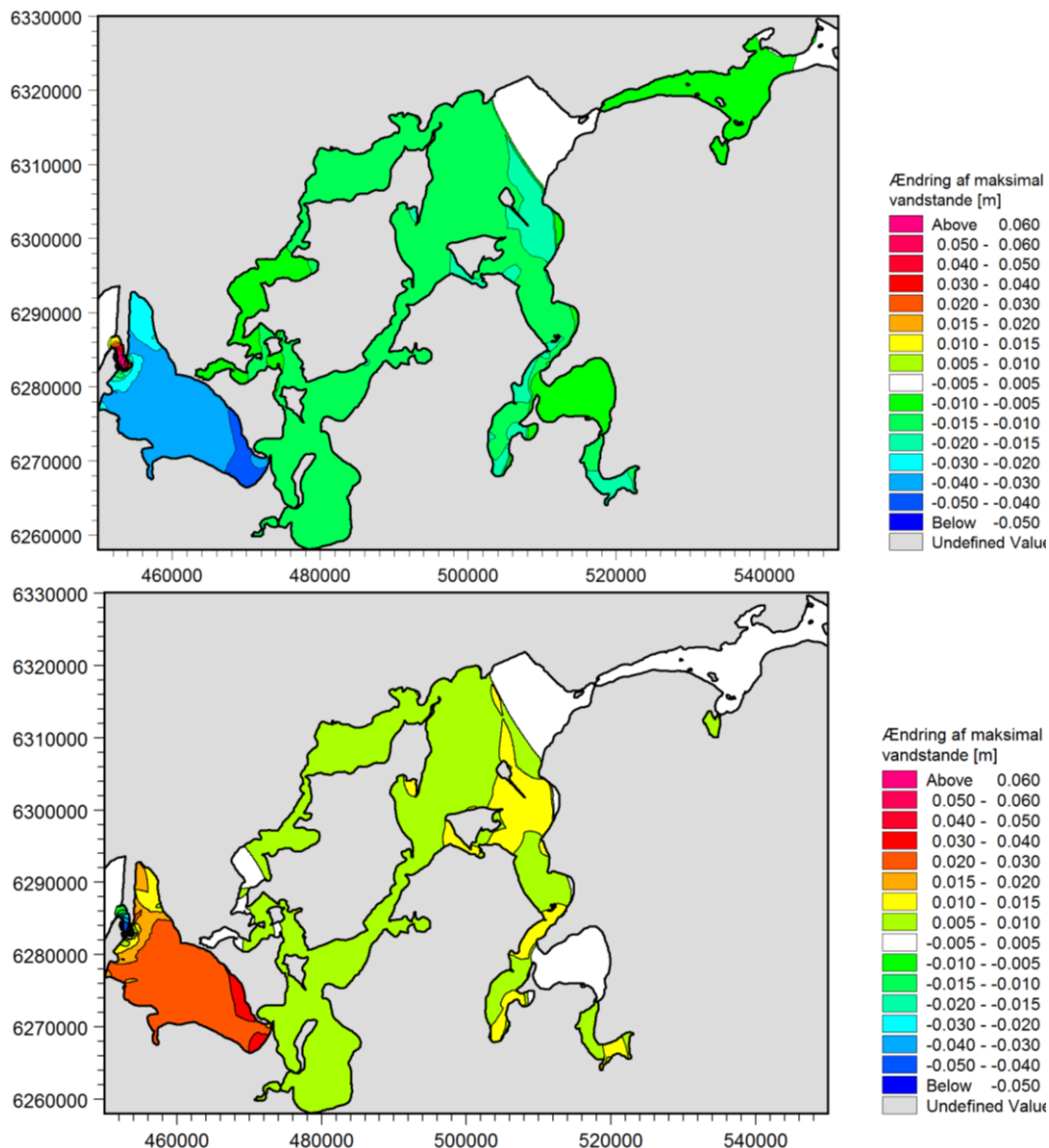
I Tabel 9-7 er der angivet en sammenligning af ændringer af ekstremvandstande under forløbet af Storm 1 som følge af ændrede dybder i løbene i Nissum Bredning. Bemærk at ændringen i ekstremvandstand ikke nødvendigvis er identisk med den størst forekommende ændring af vandstand (jf. Figur 9-35 - Figur 9-38).

Tabel 9-7 Ændringer af ekstremvandstande som følge af ændrede dybder i løbene i Nissum Bredning. Alle værdier er angivet i cm.

Station	Vanddybde i løb i Nissum Bredning mindsket med 20 %	Vanddybde i løb i Nissum Bredning forøget med 20 %
Thyborøn Havn	5,76	-4,02
Lemvig	-3,36	2,09
Mors	-1,20	0,85
Løgstør	-0,44	0,29
Thisted	-1,08	0,64
Hvalpsund	-0,91	1,12
Skive	-1,53	1,09
Rønbjerg	-1,05	0,99
Ålborg	-0,23	0,15

Ændring i løbenes dybde ses at have noget effekt på stormflodsniveauerne. Effekten i Thyborøn Havn er modsat rettet i forhold til de øvrige stationer, da den befinder sig vest for løbene. Størst effekt finder sted i Nissum Bredning, mens effekten øst for Oddesund er noget mere beskedent.

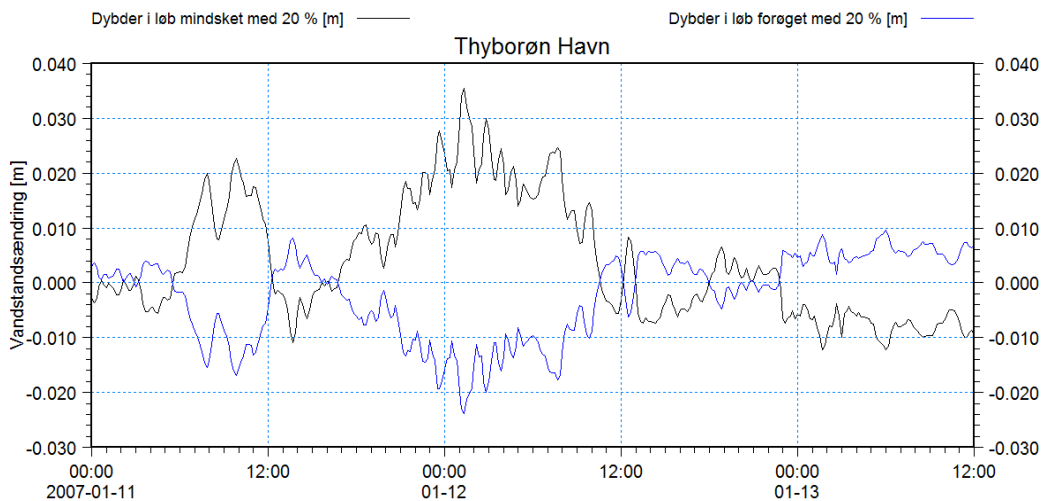
I Figur 9-39 er der vist konturplot af ændring i maksimalvandstanden for hver af de to undersøgte batymetrier. Det ses, at der ikke er nogen effekt i Løgstør Bredning og Lovns Bredning, idet den kraftige vindstuvning finder sted, før de fra Nordsøen indtrængende vandmængder er nået frem. I de dele hvor vindstuvningen er mindre betydende, ses effekten af den ændrede indstrømning til gengæld i form af en relativ konstant effekt indenfor hvert enkelt bassin.



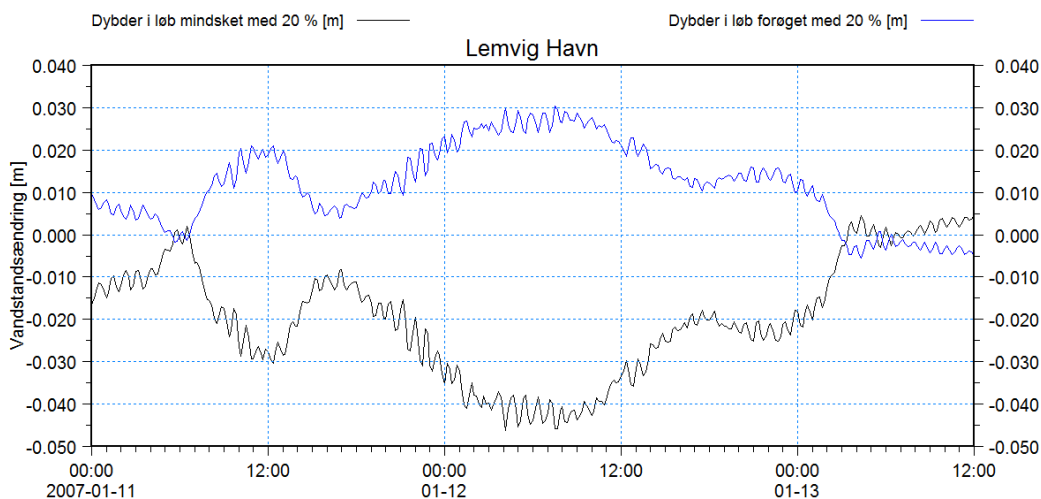
Figur 9-39 Maksimal vandstandenes følsomhed for ændringer af dybden i løbene i Nissum Bredning. Øverst: Vanddybder reduceret med 20 %. Nederst: Vanddybder forøget med 20 %.

9.3.2 Storm 2

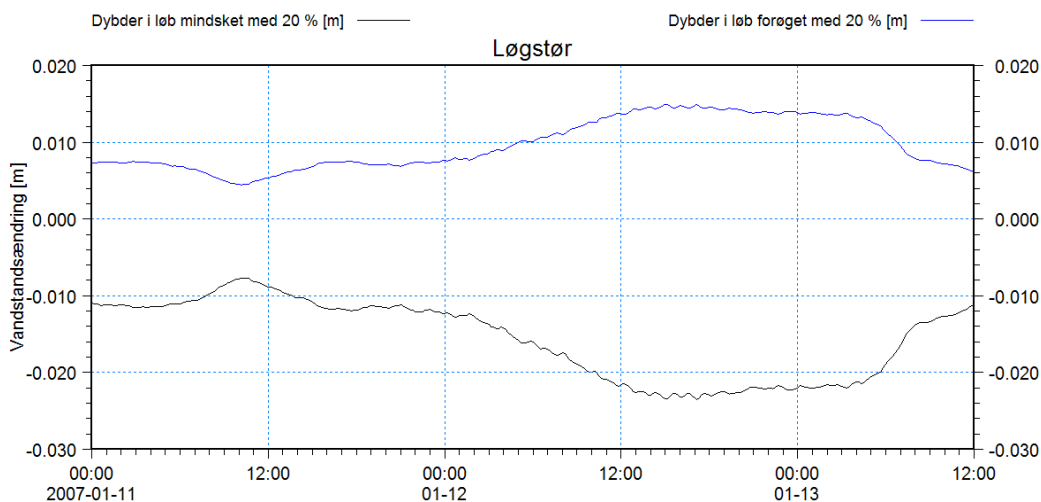
Effekten af ændrede dybder i løbene på vandstandene under Storm 2 er vist i de følgende fire figurer for Thyborøn Havn, Lemvig, Løgstør og Skive. Det ses, at effekten i Thyborøn Havn igen er modsat rettet i forhold til de øvrige stationer. Effekten på vandstandene i det centrale bassin er lidt kraftigere, end hvad der blev fundet for Storm 1, men forsat meget moderate.



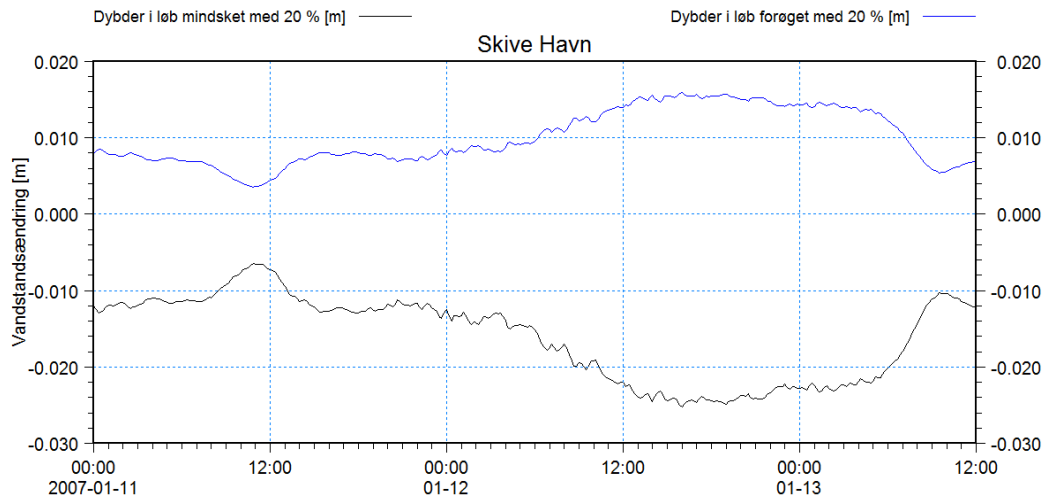
Figur 9-40 Modellerede vandstandsændringer i Thyborøn Havn forårsaget af ændrede dybder i løbene i Nissum Bredning.



Figur 9-41 Modellerede vandstandsændringer i Lemvig Havn forårsaget af ændrede dybder i løbene i Nissum Bredning.



Figur 9-42 Modellerede vandstandsændringer ved Løgstør forårsaget af ændrede dybder i løbene i Nissum Bredning.



Figur 9-43 Modellerede vandstandsændringer i Skive Havn forårsaget af ændrede dybder i løbene i Nissum Bredning.

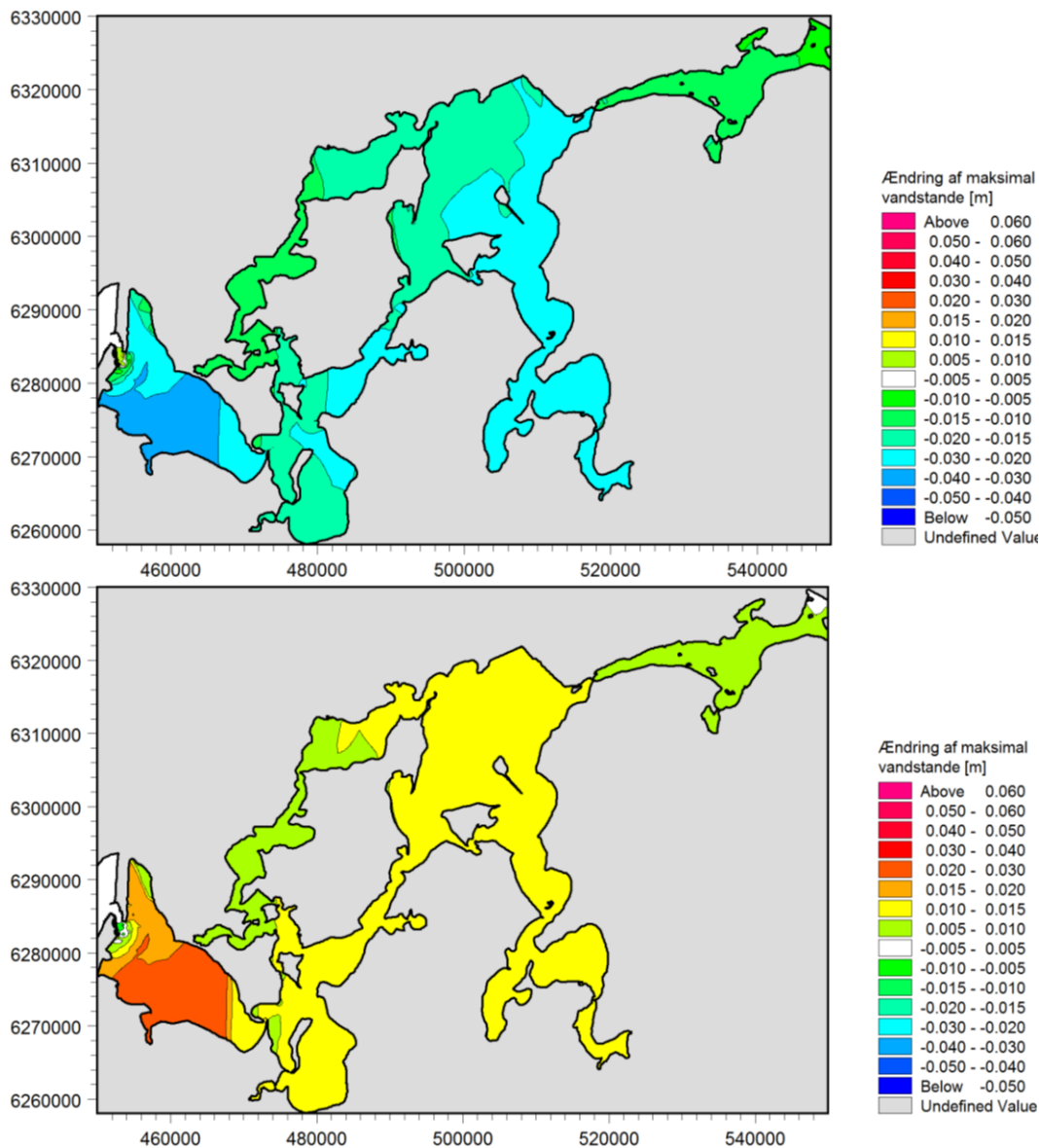
I Tabel 9-8 er der angivet en sammenligning af ændringer af ekstremvandstande under forløbet af Storm 2 som følge af ændrede dybder i løbene i Nissum Bredning.

Tabel 9-8 Ændringer af ekstremvandstande som følge af ændrede dybder i løbene i Nissum Bredning. Alle værdier er angivet i cm.

Station	Vanddybde i løb i Nissum Bredning mindsket med 20 %	Vanddybde i løb i Nissum Bredning forøget med 20 %
Thyborøn Havn	0,58	-0,42
Lemvig	-3,33	2,29
Mors	-1,79	1,05
Løgstør	-2,17	1,37
Thisted	-1,72	1,00
Hvalpsund	-2,14	1,33
Skive	-2,23	1,39
Rønbjerg	-2,06	1,26
Ålborg	-0,47	0,29

Igen ses ændring i løbenes dybde at have lille effekt på stormflodsniveauerne. Størst effekt finder sted i Nissum Bredning, hvor vandstanden ændres med 2-3 cm, mens effekten øst for Oddesund er reduceret til 1-2 cm.

I Figur 9-44 er der vist konturplot af ændring i maksimalvandstanden for hver af de to undersøgte batymetrier. Det ses, at en reduktion af dybderne har større effekt end en tilsvarende forøgelse, som følge af en ikke-lineær effekt.



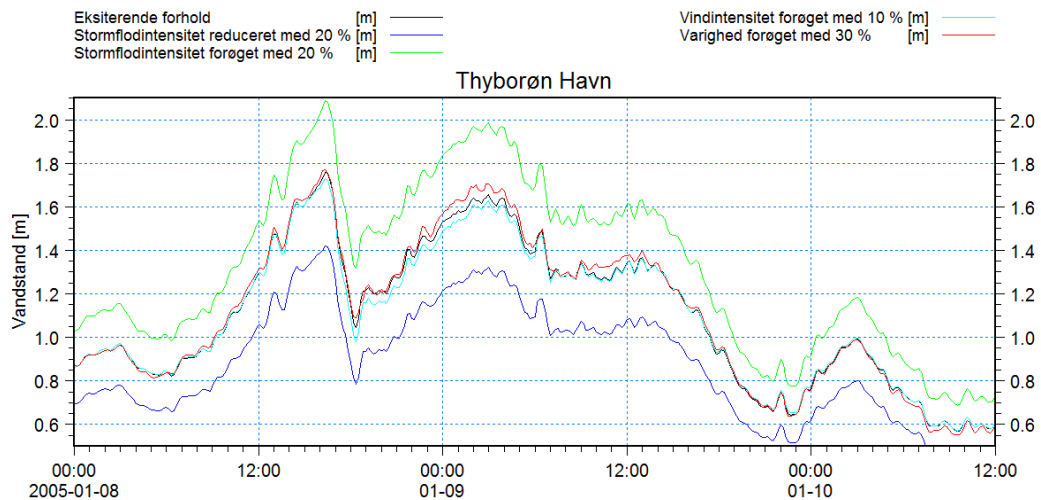
Figur 9-44 Maksimal vandstandenes følsomhed for ændringer af dybden i løbene i Nissum Bredning. Øverst: Vanddybder reduceret med 20 %. Nederst: Vanddybder forøget med 20 %.

9.4 Følsomhed for ændringer i stormflodsintensitet

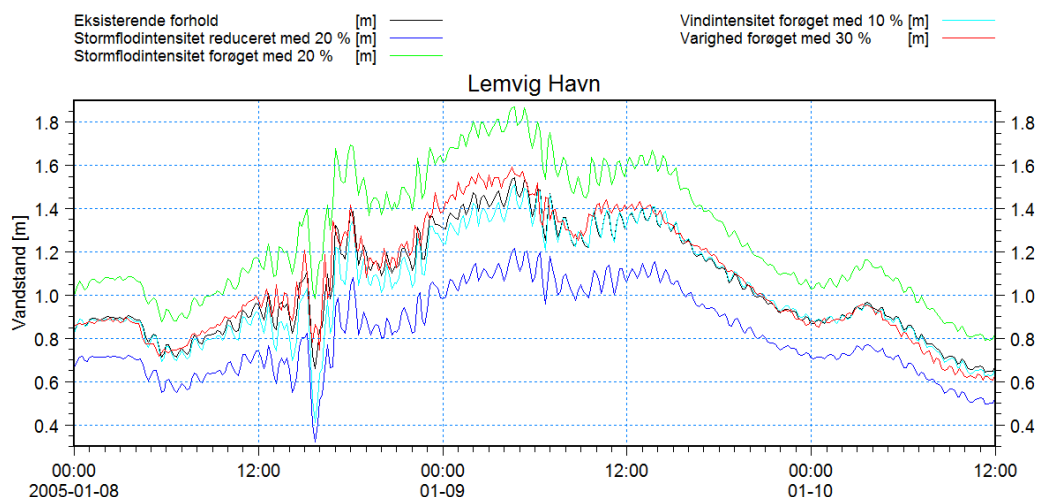
Som en konsekvens af den globale opvarmning forventes det, at storme vil komme til at optræde mere hyppigt og med kraftigere intensitet. I et forsøg på at belyse konsekvenserne af dette er der udført en række følsomhedstest, hvor stormflodsintensiteten (vandstanden på de drivende modelrande) er ændret med +/-20 %, vindintensiteten er forøget med 10 %, og stormenes varighed er forøget med 30 %. Forøgelse af stormenes varighed er i praksis gjort ved at tidsskridtet i vandstandstidsserierne og vindtidsserien ændres fra 10 minutter til 13 minutter. For at kunne sammenligne effekten med de øvrige hændelser er de udtrukne vandstande tilbageskaleret fra et 13 minutters tidsskridt til et 10 minutters tidsskridt.

9.4.1 Storm 1

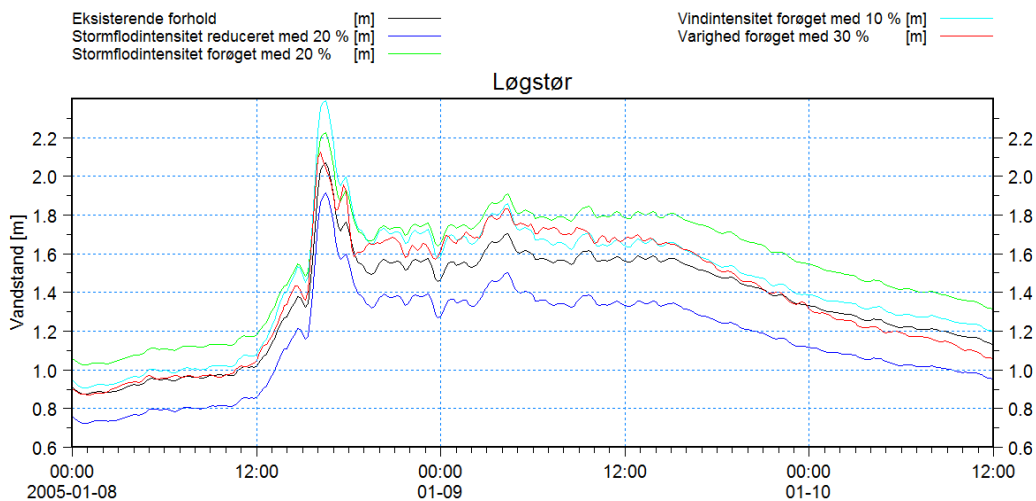
Effekten af en ændret stormintensitet på vandstandene under forløbet af Storm 1 er vist i de følgende figurer for stationerne: Thyborøn Havn, Lemvig, Løgstør, Skive, Thisted og Ålborg. Det ses, at en generel procentvis forøgelse eller reduktion af vandstanden på randen slår direkte igennem på stormflodsniveauerne i hele systemet. En forøget vindintensitet er af stor betydning for maksimalvandstanden ved Løgstør, mens den for de øvrige viste stationer ikke er af afgørende betydning. I Lemvig falder maksimalvandstanden en anelse som følge af, at vandet stuver kraftigere op ved Oddesund. En forøget varighed af hændelsen fører til forøgede vandstande i hele området som følge af, at hændelsen finder sted over længere tid, men også bliver dæmpet af at vandstandene på de drivende rande varierer langsommere.



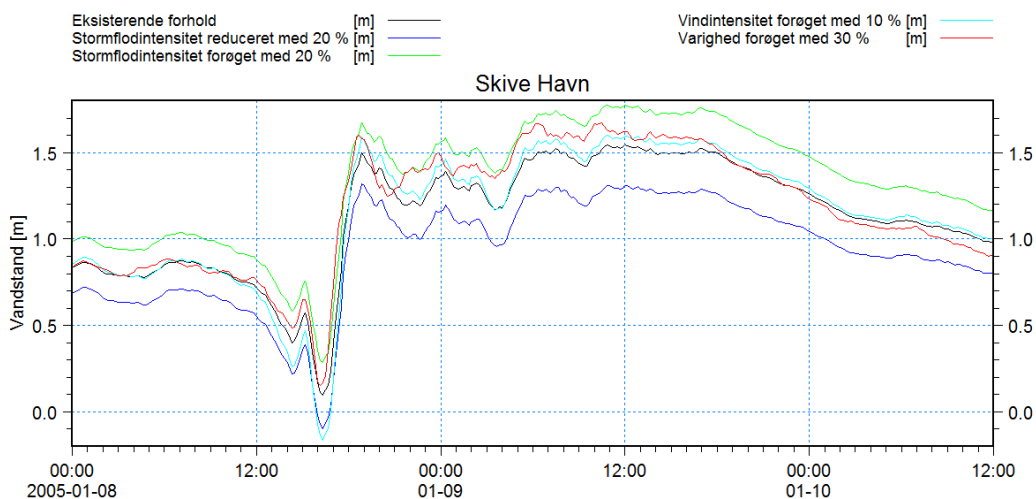
Figur 9-45 Sammenligning af modellerede vandstande i Thyborøn Havn som følge af ændringer i stormflodsintensitet.



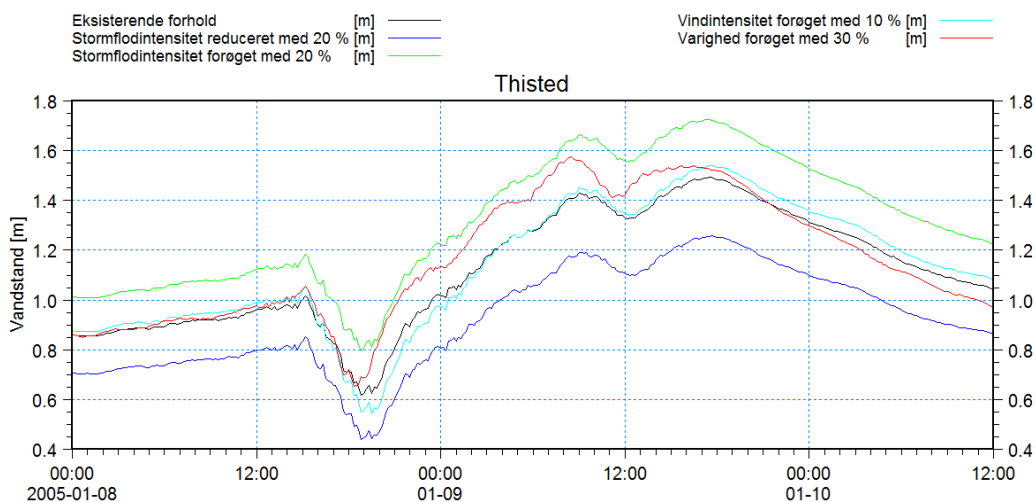
Figur 9-46 Sammenligning af modellerede vandstande i Lemvig Havn som følge af ændringer i stormflodsintensitet.



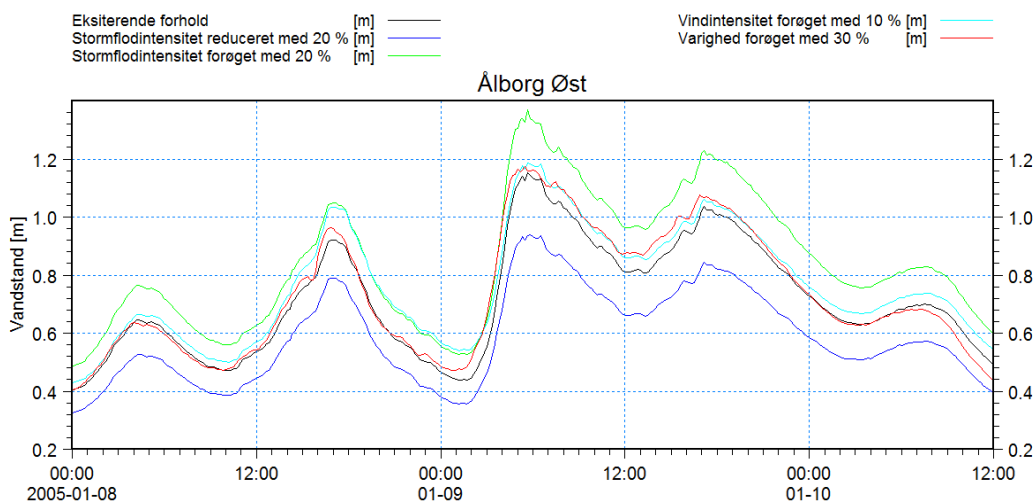
Figur 9-47 Sammenligning af modellerede vandstande ved Løgstør som følge af ændringer i stormflodsintensitet.



Figur 9-48 Sammenligning af modellerede vandstande i Skive Havn som følge af ændringer i stormflodsintensitet.



Figur 9-49 Sammenligning af modellerede vandstande i Thisted som følge af ændringer i stormflodsintensitet.



Figur 9-50 Sammenligning af modellerede vandstande i Ålborg Øst som følge af ændringer i stormflodsintensitet.

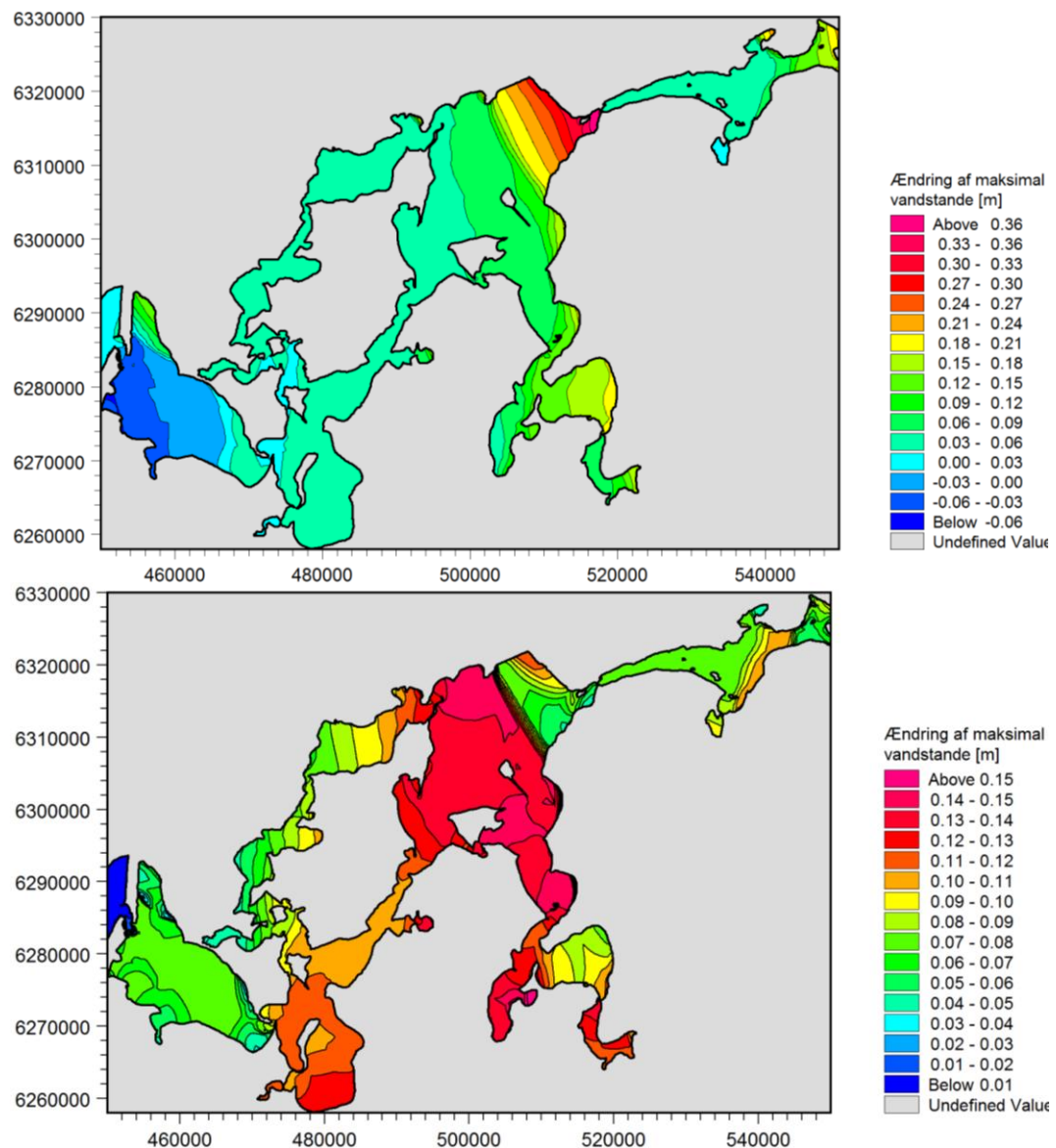
I Tabel 9-9 er ændringerne af maksimalvandstanden som følge af en ændret stormintensitet under Storm 1 angivet for en række stationer i Limfjorden. Det ses, at en forøgelse af varigheden influerer kraftigst på stationerne i den centrale del som følge af, at der går længere tid, før der finder en udstrømning fra Nissum Bredning til Nordsøen sted. En forøgelse af vindhastigheden resulterer i faldende maksimalvandstand i Thyborøn Havn og Lemvig som følge af, at havvandstanden er uforandret, og vandet støver kraftigere op ved Oddesund. I de øvrige stationer forøges maksimalvandstanden med 5-32 cm, men mest markant ved Løgstør, Rønbjerg og Hvalpsund.

Tabel 9-9 Ændringer af ekstremvandstande som følge af ændret stormflodsintensitet. Alle værdier er angivet i cm.

Station	20 % forøgelse af vandstande	20 % reduktion af vandstande	30 % forøgelse af varighed	10 % forøgelse af vindhastighed
Thyborøn Havn	32,9	-33,7	1,32	-2,71
Lemvig	32,6	-32,6	5,05	-3,48
Mors	23,3	-23,3	12,1	4,97
Løgstør	15,5	-15,7	5,75	32,1
Thisted	23,2	-23,2	8,39	4,72
Hvalpsund	21,8	-17,7	12,6	13,0
Skive	23,2	-22,3	13,3	5,67
Rønbjerg	20,6	-16,7	13,2	17,4

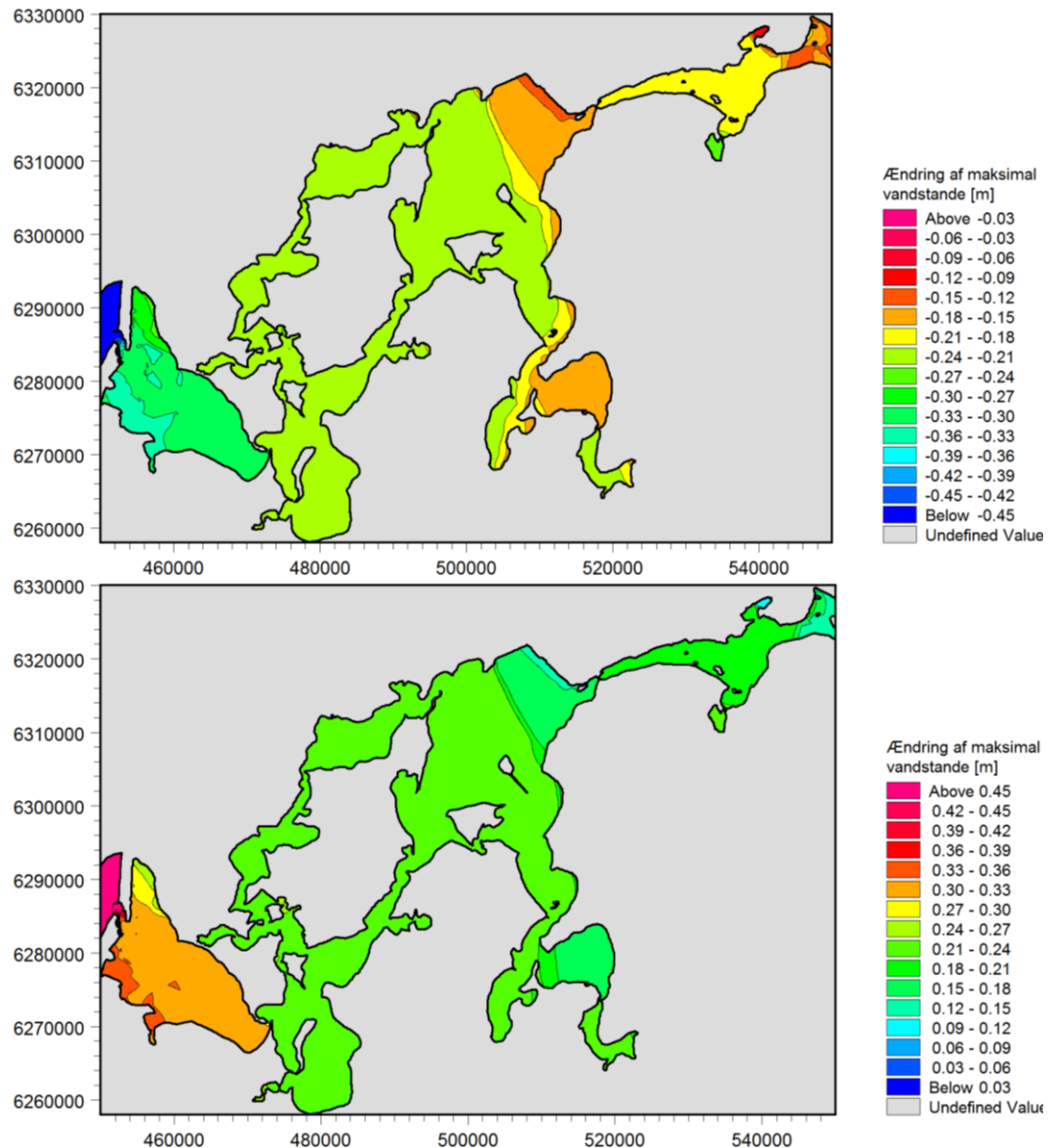
I Figur 9-51 er der vist konturplot af ændringer i maksimalvandstanden under Storm 1 med en forøget vindhastighed på 10 % og forøgelse af varigheden på 30 %. Det ses, at den forøgede vind reducerer maksimalvandstanden i Nissum Bredning, på nær i områderne ved Vestervig og Oddesund. I området øst for Oddesund er effekten af størrelsesordenen 5 cm, mens den længere mod øst stiger til over 30 cm i Løgstør Bredning. Den

forøgede varighed slår kraftigst igennem i den centrale del, hvor vandstanden forøges med over 10 cm, og mindst i Nissum Bredning hvor effekten er omkring 5 cm.



Figur 9-51 Maksimal vandstandenes følsomhed for ændringer af stormintensitet. Øverst: Vindhastigheder forøget med 10 %. Nederst: Varighed af stormforløbet forøget med 30 %.

I Figur 9-52 er der vist konturplot af ændringer i maksimalvandstanden under Storm 1 med en reduceret og forøget stormflodsintensitet på 20 %. Det ses, at maksimalvandstandene falder markant i hele området for tilfældet med en 20 % reduktion af de drivende vandstande, hvilket er en helt naturlig konsekvens af, at middelvandstanden under hele forløbet er væsentligt reduceret. Tilsvarende ser man det modsatte for tilfældet med en 20 % forøgelse af de drivende vandstande.



Figur 9-52 Maksimal vandstandenes følsomhed for ændringer af havets stormflodsintensitet. Øverst: Drivende stormflodsvandstande mindsket med 20 %. Nederst: Drivende stormflodsvandstande forøget med 20 %.

9.4.2 Storm 2

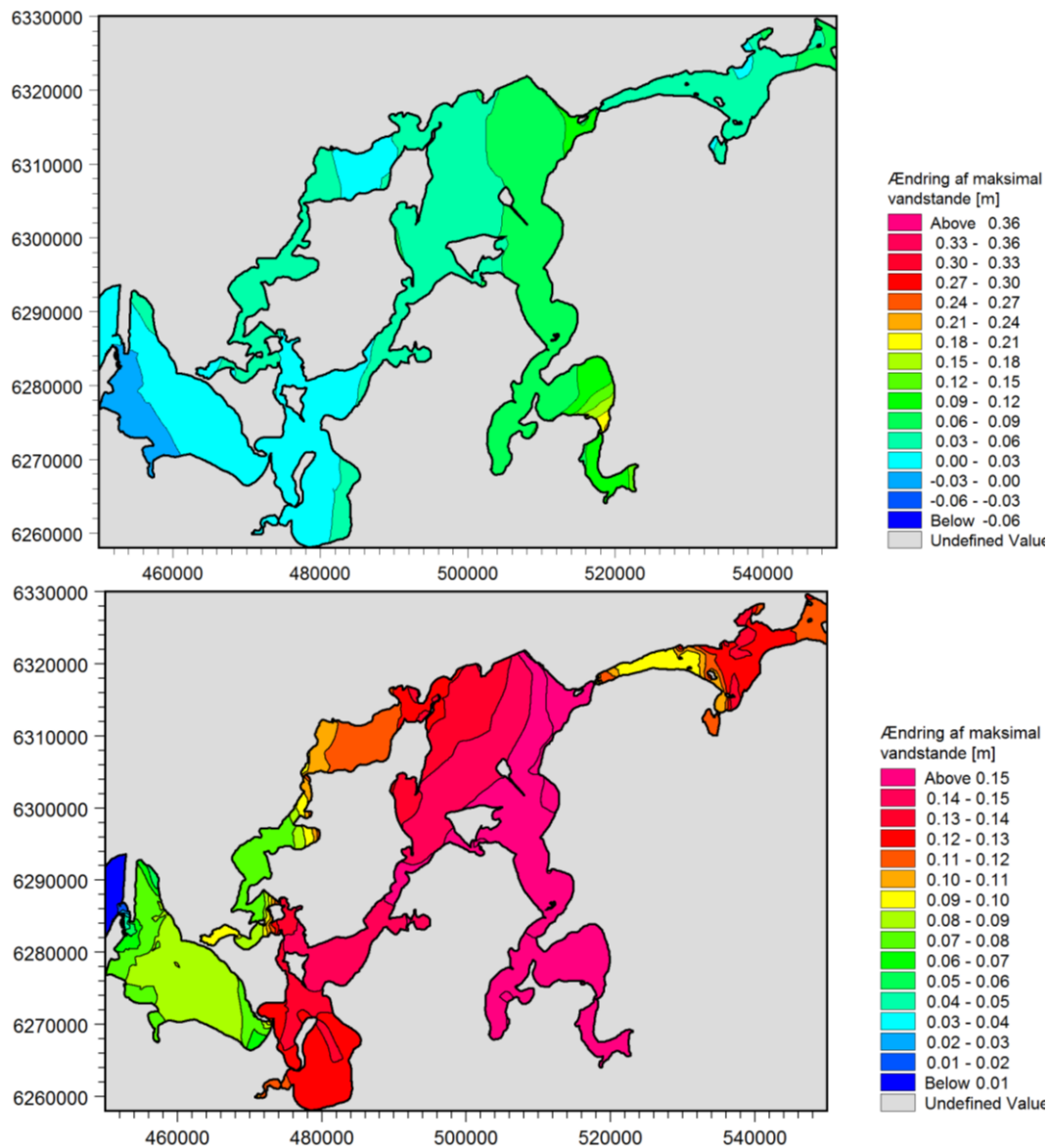
I Tabel 9-10 er ændringerne af maksimalvandstanden som følge af en ændret stormintensitet under Storm 2 angivet for en række stationer i Limfjorden. Det ses i lighed med Storm 1, at en forøgelse af varigheden influerer kraftigst på stationerne i den centrale del som følge af, at der går længere tid, før der finder en udstrømning fra Nissum Bredning til Nordsøen sted. En forøgelse af vindhastigheden resulterer ligeledes i faldende maksimalvandstand i Thyborøn Havn og Lemvig som følge af, at havvandstanden er uforandret, og vandet stuver kraftigere op ved Oddesund. I de øvrige stationer forøges maksimalvandstanden med 5-10 cm.

Tabel 9-10 Ændringer af ekstremvandstande som følge af ændret stormflodsintensitet. Alle værdier er angivet i cm.

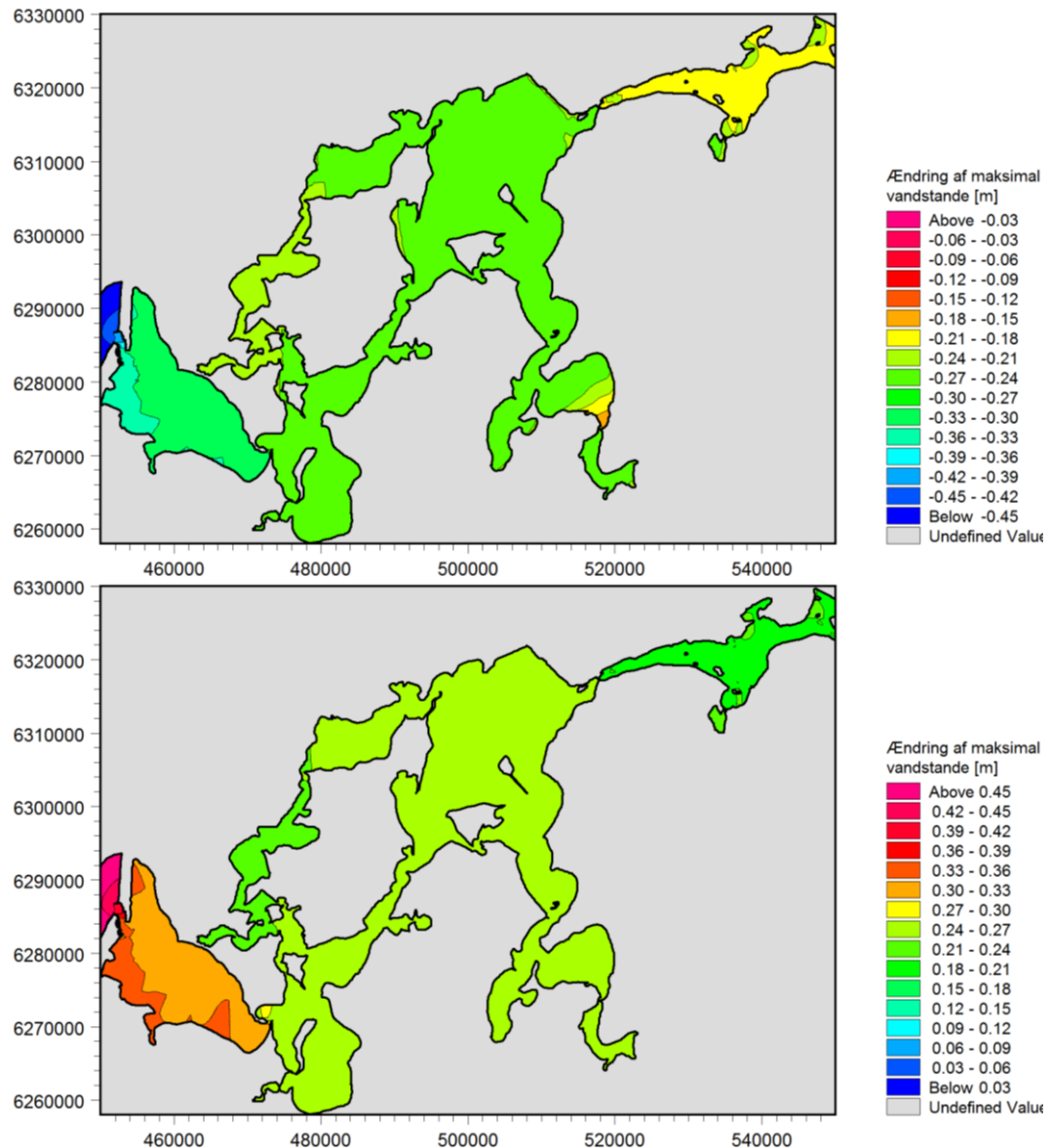
Station	20 % forøgelse af vandstande	20 % reduktion af vandstande	30 % forøgelse af varighed	10 % forøgelse af vindhastighed
Thyborøn Havn	35,0	-35,4	4,54	-0,25
Lemvig	33,6	-32,9	8,00	-1,14
Mors	24,7	-24,7	14,6	4,49
Løgstør	24,6	-24,3	16,8	9,66
Thisted	24,7	-24,8	10,9	2,97
Hvalpsund	24,8	-25,0	15,3	7,63
Skive	25,3	-25,4	16,6	6,35
Rønbjerg	24,9	-25,0	16,1	7,06

I Figur 9-53 er der vist konturplot af ændringer i maksimalvandstanden under Storm 2 med en forøget vindhastighed på 10 % og forøgelse af varigheden på 30 %. Det ses, at den forøgede vind reducerer maksimalvandstanden i en lille del af Nissum Bredning. I området øst for Odde Sund er effekten meget svag, mens den længere mod øst stiger til omkring 8 cm. Den kraftigste effekt kan observeres ved Virksund i Lovns Bredning. Den forøgede varighed slår kraftigst igennem i den centrale del, hvor vandstanden forøges med 10-17 cm, og mindst i Nissum Bredning hvor effekten er omkring 5-8 cm.

I Figur 9-54 er der vist konturplot af ændringer i maksimalvandstanden under Storm 2 med en reduceret og forøget stormflodsintensitet på 20 %. Det ses i lighed med Storm 1, at maksimalvandstandene falder markant i hele området for tilfældet med en 20 % reduktion af de drivende vandstande, hvilket er en helt naturlig konsekvens af, at middelvandstanden under hele forløbet er væsentligt reduceret. Tilsvarende ser man det modsatte for tilfældet med en 20 % forøgelse af de drivende vandstande.



Figur 9-53 Maksimal vandstandenes følsomhed for ændringer af stormintensitet. Øverst: Vindhastigheder forøget med 10 %. Nederst: Varighed af stormforløbet forøget med 30 %.



Figur 9-54 Maksimal vandstandenes følsomhed for ændringer af havets stormflodsintensitet. Øverst: Drivende stormflodsvandstande mindsket med 20 %. Nederst: Drivende stormflodsvandstande forøget med 20 %.

9.5 Følsomhed for ændringer af middelvandstand

Den globale opvarmning ventes at føre til en signifikant forøget middelvandstand inden for dette århundrede. Det er derfor af interesse at få undersøgt en ændret middelvandstands betydning for stormflodsniveauerne i Limfjorden. Dette er gjort ved at forøge middelvandstands niveauet med henholdsvis 0,25 m, 0,5 m og 1 m under forløbet af Storm 1 og Storm 2.

9.5.1 Storm 1

Resultatet af disse simuleringer for Storm 1 er angivet i Tabel 9-11, som indeholder ændringer af maksimalvandstanden korrigeret for ændringen i middelvandstanden. Heraf ses, at effekten vil være svagt reduceret i Thyborøn Havn, Løgstør og Thisted, mens den i de øvrige stationer vil være svagt forøget. Forøgelserne må dog siges at være små og

udgøre mindre end 4 % set i forhold til de påtrykte ændringer i middelvandstand, med undtagelse af Lemvig, hvor effekten er mellem 6-8 %.

Tabel 9-11 Ændringer af ekstremvandstande som følge af ændret middelvandstand. Alle værdier er angivet i cm og korrigeret for effekten af den forøgede middelvandstand.

Station	Vandstand øget med 0,25 m	Vandstand øget med 0,50 m	Vandstand øget med 1,00 m
Thyborøn Havn	-2,87	-5,11	-7,91
Lemvig	1,82	3,59	5,73
Mors	0,13	0,34	1,12
Løgstør	-2,08	-3,93	-6,94
Thisted	-0,14	-0,24	-0,45
Hvalpsund	0,55	0,69	1,20
Skive	0,65	1,04	1,65
Rønbjerg	0,23	0,41	0,53
Ålborg	1,39	2,18	2,78

9.5.2 Storm 2

De tilsvarende ændringer fundet for Storm 2 er angivet i Tabel 9-12. Denne storm adskiller sig fra Storm 1 ved, at maksimalvandstanden vil være svagt forøget ud over ændringen i alle stationer med 3-9 % på nær i Thyborøn Havn, hvor effekten er tæt på nul.

Tabel 9-12 Ændringer af ekstremvandstande som følge af ændret middelvandstand. Alle værdier er angivet i cm og korrigeret for effekten af den forøgede middelvandstand.

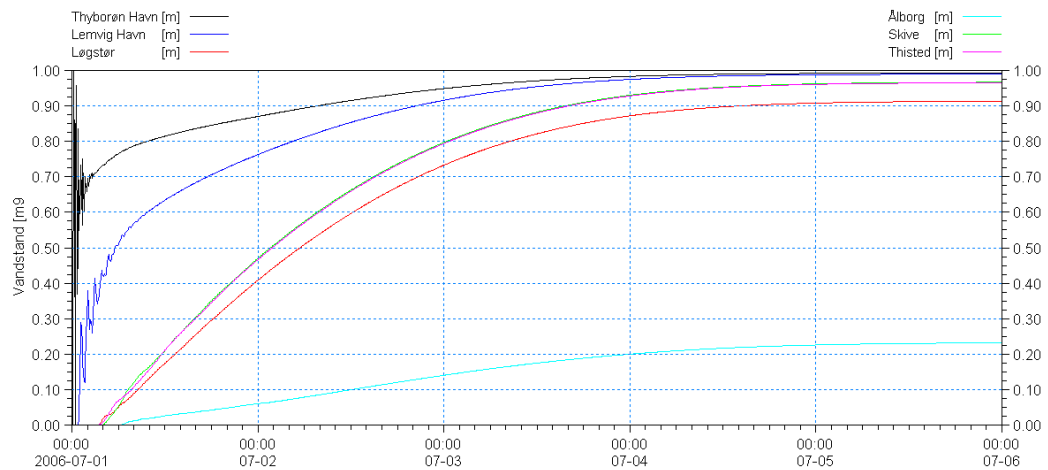
Station	Vandstand øget med 0,25 m	Vandstand øget med 0,50 m	Vandstand øget med 1,00 m
Thyborøn Havn	0,08	0,18	-0,02
Lemvig	2,34	3,28	5,44
Mors	1,10	2,35	4,41
Løgstør	1,49	2,77	4,86
Thisted	0,98	1,87	3,68
Hvalpsund	0,93	1,72	3,39
Skive	1,56	2,80	5,01
Rønbjerg	1,14	2,29	3,88
Ålborg	2,31	4,11	6,92

9.6 Impulsudbredelse

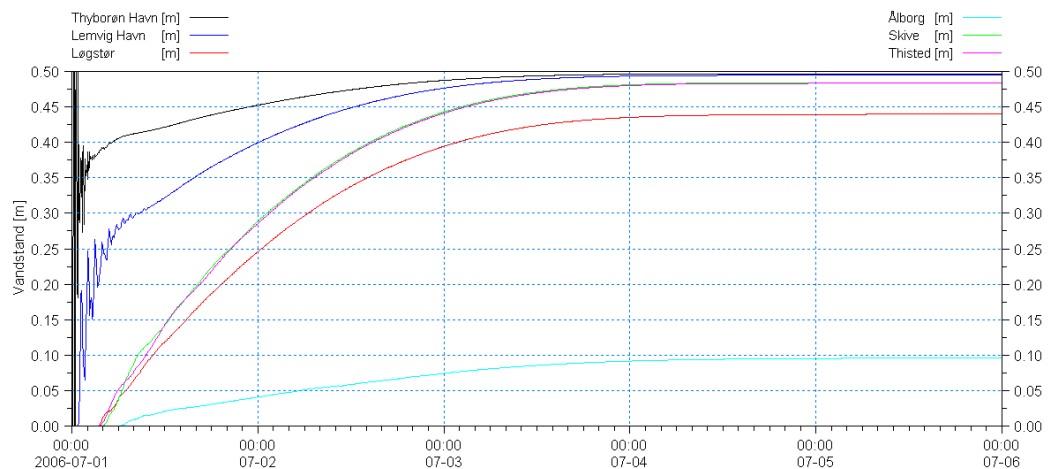
For at få en bedre forståelse af Limfjordssystemets dynamik med hensyn til responstider for impulsudbredelse samt fordelingen af friktionstab og enkelttab i Limfjordssystemet er der udført en række simuleringer til belysning af dette.

9.6.1 Udbredelse af impuls fra vest

Der er gennemført to simuleringer, hvor vandstanden langs den vestlige rand momentant løftes og herved udløser en bølge, som forplanter sig ind gennem systemet. Den momentane vandstandsstigning er på henholdsvis 1 m og 0,5 m i de to udførte simuleringer. Simuleringsperioden er valgt til 5 døgn, hvilket sikrer, at der opnås stationære strømningsforhold i slutningen af perioden. Impulsens (bølgens) udbredelse ind i Limfjordssystemet er vist i Figur 9-55 og Figur 9-56 i form af de modellerede vandstande i en række udvalgte Limfjordsstationer. Det ses, at den frigivne impuls svækkes ind gennem Fjordssystemet, og at tidsskalaerne for impulsudbredelsen forøges i takt med den påtrykte impuls amplitude.



Figur 9-55 Vandstandsudvikling i en række udvalgte stationer ved frigivelse af en bølge (impuls) på 1 m.



Figur 9-56 Vandstandsudvikling i en række udvalgte stationer ved frigivelse af en bølge (impuls) på 0,5 m.



Responstider for impulsudbredelsen i systemet for de to udførte simuleringer er angivet i Tabel 9-13 og Tabel 9-14 nedenfor. Tre typer af mål er defineret til belysning af tidsskalaer for impulsudbredelse i Limfjorden:

- $T_{0,1 \text{ cm}}$ angiver den tid der går, fra impulsen frigives på den vestlige rand, og til initialvandstanden er forøget med 0,1 cm.
- $T_{50\%}$ angiver den tid der går, fra impulsen frigives på den vestlige rand, og til vandstanden er forøget svarende til halvdelen af den endelige vandstandsstigning.
- $T_{90\%}$ angiver den tid der går, fra impulsen frigives på den vestlige rand, og til vandstanden er forøget svarende til 90 % af den endelige vandstandsstigning.

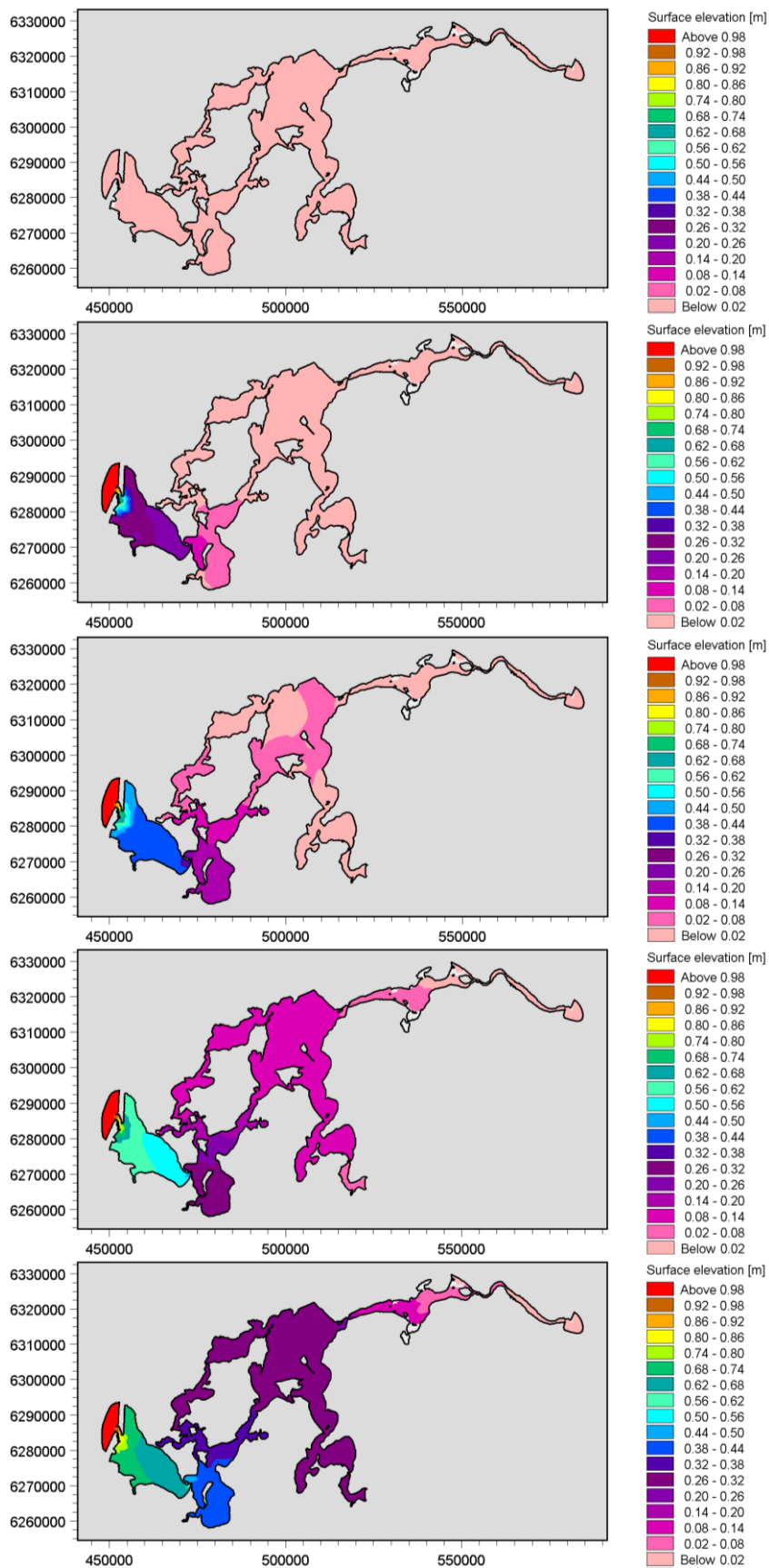
Tabel 9-13 Responstider for impulsudbredelse af en bølge på 1 m.

Station	$T_{0,1 \text{ cm}}$	$T_{50\%}$	$T_{90\%}$
Lemvig	50 min	5 timer 30 min	42 timer 25 min
Mors	2 timer 10 min	24 timer 30 min	57 timer 50 min
Løgstør	3 timer 30 min	26 timer 50 min	60 timer 10 min
Thisted	3 timer 35 min	24 timer 55 min	58 timer 5 min
Hvalpsund	3 timer 20 min	24 timer 45 min	57 timer 55 min
Skive	4 timer	24 timer 45 min	57 timer 50 min
Ålborg	6 timer 25 min	40 timer 40 min	77 timer 30 min

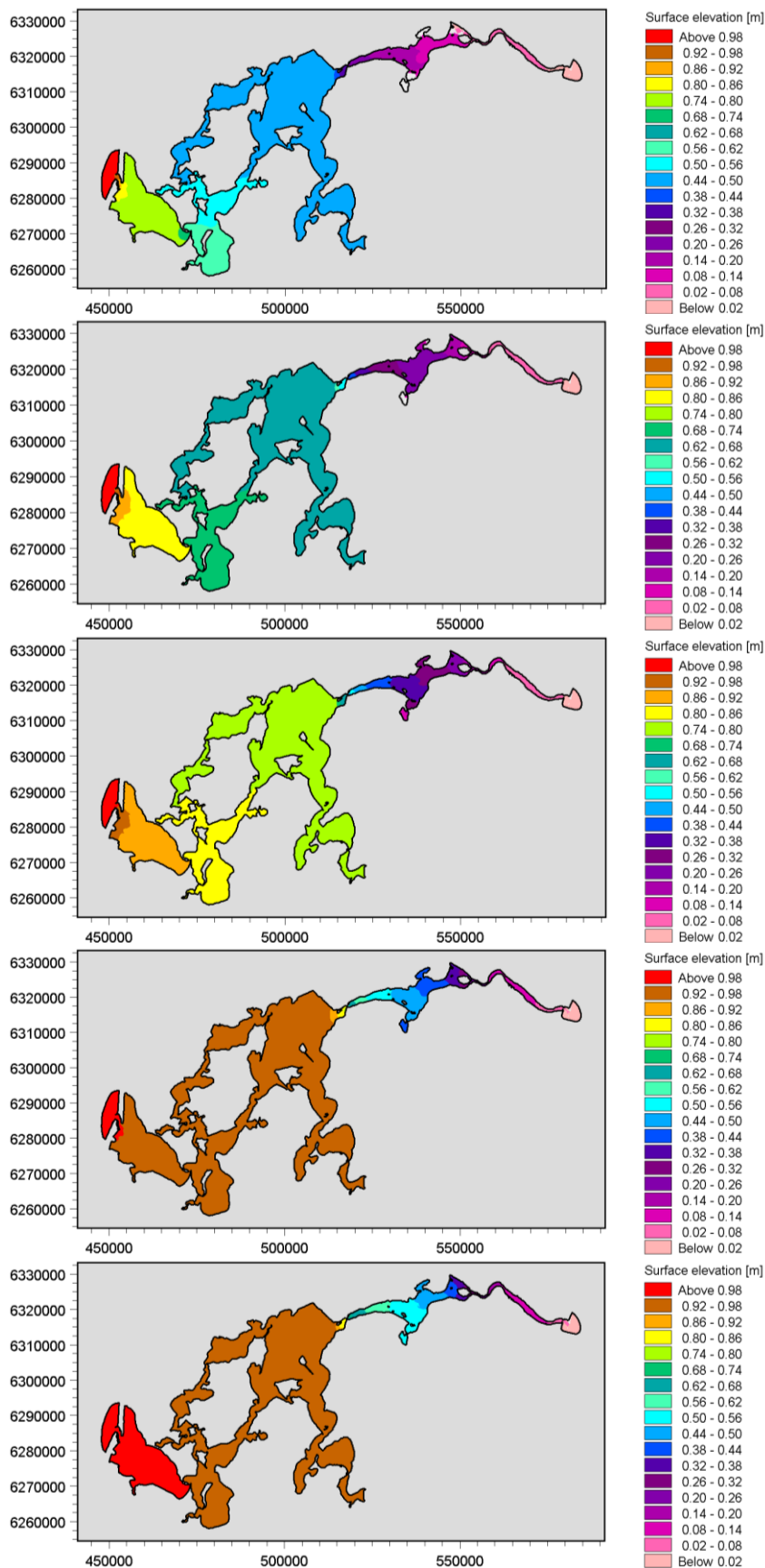
Tabel 9-14 Responstider for impulsudbredelse af en bølge på 0,5 m.

Station	$T_{0,1 \text{ cm}}$	$T_{50\%}$	$T_{90\%}$
Lemvig	55 min	3 timer 50 min	34 timer 55 min
Mors	2 timer 15 min	19 timer 40 min	46 timer 15 min
Løgstør	3 timer 35 min	21 timer 20 min	48 timer 30 min
Thisted	3 timer 40 min	19 timer 50 min	46 timer 20 min
Hvalpsund	3 timer 25 min	19 timer 45 min	46 timer 10 min
Skive	4 timer 10 min	19 timer 40 min	46 timer 5 min
Ålborg	6 timer 35 min	28 timer 20 min	61 timer 20 min

Af tabellerne ses, at der går mellem 1 og 4 timer, før en kraftig vandstandsændring i Vesterhavet kan mærkes i stationerne i den vestlige del af Limfjorden. Halvdelen af den fulde impulseffekt er nået frem til bassinet vest for Odde Sund efter 20-24 timer. Denne tidsskala er nogenlunde sammenlignelig med varigheden af en storm.

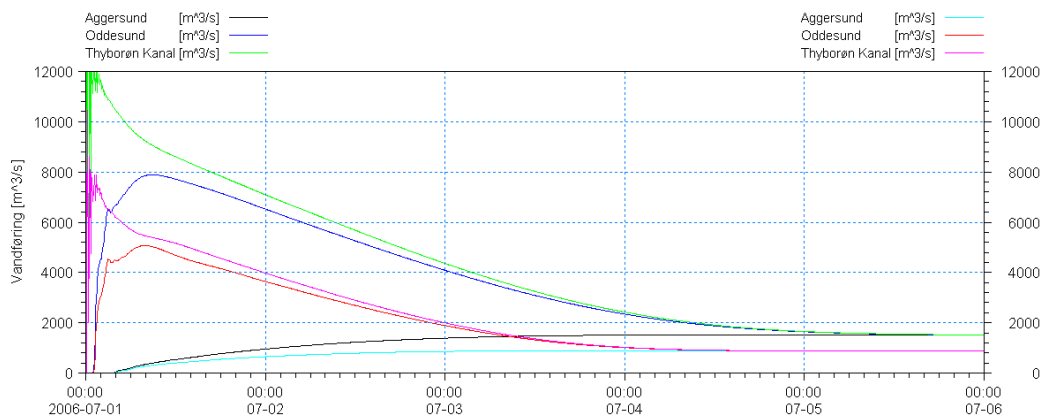


Figur 9-57 Billedsekvens af impulsudbredelse rettet fra vest mod øst baseret på en momentant ændret vandstand langs den vestlige rand med 1 m. Fra top mod bund: Initial vandstand, vandstand efter 2 timer, vandstand efter 4 timer, vandstand efter 8 timer og vandstand efter 16 timer.



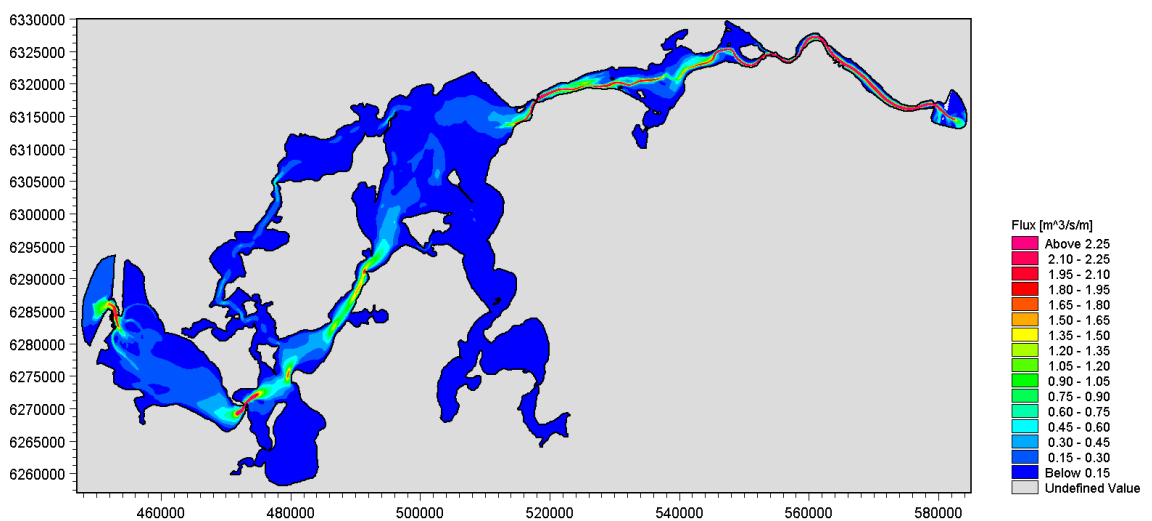
Figur 9-58 Billedsekvens af impulsudbredelse rettet fra vest mod øst baseret på en momentant ændret vandstand langs den vestlige rand med 1 m. Fra top mod bund: Vandstand efter 24 timer, vandstand efter 36 timer, vandstand efter 48 timer, vandstand efter 72 timer og vandstand efter 120 timer.

I billedserien vist i Figur 9-57 og Figur 9-58 følger man impulsens udbredelse ind gennem Thyborøn Kanal og videre ind i Limfjordssystemet. Impulsen er påtrykt i form af en momentant hævet vandstand på 1 m. Billederne viser vandstandsforholdene initialt, efter 2 timer, 4 timer, 8 timer, 16 timer, 32 timer, 48 timer, 72 timer og 120 timer. Det ses, at indstrømningen i de første 24 timer af forløbet er styret af dominerende enkelttab ved Thyborøn Kanal og Oddesund, mens at indstrømningen i den sidste del af perioden er fuldstændig domineret af strømningsmodstanden i Limfjordskanalen. Denne dynamik er også afspejlet i Figur 9-59, som viser den impulsgenererede vandføring i Thyborøn Kanal, Oddesund og Aggersund for hver af de to udførte simuleringer. Det ses, at vandføringer gennem Thyborøn Kanal og Oddesund vokser hurtigt op, for herefter langsomt at aftage i takt med at det indre bassin fyldes op, mens at vandføringen gennem Aggersund stiger gradvist gennem hele forløbet, indtil stationære forhold opnås.



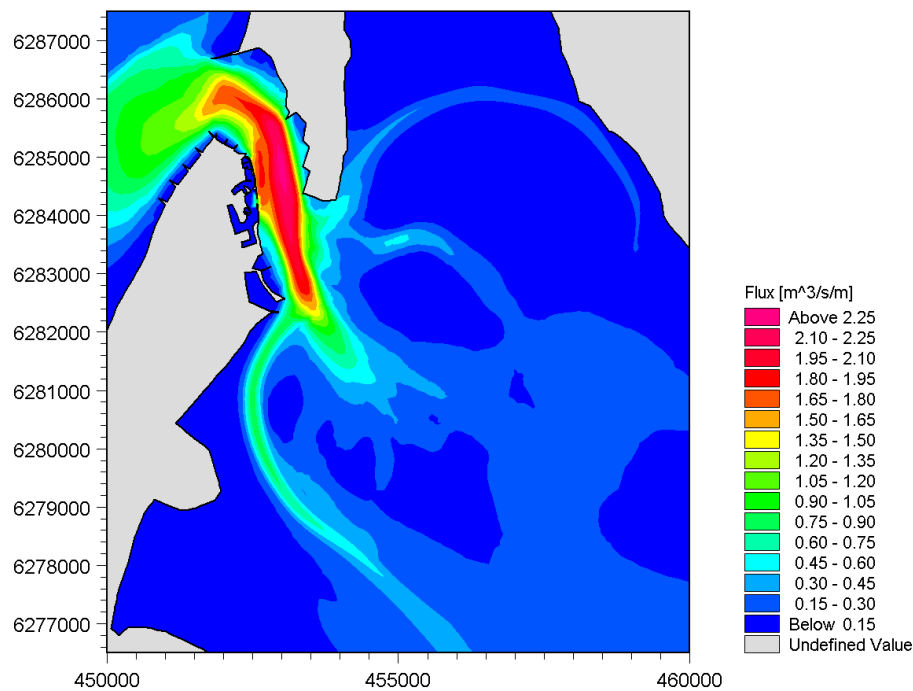
Figur 9-59 Impulsgenererede vandføringer gennem Thyborøn Kanal, Oddesund og Aggersund for vandspejlsforskelle på 1 m (farver vist til venstre) og 0,5 m (farver vist til højre).

Et billede af hvor strømningen er koncentreret i systemet er vist i Figur 9-60 for en vandføring på $1500 \text{ m}^3/\text{s}$.



Figur 9-60 Fluxfordelingen i systemet under stationære forhold og strømning mod øst og 1 m vandspejlsforskel.

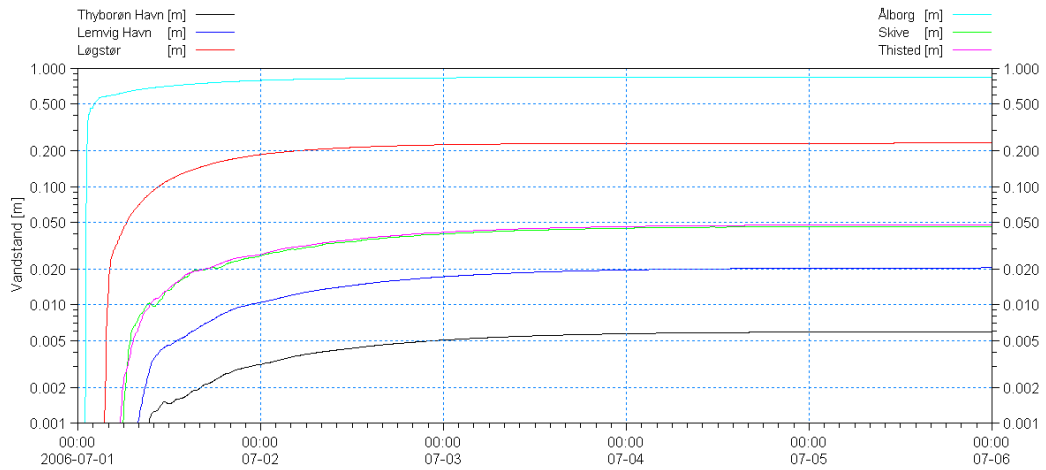
Tilsvarende er strømningsfordelingen i Thyborøn kanal og Nissum Bredning vist i Figur 9-61. Det ses, at indstrømning domineres af de to sydlige løb.



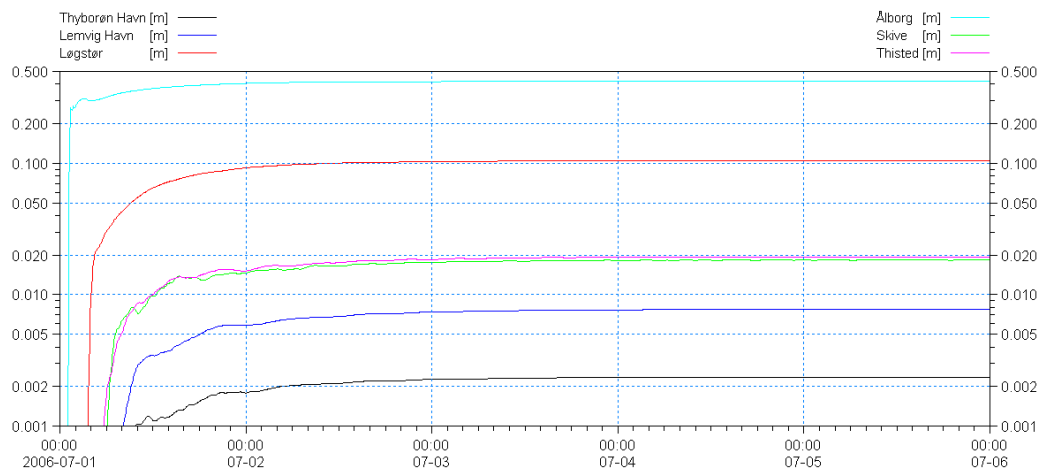
Figur 9-61 Fluxfordelingen ved Thyborøn under indstrømning og stationære forhold.

9.6.2 Udbredelse af impuls fra øst

Der er gennemført to simuleringer, hvor vandstanden langs den østlige rand momentant løftes og herefter udløser en bølge, som forplanter sig ind gennem systemet. Den momentane vandstandsstigning er på henholdsvis 1 m og 0,5 m i de to udførte simuleringer. Simuleringsperioden er valgt til 5 døgn, hvilket sikrer, at der opnås stationære strømningsforhold i slutningen af perioden. Impulsens (bølgens) udbredelse ind i Limfjordssystemet er vist i Figur 9-62 og Figur 9-63 i form af de modellerede vandstande i en række udvalgte Limfjordsstationer. Det ses, at den frigivne impuls svækkes markant ind gennem Fjordsystemet, og at tidsskalaerne for impulsudbredelsen forøges i takt med den påtrykte impuls amplitude. Der er anvendt en logaritmisk vandstandsskala for at tydeliggøre forskellene stationerne imellem i den vestlige del af Limfjorden.



Figur 9-62 Vandstandsudviklingen i en række udvalgte stationer ved frigivelse af en bølge (impuls) på 1 m.



Figur 9-63 Vandstandsudviklingen i en række udvalgte stationer ved frigivelse af en bølge (impuls) på 0,5 m.

En række mål af responstider for impulsudbredelsen i systemet for de to udførte simuleringer er angivet i Tabel 9-15 og Tabel 9-16 nedenfor

Tabel 9-15 Responstider for impulsudbredelse af en bølge på 1 m.

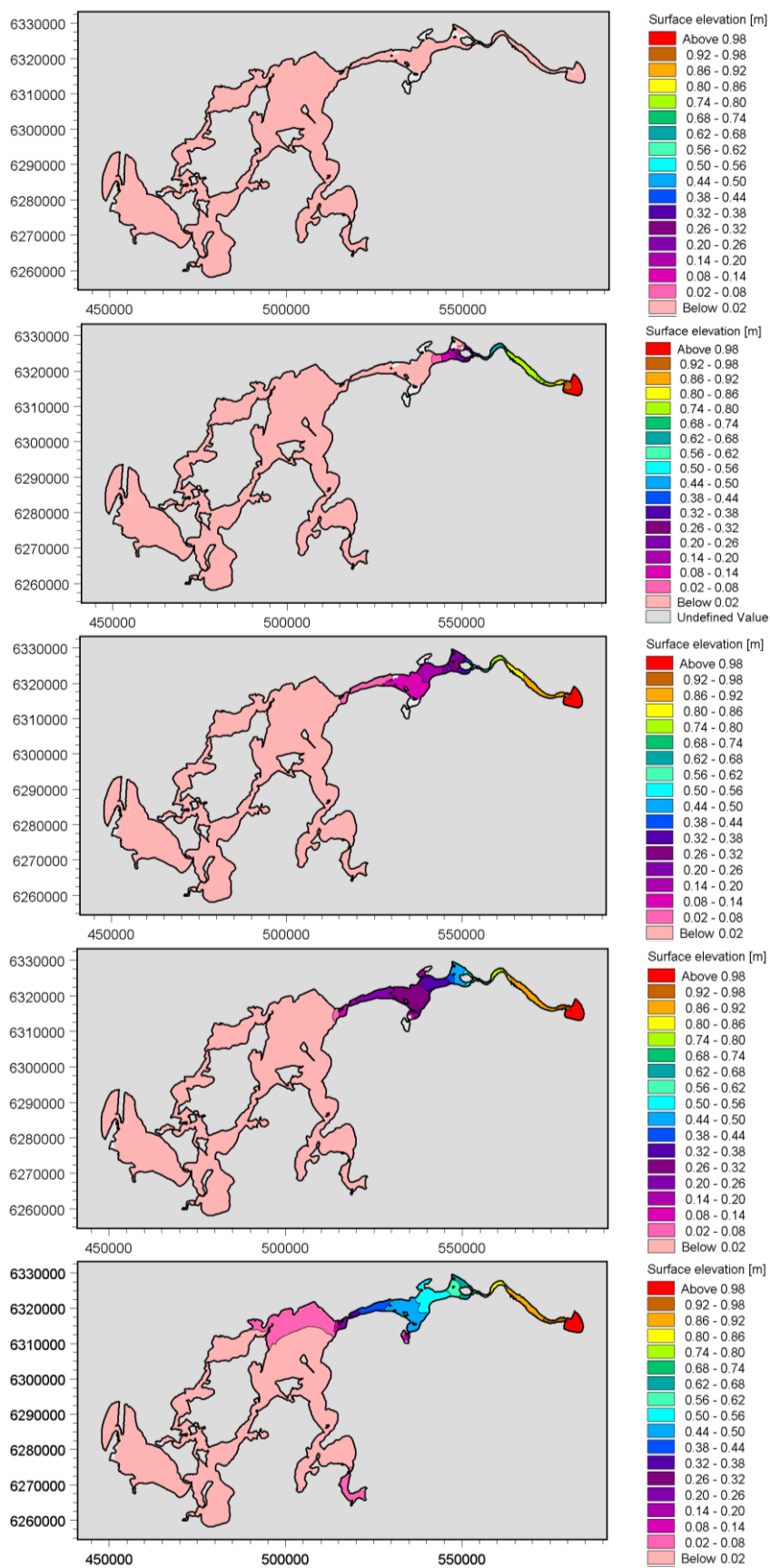
Station	T _{0.1 cm}	T _{50%}	T _{90%}
Thyborøn Havn	9 timer 20 min	22 timer 15 min	55 timer 35 min
Lemvig	8 timer	23 timer 20 min	56 timer 40 min
Mors	5 timer 15 min	20 timer 35 min	53 timer 40 min
Løgstør	3 timer 30 min	12 timer 20 min	33 timer 15 min
Thisted	5 timer 35 min	19 timer 55 min	53 timer 45 min
Hvalpsund	5 timer 20 min	20 timer 30 min	53 timer 45 min
Skive	6 timer	20 timer 20 min	53 timer 55 min
Ålborg	1 time	1 time 35 min	17 timer 25 min

Tabel 9-16 Responstider for impulsudbredelse af en bølge på 0,5 m.

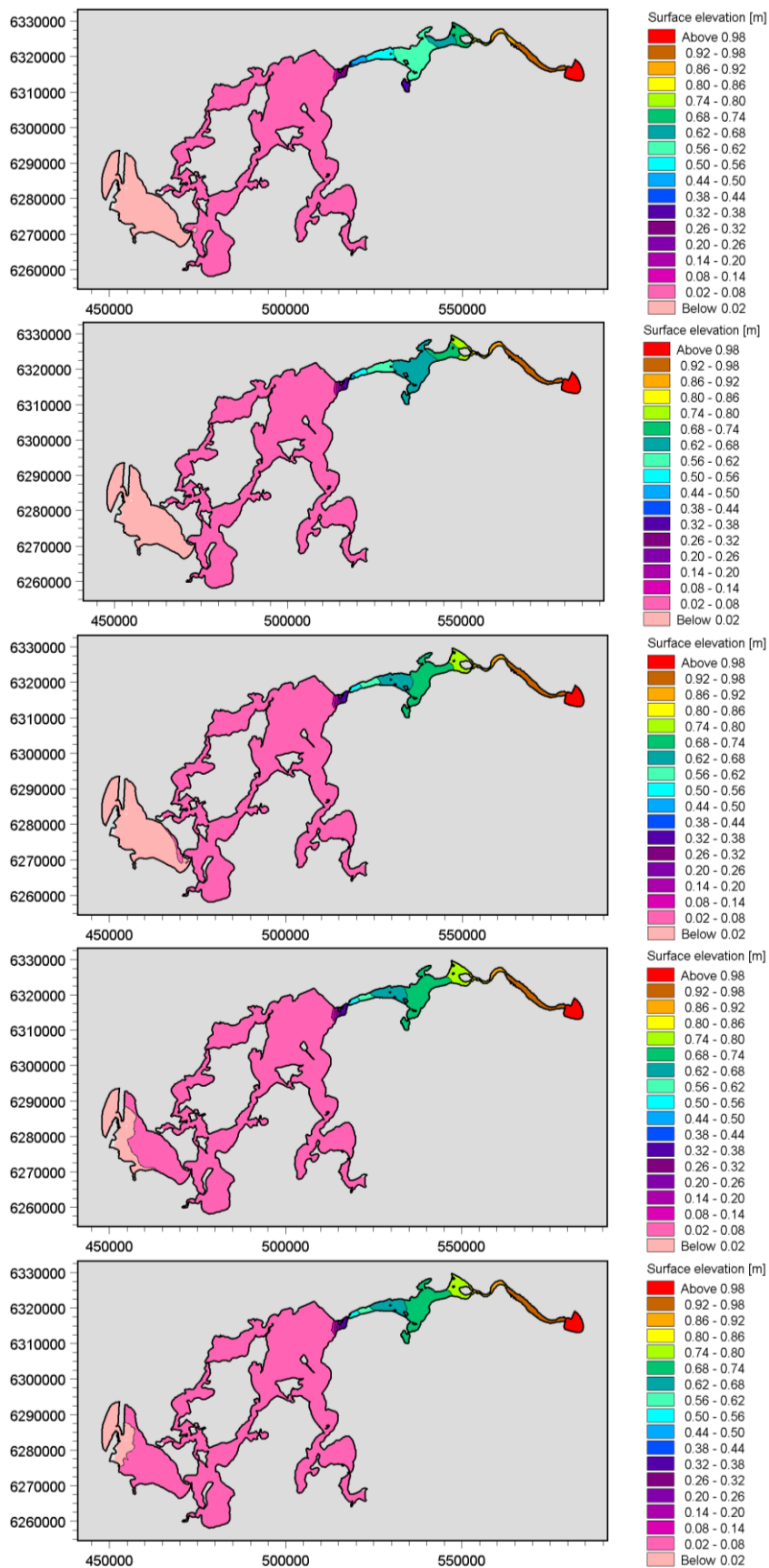
Station	T _{0.1 cm}	T _{50%}	T _{90%}
Thyborøn Havn	9 timer 50 min	14 timer 10 min	36 timer 30 min
Lemvig	8 timer 15 min	14 timer 30 min	37 timer 35 min
Mors	5 timer 20 min	11 timer 15 min	35 timer 5 min
Løgstør	3 timer 40 min	9 timer 35 min	25 timer 45 min
Thisted	5 timer 45 min	11 timer 35 min	33 timer 45 min
Hvalpsund	5 timer 30 min	11 timer 40 min	34 timer 35 min
Skive	6 timer 10 min	11 timer 30 min	32 timer 25 min
Ålborg	1 time 5 min	1 time 20 min	13 timer 40 min

Af det foregående ses, at vandstandene i den vestlige del af Limfjorden kun er svagt påvirket af vandstandsændringer i Kattegat som følge af et markant friktionstab i Limfjordskanalen. Tabellerne indikerer, at der går mellem 4 og 9 timer før en kraftig vandstandsændring i Kattegat kan mærkes i stationerne i den vestlige del af Limfjorden. Halvdelen af den fulde impulseffekt er forplantet i bassinet vest for Oddesund efter 10-20 timer. Denne tidsskala er nogenlunde sammenlignelig med varigheden af en storm.

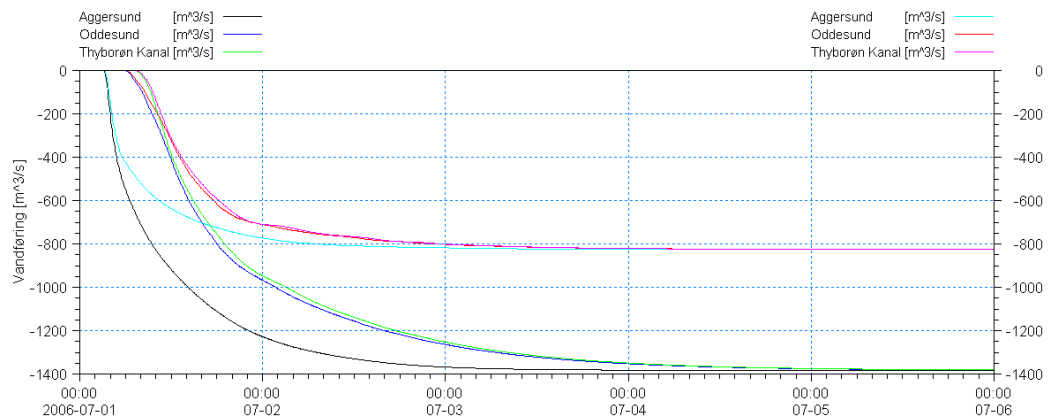
I billedserien vist i Figur 9-64 og Figur 9-65 følger man impulsens udbredelse ind gennem Limfjordskanalen og videre ind i den vestlige del af Limfjordssystemet. Impulsen er påtrykt i form af en momentant hævet vandstand på 1 m. Billederne viser vandstandsforholdene initialt, efter 2 timer, 4 timer, 8 timer, 16 timer, 32 timer, 48 timer, 72 timer og 120 timer. Det ses, at indstrømningen igennem hele forløbet er styret af friktionstabet i Limfjordskanalen. Denne dynamik er også afspejlet i Figur 9-66, som viser den impulsgenererede vandføring i Thyborøn Kanal, Oddesund og Aggersund for hver af de to udførte simuleringer. Det ses, at vandføringer gennem Thyborøn Kanal og Oddesund stiger gradvist gennem hele forløbet som ved Aggersund blot tidsforskuet, indtil stationære forhold opnås.



Figur 9-64 Billedsekvens af impulsudbredelse rettet fra vest mod øst baseret på en momentant ændret vandstand langs den østlige rand med 1 m. Fra top mod bund: Initial vandstand, vandstand efter 2 timer, vandstand efter 4 timer, vandstand efter 8 timer og vandstand efter 16 timer.

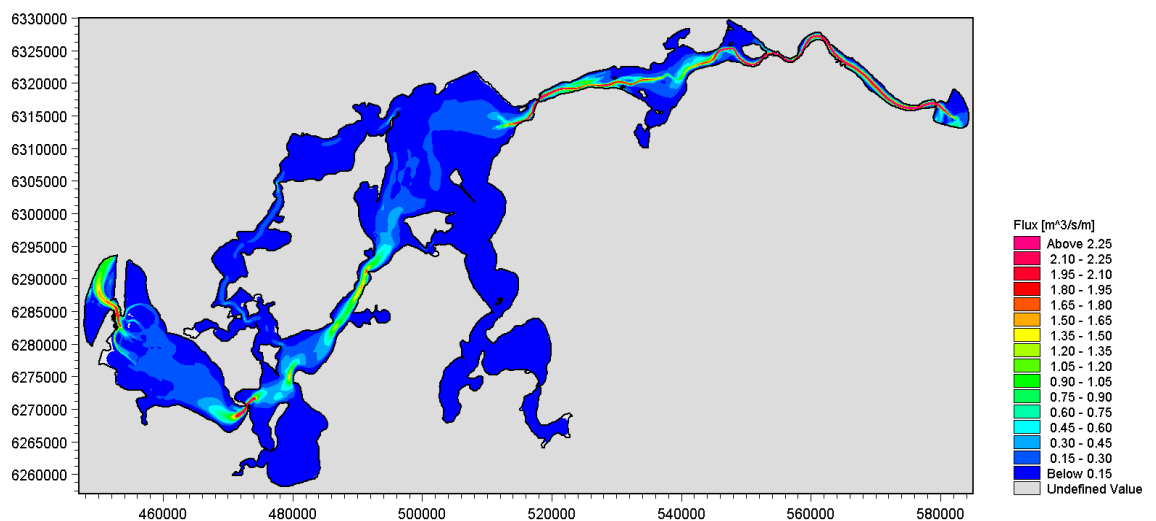


Figur 9-65 Billedsekvens af impulsudbredelse rettet fra vest mod øst baseret på en momentant ændret vandstand langs den østlige rand med 1 m. Fra top mod bund: Vandstand efter 24 timer, vandstand efter 36 timer, vandstand efter 48 timer, vandstand efter 72 timer og vandstand efter 120 timer.



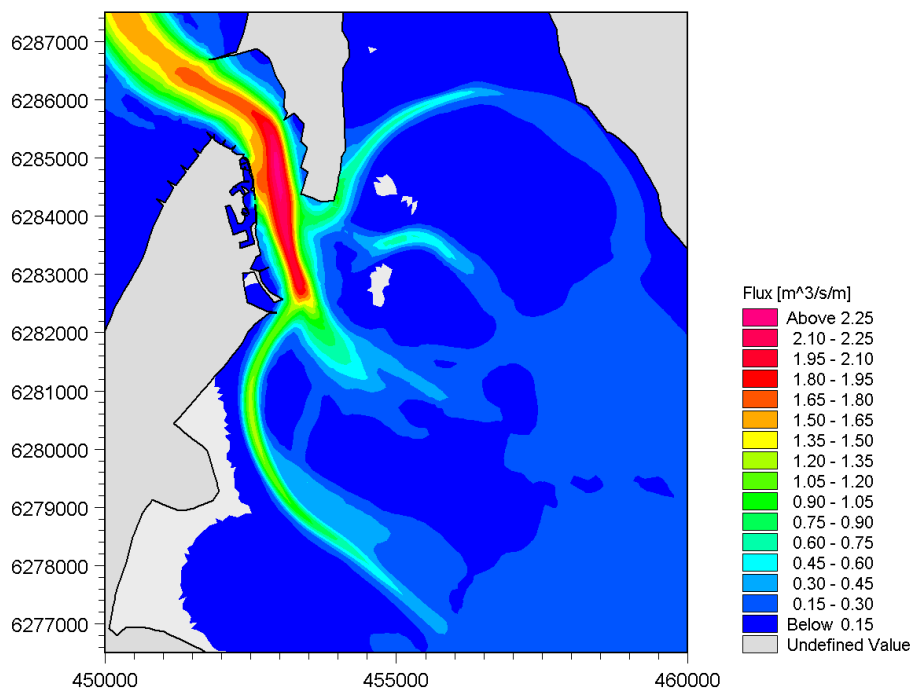
Figur 9-66 Impulsgenererede vandføringer gennem Thyborøn Kanal, Oddesund og Aggersund for vandspejlsforskelle på 1 m og 0,5 m.

Et billede af hvor strømmingen er koncentreret i systemet er vist i Figur 9-67 for en vandføring på 1500 m³/s.



Figur 9-67 Fluxfordelingen i systemet under stationære forhold og strømning mod vest og 1 m vandspejlsforskelle.

Tilsvarende er strømningsfordelingen i Thyborøn kanal og Nissum Bredning vist i Figur 9-68. Det ses, at de to nordlige løb er mere aktive under udstrømning end under indstrømning.



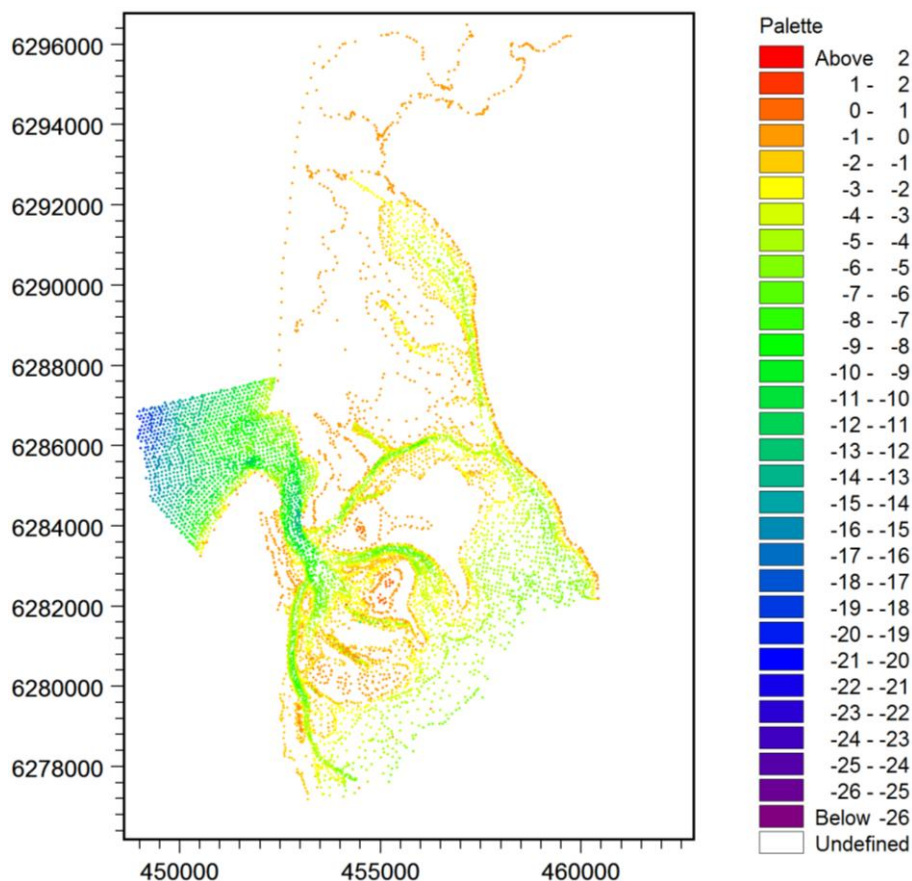
Figur 9-68 Fluxfordelingen i systemet under udstrømning og stationære forhold.

10 HISTORISKE FORHOLD - 1958

Den naturlige udvikling af Thyborøn Kanal i perioden 1958 til 2005 har resulteret i en forøgelse af strømningstværsnittet samt uddybning og forskydning af løbene i Nissum Bredning. Den samme storm vil derfor være i stand til at presse mere vand ind i Limfjordssystemet i dag, end det ville have været tilfældet i 1958. Det er derfor af stor interesse at få afklaret, hvor stor betydning den historiske udvikling af Thyborøn Kanal har fået for maksimalvandstandene i Limfjorden. For at kunne analysere dette er de seks referencestorme simuleret med udgangspunkt i 1958 batymetrien af forholdene ved Thyborøn, hvorefter stormflodsniveauerne er sammenholdt med de for 2005 batymetrien tidligere fundne. De udførte simuleringer viser, at stormflodsvandstandene i Limfjorden er relativ kraftigt påvirket af Thyborøn Kanals udvikling. Specielt i Nissum Bredning, hvor den videre indstrømning reguleres af indsnævringen ved Oddesund.

10.1 Batymetri

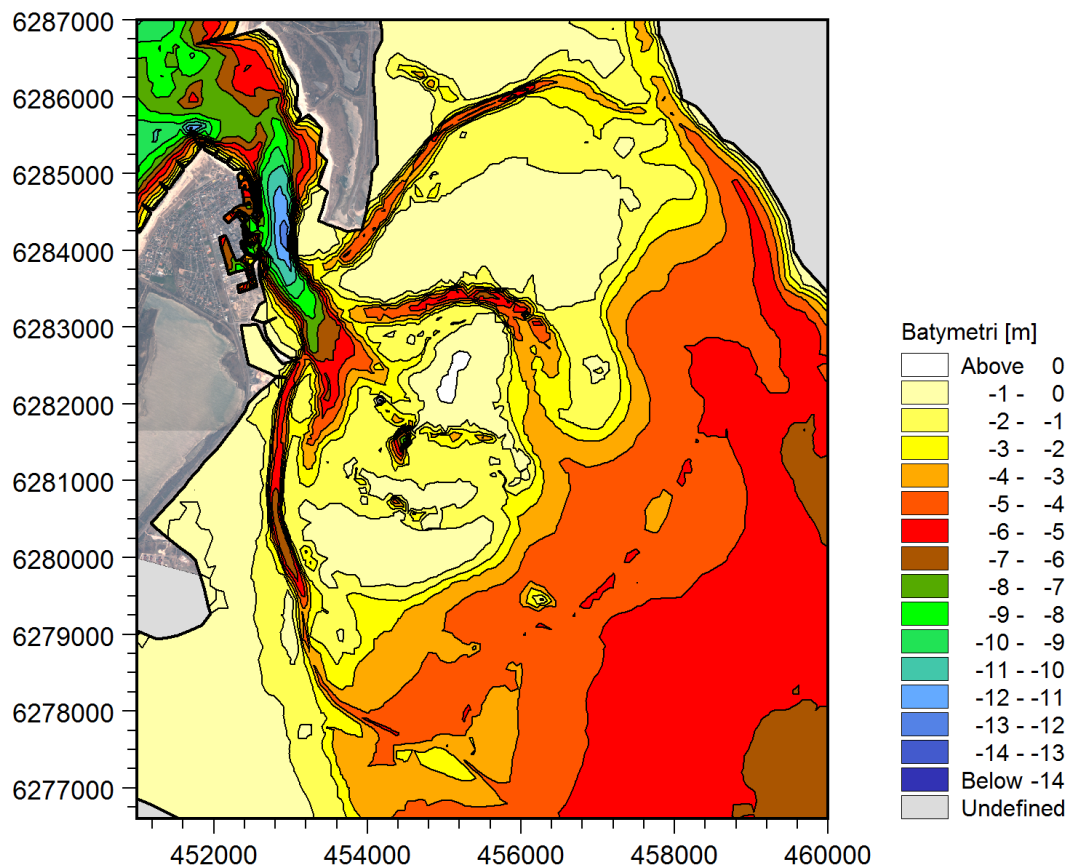
Den historiske batymetri er konstrueret på baggrund af en fjordopmåling i 1958. Omfanget af de digitale data bestående af 15.204 datapunkter er vist i Figur 10-1. Det ses, at hele Thyborøn Kanal og løbene i Nissum Bredning er indeholdt. Fjordgrundene er ikke opmålt. I disse områder er der derfor indlagt syntetiske data. De tidligere udførte følsomhedsanalyser viste, at fjordgrundenes koter ikke influerer på stormflodsvandstandene i Limfjorden. De manglende opmålinger af fjordgrundene er derfor uden betydning.



Figur 10-1 Datagrundlaget fra batymetriopmålingen i 1958.

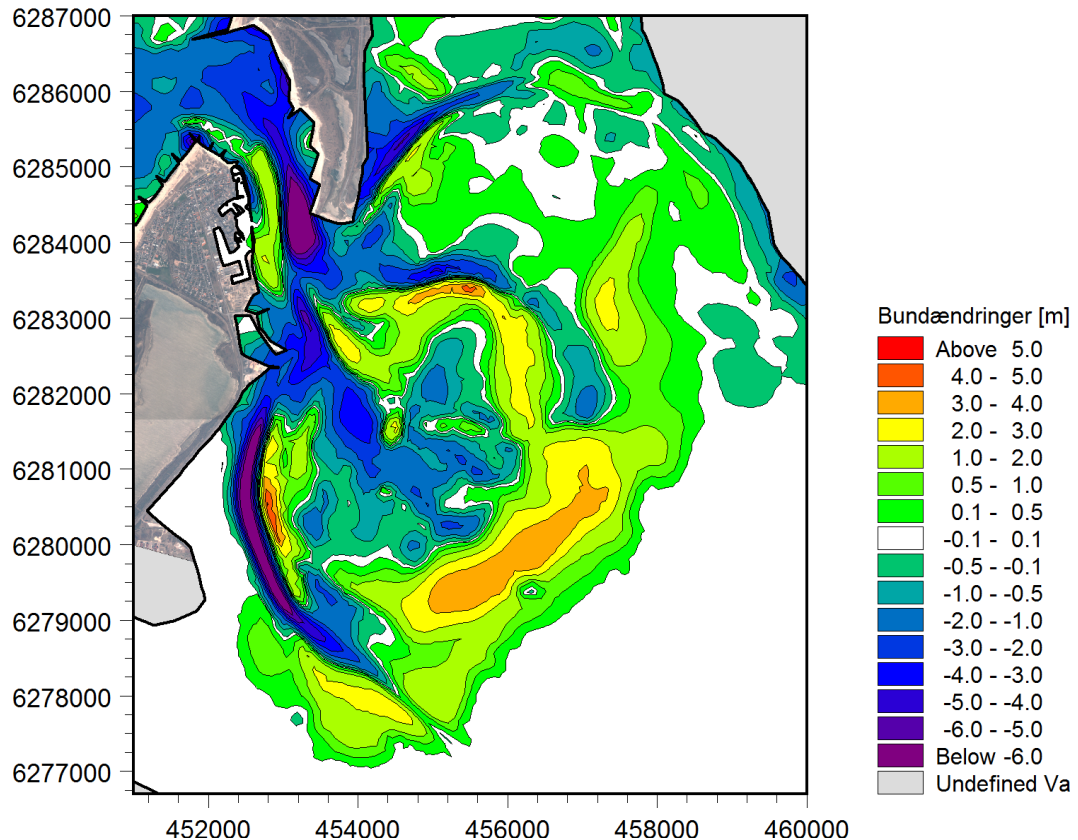
1958 batymetrien er konstrueret ved at erstatte data anvendt til konstruktion af 2005 batymetrien i opmålingsområdet. Sælhundeholmsløbet er i perioden frem til 2005 rykket mod vest og befinder sig delvist uden for opmålingsområdet. Det har derfor været nødvendigt at fjerne dele af løbet og i stedet erstatte det med et niveau svarende til fjordgrundenes. I den øvrige del af Limfjorden må det forventes, at der kun er sket meget svage ændringer i batymetrien, hvorfor det samme datagrundlag, som blev anvendt til generering af 2005 batymetrien, kan benyttes. Under alle omstændigheder vil mindre ændringer i batymetrien i den indre del af Limfjorden ikke influere på stormflodsmaksimalstandene.

Et konturplot af den historiske batymetri i området ved Thyborøn er vist i Figur 10-2. Det ses, at den største dybde i Thyborøn Kanal på daværende tidspunkt var lidt over 12 m. I området ved munden er de største dybder af størrelsesordenen 7-8 m.



Figur 10-2 Batymetriske forhold ved Thyborøn i 1958.

I Figur 10-3 er de batymetriske ændringer fra 1958 til 2005 vist. Positive værdier indikerer aflejring, mens negative værdier indikerer erosion. Det ses, at der i Thyborøn Kanal og ved Sælhundeholmløbet er store ændringer som følge af, at løbene har flyttet sig ind på tidligere lavvandede områder. Endvidere ses, at udstrækningen af fjordgrundene i Nissum Bredning er vokset i retning mod øst som følge af en nettoimport af sediment til fjordsystemet.



Figur 10-3 Batymetriske ændringer i perioden 1958 til 2005. Positive værdier indikerer aflejring, mens negative værdier indikerer erosion.

10.2 Modelling af historiske storme

Som en slags validering af den hydrodynamiske model for Limfjorden er der udvalgt en stormflodshændelse fra 1954, som afvikles på den historiske batymetri. Modelafviklingen af den historiske storm adskiller sig dog fra de seks referencestorme ved, at der ikke findes fyldestgørende vandstandsobservationer ved Thyborøn Hav, men udelukkende fra Thyborøn Havn. Endvidere må vindobservationer forventes at være mindre detaljerede og præcise end nutidige observationer.

Da der ikke findes dækkende målinger for Thyborøn Hav vandstanden, er der i første omgang benyttet en transformationsrelation baseret på den målte vandstand i Thyborøn Havn. Den benyttede relation er fundet ved at analysere sammenhængen mellem den simulerede vandstand i Thyborøn Havn og langs offshore randen (Thyborøn Hav) i de seks referencestorme afviklet på 1958 batymetrien. Transformationsrelationen lyder:

$$VS_{Thyborøn Hav} = 1,38VS_{Thyborøn Havn} - 0,21 \text{ meter} \quad (10.1)$$

Den tilsvarende relation baseret på 2005 batymetrien lyder:

$$VS_{Thyborøn Hav} = 1,31VS_{Thyborøn Havn} - 0,17 \text{ meter} \quad (10.2)$$

Transformationsrelationerne er primært valide under indstrømning til Limfjorden, idet dette er den dominerende proces i de seks modellerede referencestorme.

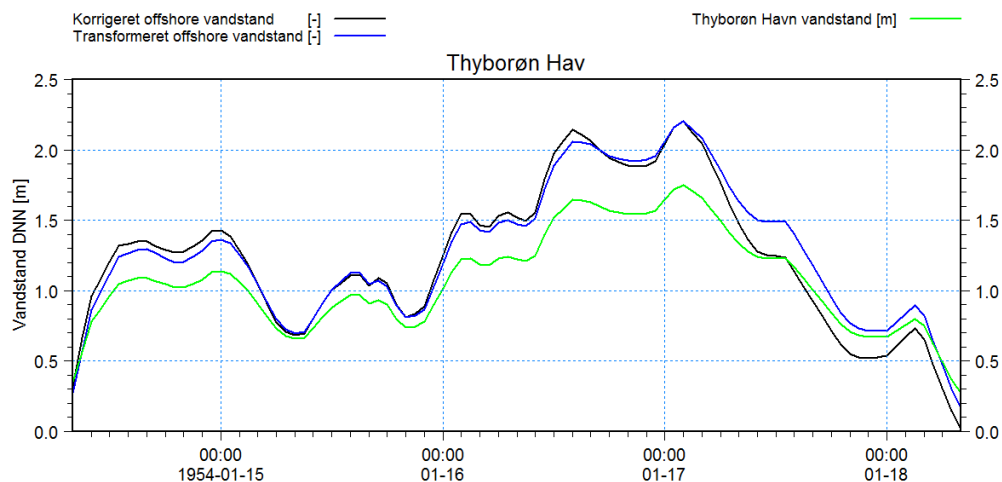
Efter afvikling af modellen med den transformerede vandstand korrigeres offshore vandstanden, med afvigelsen mellem den målte og simulerede vandstand i Thyborøn Havn, hvorefter modellen genkøres endeligt.

10.2.1 Modelrandvandstande

Det har ikke været muligt at opdrive nogen form for digitale registreringer af målte vandstande af stormforløbet i 1954, så det har været nødvendigt at fremstille digitale vandstande på baggrund af optegnede vandstandsregistreringer fra Ref. /2/. Til etablering af drivende vandstande langs de to åbne rande er der benyttet vandstandsobservationer fra Thyborøn Havn og Ålborg, idet der ikke findes tilstrækkeligt med data ved Thyborøn Hav og Hals. I de udførte simuleringer er det valgt at påtrykke de målte vandstande i Ålborg langs den østlige rand, idet den tidligere udførte analyse af impulsudbredelse i systemet viser, at forholdene i den østlige del af Limfjordskanalen indvirker meget svagt på vandstandene vest for Aggersund. Endvidere er Ålborg tidsserien etableret på baggrund af 11 observationer og derfor uden større detaljeringsgrad. Den benyttede vandstandsvariation langs den østlige modelrand er vist i Figur 10-4.



Figur 10-4 Påtrykt vandstandsvariation langs den østlige modelrand (målte vandstande ved Ålborg).

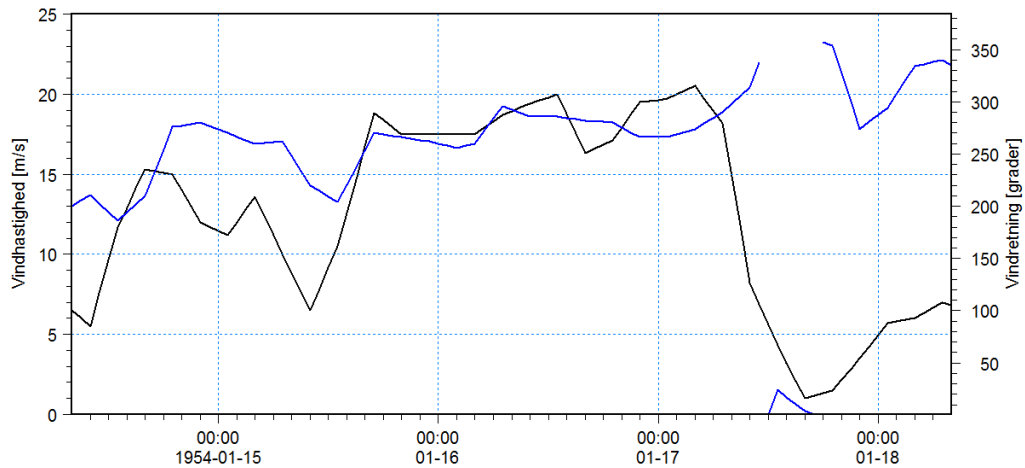


Figur 10-5 Påtrykt vandstandsvariation langs den vestlige modelrand. Simulering 1: Thyborøn Havn vandstand. Simulering 2: Transformeret offshore vandstand. Simulering 3: Korrigeret offshore vandstand.

For den vestlige modelrand er der anvendt tre forskellige randbetingelser, idet der er benyttet en form for iteration til tilvejebringelse af den endelige randbetingelse. De påtrykte tidsserier langs den vestlige modelrand er vist i Figur 10-5.

10.2.2 Vind

Vindforholdene under 1954 stormen er ligeledes blevet digitaliseret på baggrund af optegnede vindregistreringer i Ref. /2/. Vinden som påtrykkes over hele modelområdet i form af en tidsserie er vist i Figur 10-6.

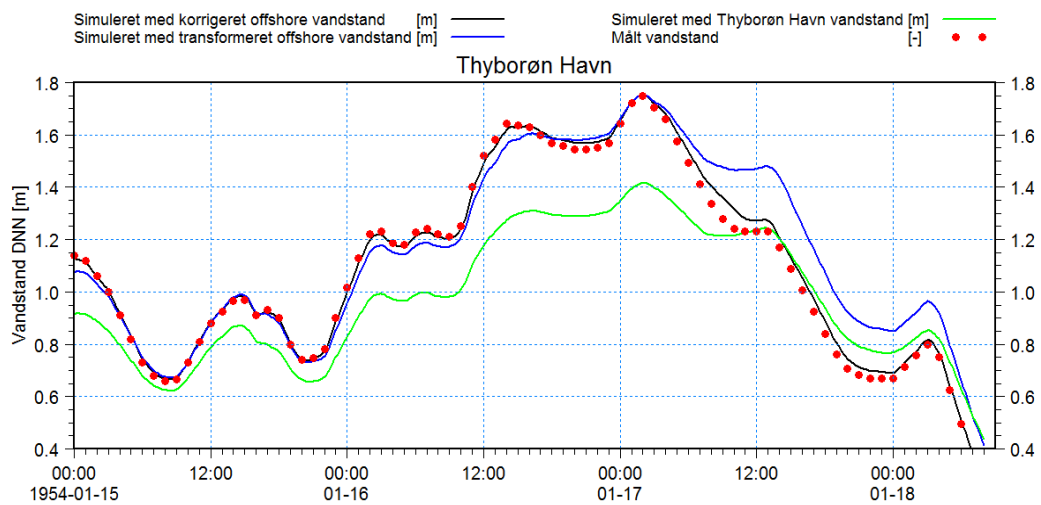


Figur 10-6 Påtrykt vind over hele modelområdet. Sort kurve: Vindhastighed, Blå kurve: Vindretning.

10.2.3 Sammenligning af målte og modellerede vandstande

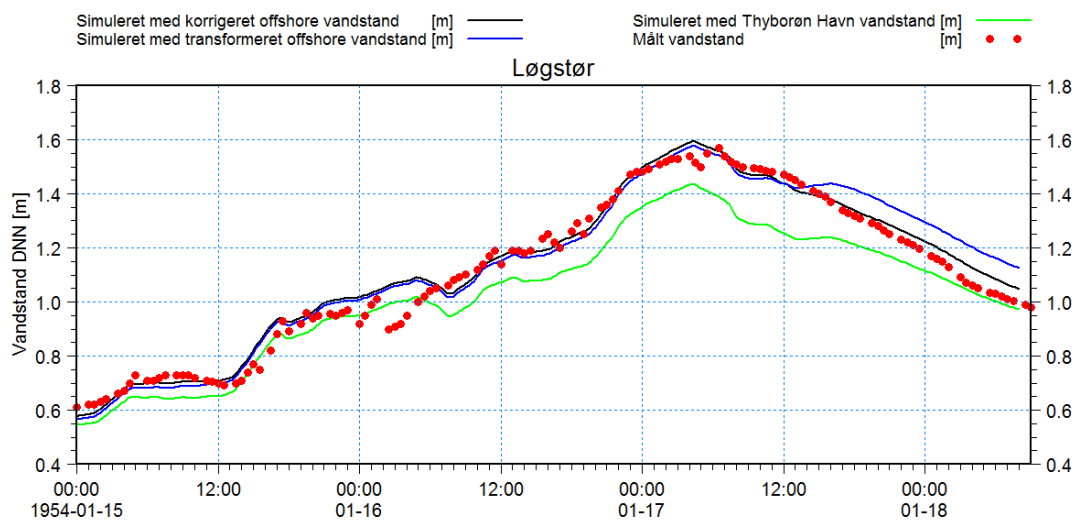
For stationerne Thyborøn Havn, Løgstør, Skive, Nykøbing Mors og Thisted findes der en række målte vandstande, som benyttes til verifikation af 1958 batymetrien og den opstillede hydrodynamiske model.

I Figur 10-7 er der vist en sammenligning mellem målte og modellerede vandstande i Thyborøn Havn. Der ses ikke overraskende at være god overensstemmelse mellem de målte vandstande og modelresultaterne baseret på den korrigerede offshore vandstand. Det ses endvidere, at den transformerede vandstand er god i den del af perioden, hvor der er indstrømning til Limfjorden, mens den skyder for højt, så snart strømningsretningen vender.



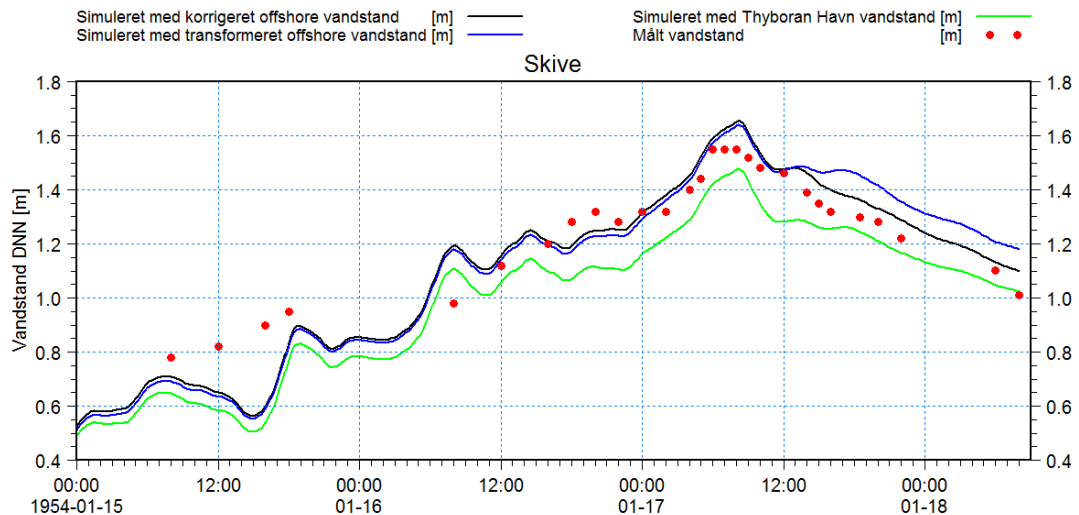
Figur 10-7 Sammenligning af modellerede og målte vandstande i Thyborøn Havn.

Tilsvarende er der i Figur 10-8 vist en sammenligning mellem målte og modellerede vandstande ved Løgstør. Der er god dækning af målinger igennem hele stormforløbet. Det ses, at der er en meget god overensstemmelse mellem vandstande modelleret på baggrund af den korrigerede offshore vandstand og målinger. Endvidere er der fuld overensstemmelse mellem den målte og modellerede maksimalvandstand.



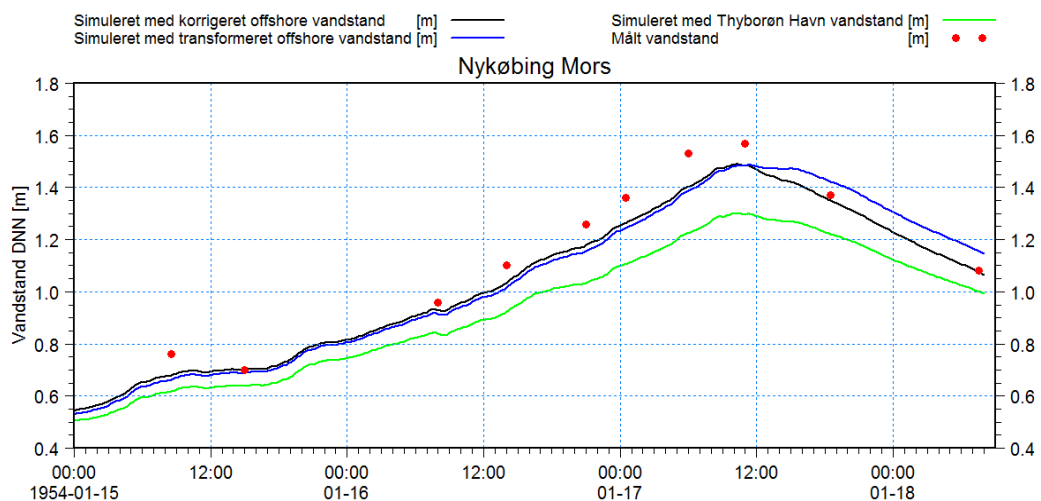
Figur 10-8 Sammenligning af modellerede og målte vandstande ved Løgstør.

I Figur 10-9 er der lavet en sammenligning mellem målte og modellerede data ved Skive. Der ses generelt at være pæn overensstemmelse mellem målte og modellerede værdier igennem stormen. Den modellerede maksimalvandstand er dog lidt højere end den målte, hvilket kan relateres til, at den specificerede vind presser for meget vand ned i Skive Fjord.



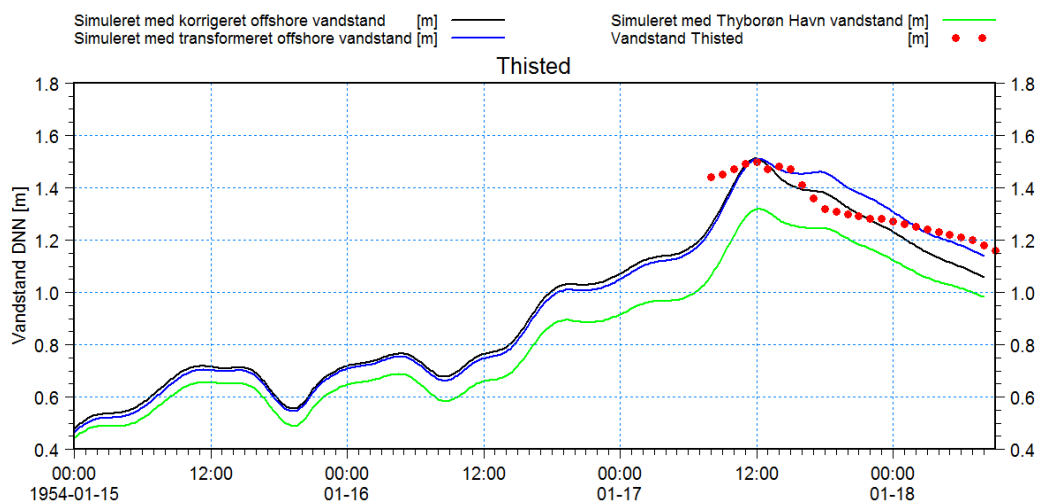
Figur 10-9 Sammenligning af modellerede og målte vandstande ved Skive.

Målte og modellerede vandstande ved Nykøbing Mors er vist i Figur 10-10. Datadækningen er relativt grov, men dækker hele stormforløbet. Som for de øvrige stationer ses der at være pæn overensstemmelse; dog er de modellerede værdier generelt en anelse lavere end de målte.



Figur 10-10 Sammenligning af modellerede og målte vandstande ved Nykøbing Mors.

Målte og modellerede vandstande ved Thisted er vist i Figur 10-11. Vandstandsmålingerne er detaljerede, men dækker kun fra omkring stormens kulmination og videre frem. Der ses at være pæn overensstemmelse mellem de modellerede og målte vandstande, specielt er der fuld overensstemmelse mellem maksimalværdierne.



Figur 10-11 Sammenligning af modellerede og målte vandstande ved Thisted.

De målte og modellerede maksimalværdier under stormen i 1954 i de fem stationer plus data for Struer er angivet i Tabel 10-1. Det ses, at der er en meget fin overensstemmelse mellem modelresultater og målinger. Det kan derfor konkluderes, at 1958 batymetrien og den hydrodynamiske model er i stand til beskrive de historiske forhold.

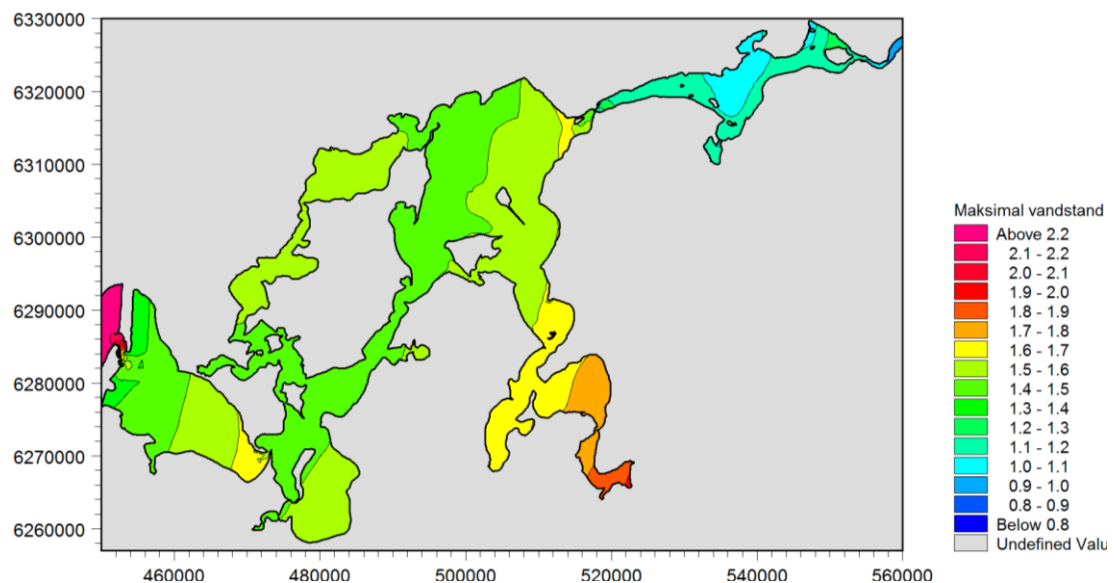
Ifølge tabellen er den målte maksimalvandstand ved Nykøbing Mors højere end ved Skive og næsten lige så stor som ved Løgstør. Dette virker en smule mistænkeligt, da vindstuvningseffekter generelt må siges at være svage i dette område. En mulig forklaring på de høje værdier kan i stedet relatere til en mindre forskydning i referenceniveauet, hvilket understøttes af, at de målte vandstande generelt ligger lidt højere end de simulerede vandstande ved Nykøbing Mors.

Tabel 10-1 Sammenligning af målte og modellerede maksimal vandstande.

Station	Målt [m]	Modelleret [m]	Afvigelse [m]
Thyborøn Havn	1,75	1,75	0,00
Nykøbing Mors	1,57	1,49	-0,08
Løgstør	1,59	1,59	0,00
Skive	1,55	1,65	0,10
Thisted	1,50	1, 51	0,01
Struer	1,48	1,49	0,01

De modellerede vandstande i hele Limfjorden under stormen i 1954 er vist i Figur 10-12. Det ses, at de højeste vandstande optræder i Skive Fjord og Lovns Bredning som følge af, at kraftig vind fra nord presser ind i bassinet. Af figuren fremgår det endvidere, at maksimal vandstanden ved Struer er cirka 1,49 m, hvilket er i god overensstemmelse med en målt maksimal vandstand på 1,48 m. Endvidere ses det, at den lidt for lave maksimal vandstand ved Nykøbing Mors kan hænge sammen med, at der i modellen er presset for meget vand ned syd for Hvalpsund. Det kan dog være svært at afgøre, da

plottet af maksimal vandstandene ikke er udtryk for et øjebliksbillede, men i stedet refererer til det tidspunkt, hvor vandstanden toppet i hvert enkelt beregningselement.



Figur 10-12 Modellerede maksimal vandstande angivet i DNN under stormen i 1954.

10.3 Modellering af nutidige storme på historisk batymetri

Modelleringen af 1954 stormen bekræftede validiteten af 1958 modelbatymetri og den hydrodynamiske modelopsætning. Det giver derfor ræson at afvikle de seks nutidige referencestorme på den historiske batymetri, idet man herved kan identificere, hvor stor indvirkning udviklingen af Thyborøn Kanal har fået for stormflodsvandstandene i Limfjorden. Endvidere drives modellen af vandstanden fra Thyborøn Hav måleren, som er uafhængig af forholdene og ændringerne i Thyborøn Kanal og derfor må anses at være en valid randbetingelse, uanset om man betragter forholdene i 1958 eller 2005.

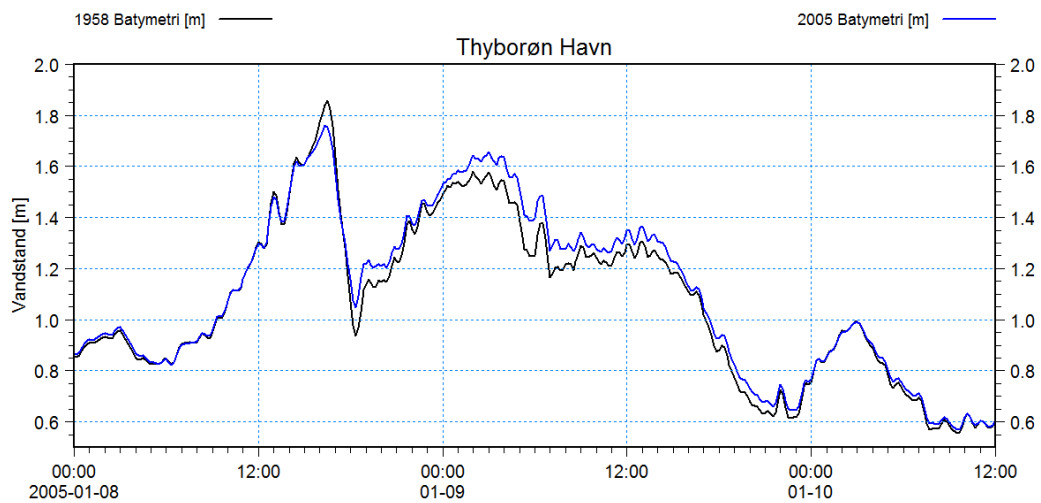
De seks storme er afviklet, uden der er korrigeret for havspejlsstigningen i perioden fra 1958 til 2005 på cirka 5 cm. Denne effekt skal derfor adderes til de i analysen nedenfor fundne vandstandsforskelle for at få den samlede effekt på stormflodsvandstandene.

10.3.1 Storm 1

En sammenligning af de modellerede vandstande under forløbet af Storm 1 på henholdsvis den historiske og nutidige batymetri er vist i de følgende figurer for stationerne: Thyborøn Havn, Lemvig, Løgstør, Nykøbing Mors, Skive og Thisted. Det ses som forventet, at stormflodsniveauerne baseret på den historiske batymetri falder i alle stationerne inde i Limfjorden. I Thyborøn Havn bliver maksimal vandstanden under den første top højere på grund af en kraftigere flaskehalseffekt forårsaget af en hurtig og voldsom vandstandsstigning i havet. Under den anden top, hvor vandstanden i havet stiger langsommere, er billedet analogt til stationerne inde i Limfjorden.

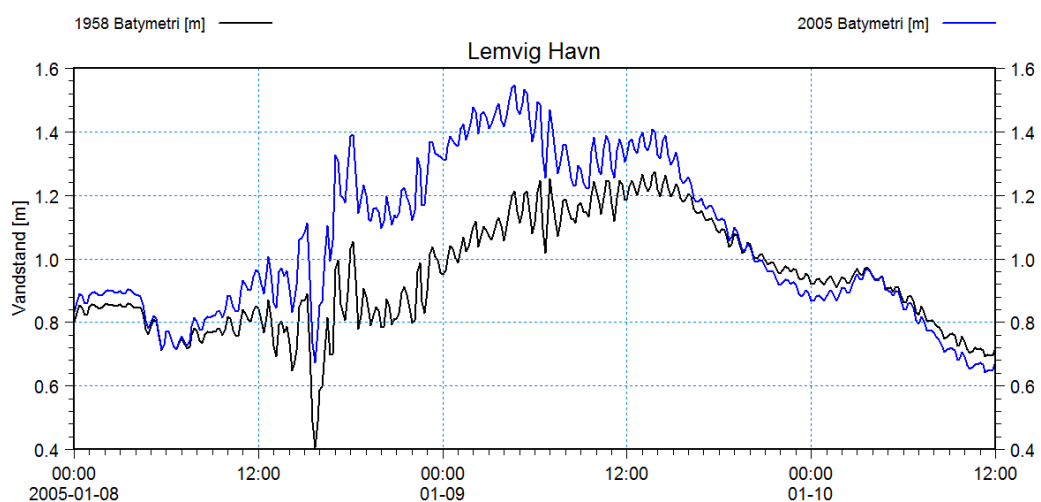
Den største forskel i stormflodsniveauerne finder sted inde i Nissum Bredning, hvilket fremgår af de i Figur 10-14 plottede vandstande for Lemvig. Årsagen til dette er, at det er langt vanskeligere at presse vand igennem Thyborøn Kanal i 1958 batymetri end i 2005 batymetri. Den videre indstrømning til Limfjordssystemet reguleres af indsnæv-

ringen ved Oddesund og slår derfor først igennem på de øvrige stationer med nogen forsinkelse og reduceret virkning.

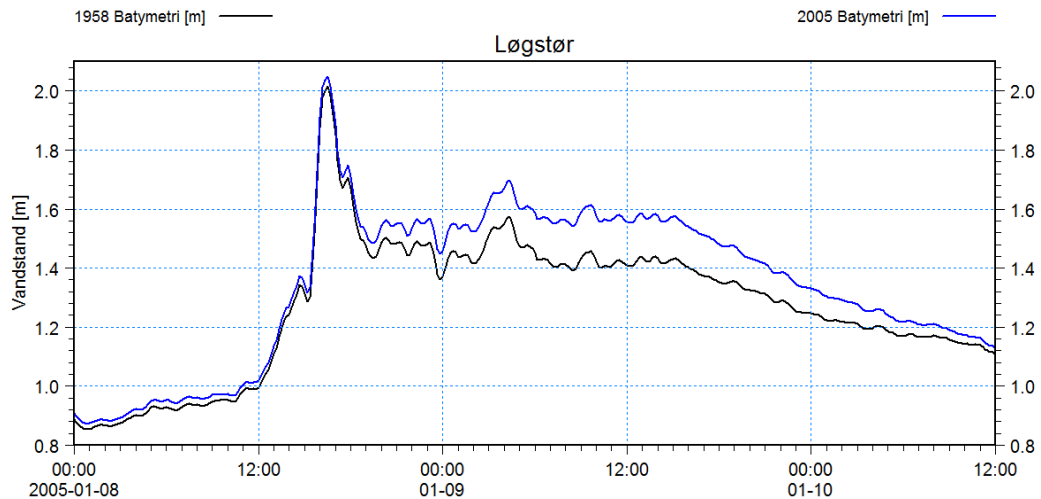


Figur 10-13 Sammenligning af modellerede vandstande i Thyborøn Havn med en 1958 batymetri og 2005 batymetri.

Maksimalvandstanden ved Løgstør under Storm 1 er kun meget svagt influeret af de ændrede forhold i Thyborøn. Dette skyldes, at den højeste vandstand optræder tidligt i forløbet som følge af en kraftig vindstuvning, og før de indtrængende vandmasser i Limfjordssystemet når frem. Maksimalvandstande under Storm 1 er den højest registrerede vandstand ved Løgstør og i højvandsstatistikken fra 2007 (Ref. /1/) vurderet til at være sjældnere end en 100 års hændelse. Det er derfor ganske tankevækkende, at modelresultaterne indikerer, at vandstanden i Løgstør kunne være endt højere, hvis stormen havde kulmineret nogle timer senere. I den senere del af tidsserien ses effekten af den reducerede indstrømning i 1958 batymetrien klart.

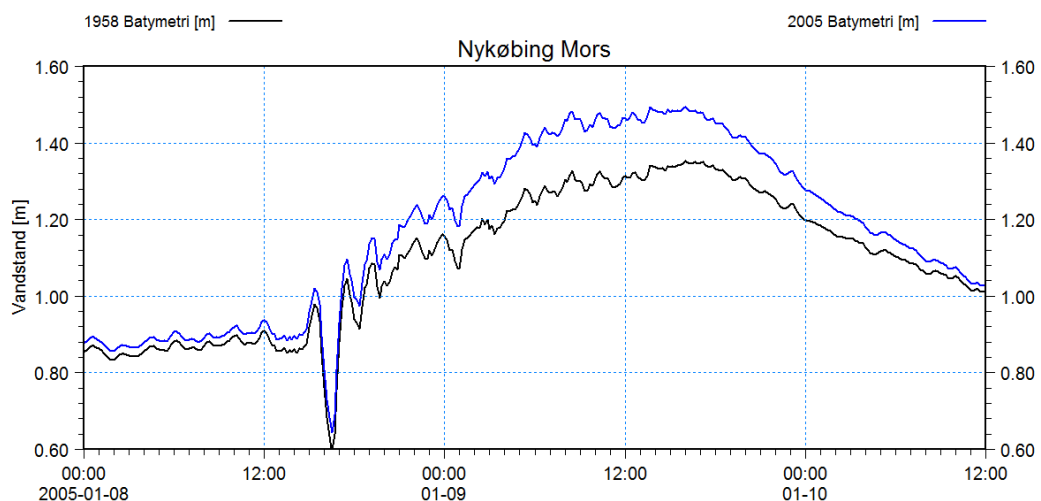


Figur 10-14 Sammenligning af modellerede vandstande i Lemvig Havn med en 1958 batymetri og 2005 batymetri.

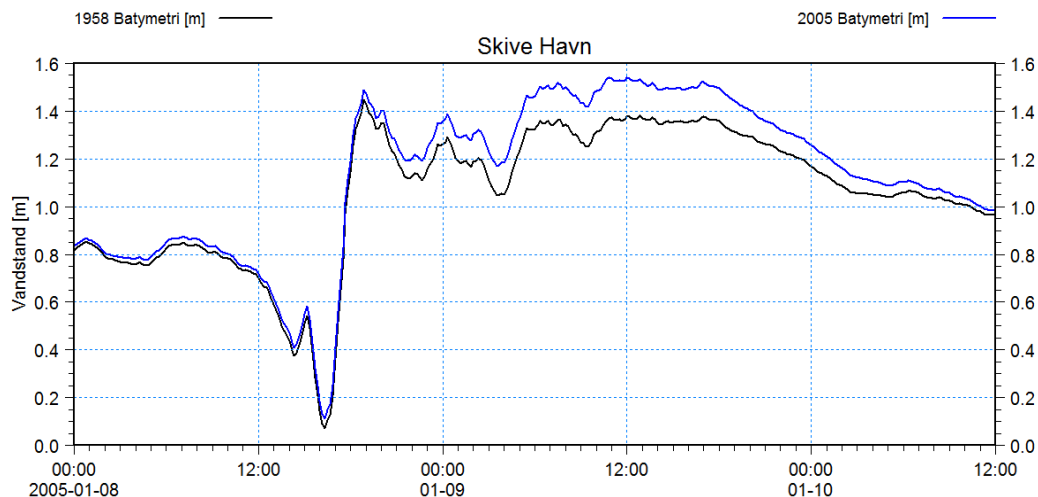


Figur 10-15 Sammenligning af modellerede vandstande i Løgstør med en 1958 batymetri og 2005 batymetri.

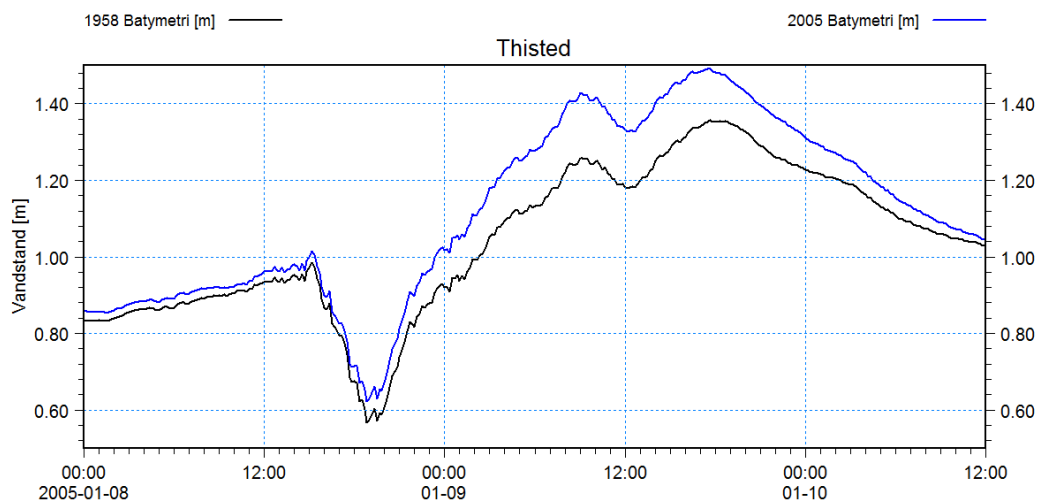
Vandstanden ved Nykøbing Mors og Thisted topper sent i forløbet. Maksimalvandstanden optræder derfor samtidigt i de to simuleringer. Forskellen er blot, at maksimalvandstanden er reduceret 13-14 cm i simuleringen på 1958 batymetrien. For Skive er situationen anderledes. Her optræder den højeste vandstand i simuleringen på 1958 batymetrien tidligt i forløbet og analogt til Løgstør, mens den på 2005 batymetrien toppe cirka 18 timer senere. På den historiske batymetri er det vindstuvningen som forårsager maksimalvandstande, mens det på den nutidige er den forøgede indstrømning gennem Thyborøn Kanal som bliver bestemmende.



Figur 10-16 Sammenligning af modellerede vandstande i Nykøbing Mors med en 1958 batymetri og 2005 batymetri.

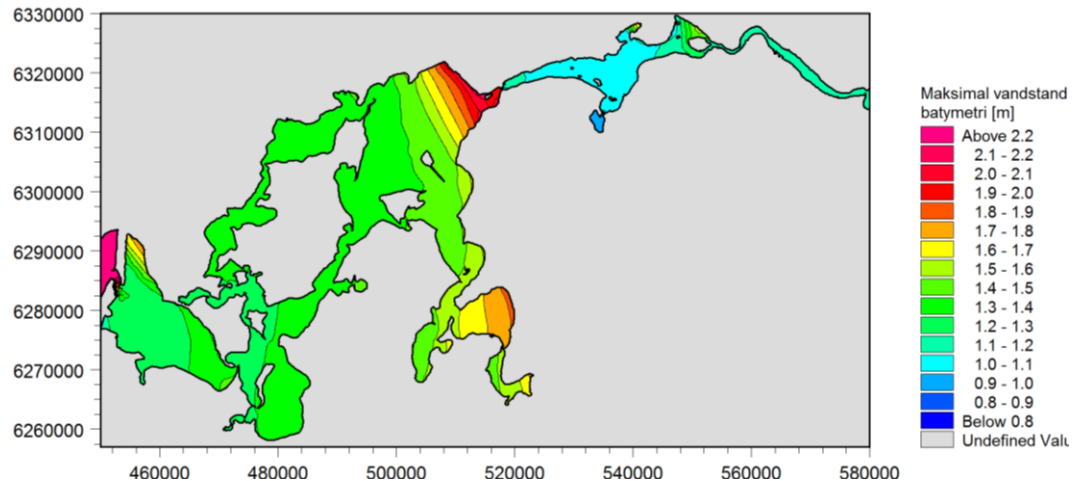


Figur 10-17 Sammenligning af modellerede vandstande i Skive med en 1958 batymetri og 2005 batymetri.



Figur 10-18 Sammenligning af modellerede vandstande i Thisted med en 1958 batymetri og 2005 batymetri.

I Figur 10-19 er der vist et konturplot af maksimalvandstandene på 1958 batymetrien. Den meget kraftige vindstuvning i Løgstør Bredning er tydelig at identificere og afspejler, at vindretningen i kombination med vindhastigheden er tæt på at være så ugunstig som den overhovedet kan blive.



Figur 10-19 Modelleret maksimal vandstand under forløbet af Storm 1 baseret på en batymetri svarende til forholdene i 1958.

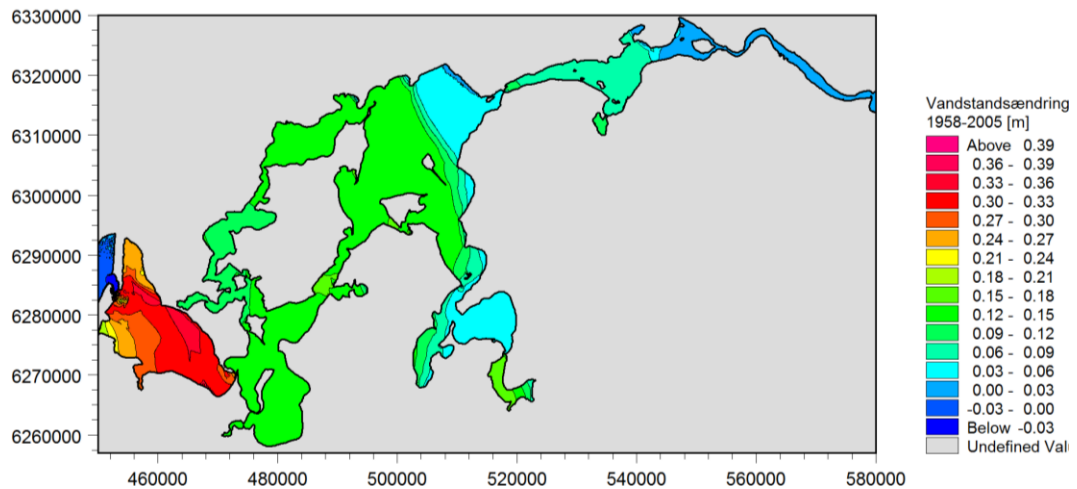
I Tabel 10-2 er der lavet en sammenligning og oversigt over modellerede maksimal vandstande under forløbet af Storm 1 i en række Limfjordsstationer for henholdsvis den historiske og nutidige batymetri. Af tabellen fremgår det, at effekten slår meget forskelligt igennem, men mest markant i Lemvig med 28 cm. Ved Løgstør og Rønbjerg er effekten beskedne 4-6 cm, idet maksimal vandstanden primært genereres af en kraftig vindstuvning tidligt i forløbet.

Tabel 10-2 Sammenligning af modellerede vandstande for Storm 1 med en henholdsvis historisk og nutidig batymetri.

Station	Maksimal vandstand 1958 batymetri [m]	Maksimal vandstand 2005 batymetri [m]	Vandstandsforøgelse [m]
Thyborøn Havn	1,86	1,76	-0,10
	1,59	1,66	0,07
Lemvig	1,27	1,55	0,28
Løgstør	2,01	2,05	0,04
Nibe	1,07	1,13	0,06
Ålborg	1,13	1,15	0,02
Mors	1,35	1,49	0,14
Skive	1,45	1,54	0,09
Hvalpsund	1,56	1,61	0,05
Thisted	1,36	1,49	0,13
Rønbjerg	1,56	1,62	0,06
Øland Attrup	1,07	1,15	0,08

Et grafisk overblik over effekten i maksimal vandstandsforøgelse fra 1958 til 2005 er vist i Figur 10-20. I dette plot kan man tydeligt identificere den grænse, hvortil den for-

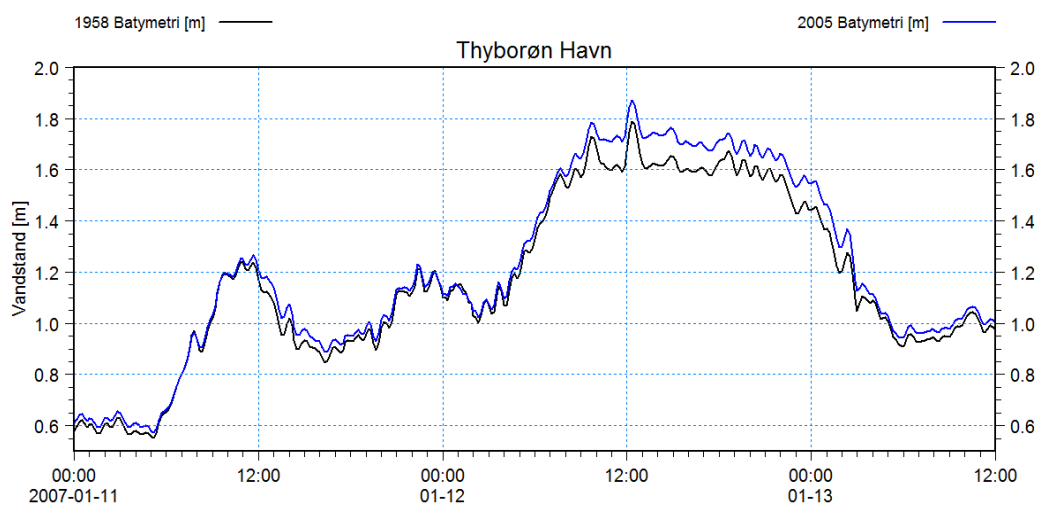
øgede indstrømning gennem Thyborøn influerer på maksimal vandstanden i form af den skarpe farveovergang fra turkis til grøn. Øst for denne linje slår effekten af det forøgede kanaltværsnit ikke igennem.



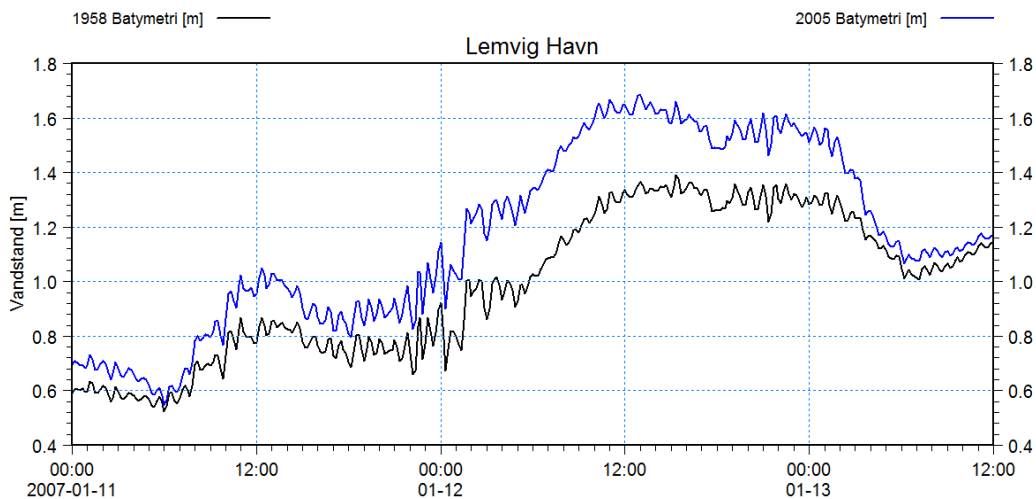
Figur 10-20 Modelleret ændring af maksimalvandstand i perioden 1958 til 2005 for Storm 1, som følge af den morfologiske udvikling af Thyborøn Kanal og løb og fjordgrunde i Nissum Bredning.

10.3.2 Storm 2

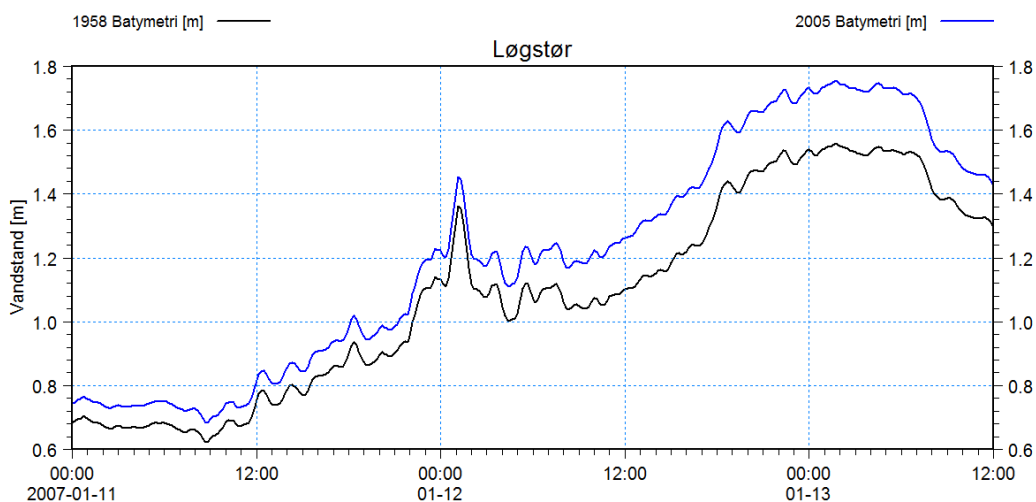
Storm 2 er i modsætning til Storm 1 en mere typisk stormhændelse, hvor de høje vandstande i mere udpræget grad er knyttet til indstrømningen af vand til Limfjordssystemet gennem Thyborøn Kanal end vindstuvningseffekter. Vandstandsforløbet i Thyborøn Havn, Lemvig, Løgstør, Nykøbing Mors, Skive og Thisted under Storm 2 er sammenlignet i Figur 10-21 til Figur 10-26 for den historiske og næsten nutidige batymetri. Heraf fremgår det, at maksimal vandstanden i den vestlige del af Limfjorden er vokset 16-28 cm i perioden fra 1958 til 2005 som følge af den forøgede åbning af Thyborøn Kanal. Effekten er størst i Nissum Bredning. Effekten svækkes øst for Oddesund, men er forsat markant.



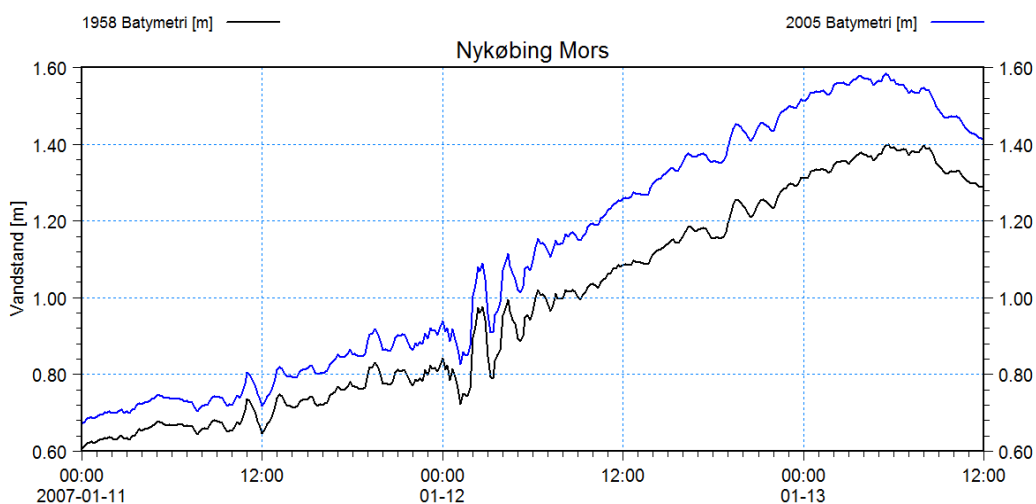
Figur 10-21 Sammenligning af modellerede vandstande i Thyborøn Havn med en 1958 batymetri og 2005 batymetri.



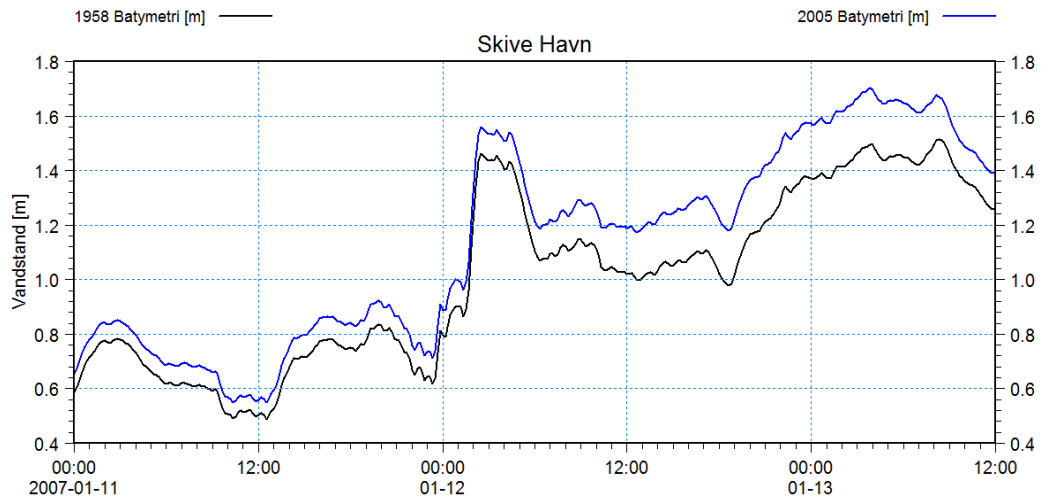
Figur 10-22 Sammenligning af modellerede vandstande i Lemvig Havn med en 1958 batymetri og 2005 batymetri.



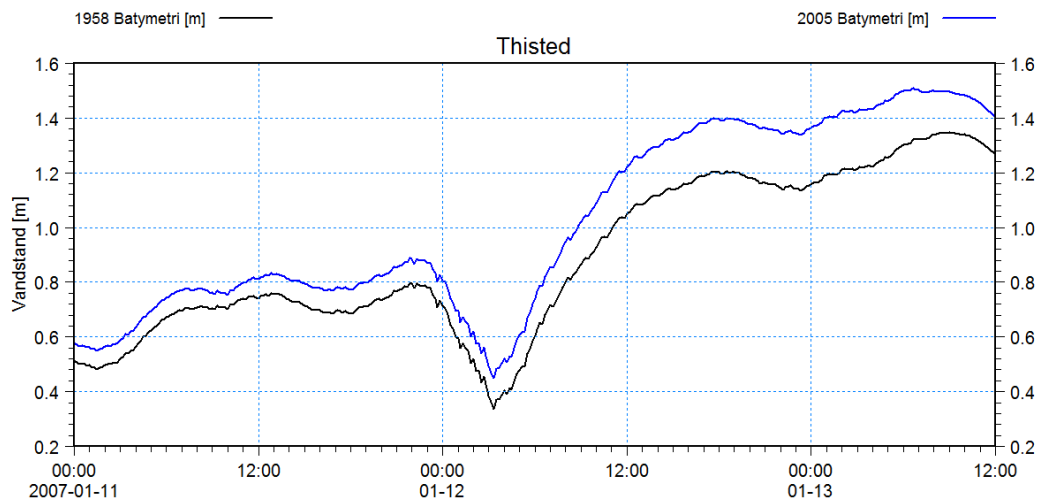
Figur 10-23 Sammenligning af modellerede vandstande i Løgstør med en 1958 batymetri og 2005 batymetri.



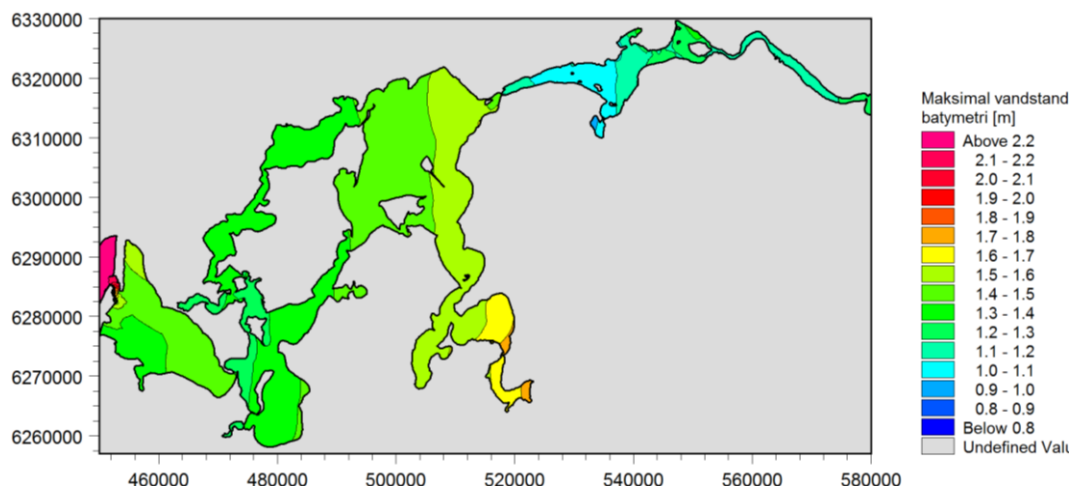
Figur 10-24 Sammenligning af modellerede vandstande i Nykøbing Mors med en 1958 batymetri og 2005 batymetri.



Figur 10-25 Sammenligning af modellerede vandstande i Skive med en 1958 batymetri og 2005 batymetri.



Figur 10-26 Sammenligning af modellerede vandstande i Thisted med en 1958 batymetri og 2005 batymetri.



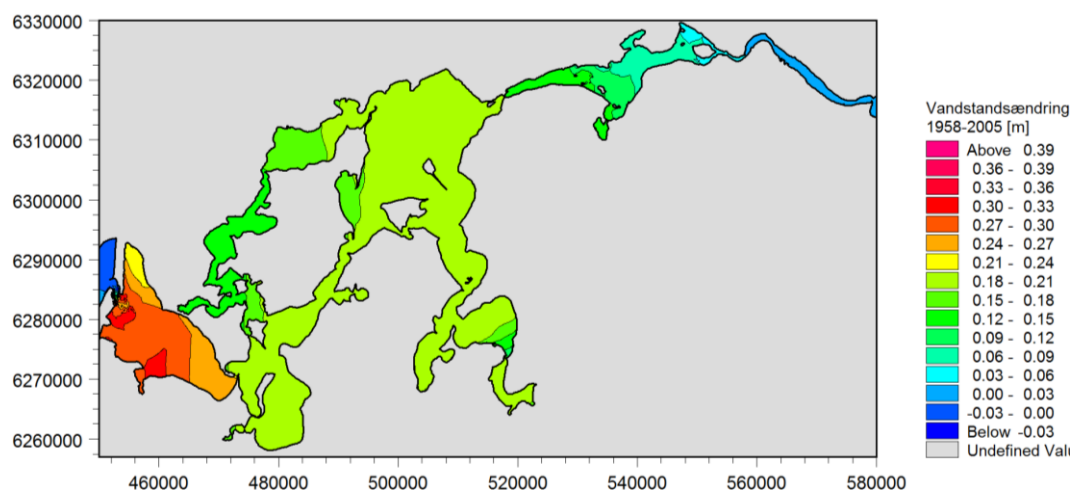
Figur 10-27 Modelleret maksimal vandstand under forløbet af Storm 2 baseret på en batymetri svarende til forholdene i 1958.

I Figur 10-27 er der vist et konturplot af maksimal vandstandene under forløbet af Storm 2 på 1958 batymetrien. Heraf ses, at vindstuvningseffekter er væsentlig svagere end under forløbet af Storm 1. De høje vandstande under Storm 2 er derfor i langt højere grad relateret til den kraftige indstrømning af vand til fjordsystemet gennem Thyborøn Kanal. De højeste vandstande ses at optræde ved Virksund i Lovns Bredning samt i Hjarbæk Fjord, hvorfra der ikke er måledata til rådighed.

I Tabel 10-3 er der lavet en sammenligning og oversigt over modellerede maksimal vandstande under forløbet af Storm 2 i en række Limfjordsstationer baseret på den historiske og nutidige batymetri. Af tabellen fremgår det, at effekten slår meget forskelligt igennem, men mest markant i Lemvig med 29 cm. I stationerne øst for Oddesund og vest for Løgstør er effekten forholdsvis konstant på 16-20 cm.

Tabel 10-3 Sammenligning af modellerede vandstande for Storm 2 med en henholdsvis historisk og nutidig batymetri.

Station	Maksimal vandstand 1958 batymetri [m]	Maksimal vandstand 2005 batymetri [m]	Vandstandsforøgelse [m]
Thyborøn Havn	1,79	1,87	0,08
Lemvig	1,39	1,68	0,29
Løgstør	1,56	1,75	0,19
Nibe	1,16	1,26	0,10
Ålborg	1,13	1,17	0,04
Mors	1,40	1,58	0,18
Skive	1,51	1,70	0,19
Hvalpsund	1,56	1,76	0,20
Thisted	1,35	1,51	0,16
Rønbjerg	1,53	1,73	0,20
Øland Attrup	1,07	1,20	0,13

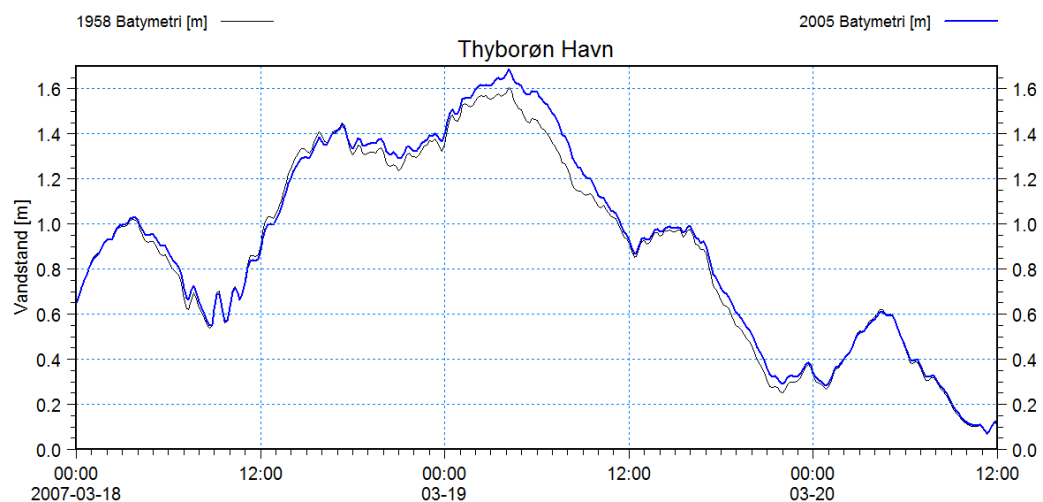


Figur 10-28 Modelleret ændring af maksimal vandstand i perioden 1958 til 2005 for Storm 2, som følger af den morfologiske udvikling af Thyborøn Kanal og løb og fjordgrunde i Nissum Bredning.

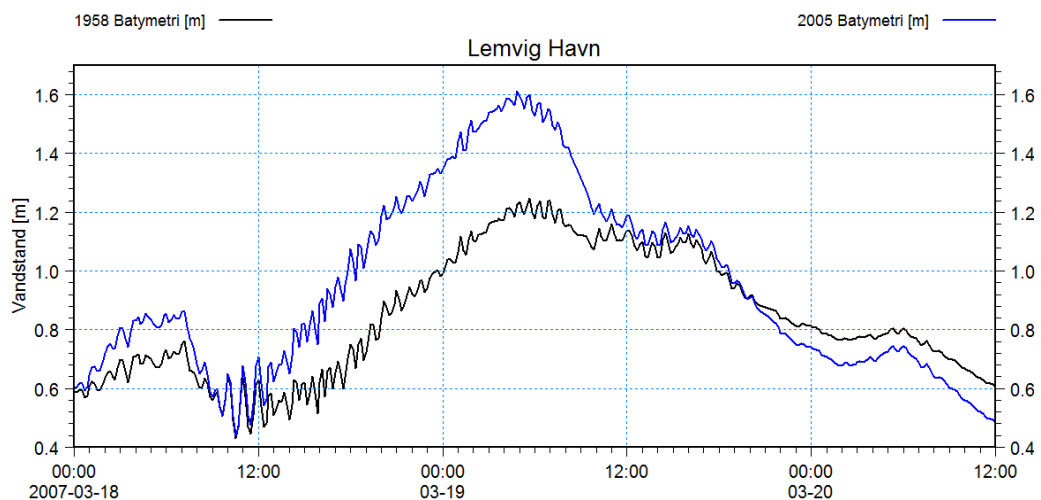
Et grafisk overblik over effekten i maksimal vandstandsforøgelse fra 1958 til 2005 er vist i Figur 10-28 i form af et konturplot. Heraf ses, at effekten på maksimal vandstanden er noget kraftigere, end hvad der blev fundet for Storm 1. I Nissum Bredning er effekten mellem 24-30 cm, mens den i den centrale del af Limfjorden varierer mellem 15-20 cm.

10.3.3 Storm 3

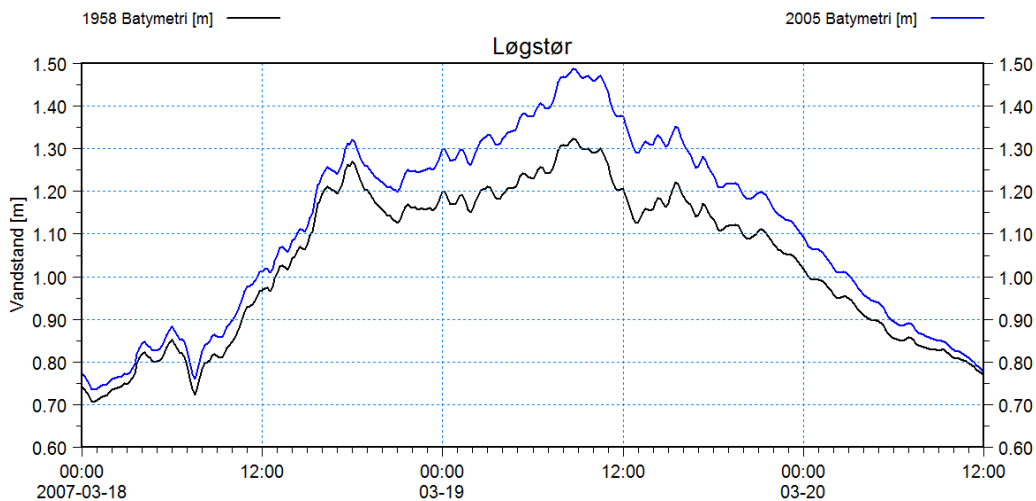
Storm 3 kan kategoriseres som værende af samme type som Storm 2, hvor det er mængden af indstrømmende vand gennem Thyborøn Kanal som primært er bestemmende for maksimal vandstanden niveau. I Figur 10-29 til og med Figur 10-34 er vandstandsforløbet under Storm 3 i stationerne Thyborøn Havn, Lemvig, Løgstør, Nykøbing mors, Skive og Thisted vist for historiske og nutidige forhold. Det ses, at maksimal vandstanden under stormen er vokset helt op til 40 cm i Nissum Bredning i perioden fra 1958 til 2005, som følge af den forøgede åbning af Thyborøn Kanal. Længere inde i systemet øst for Oddesund er effekten op til 20 cm.



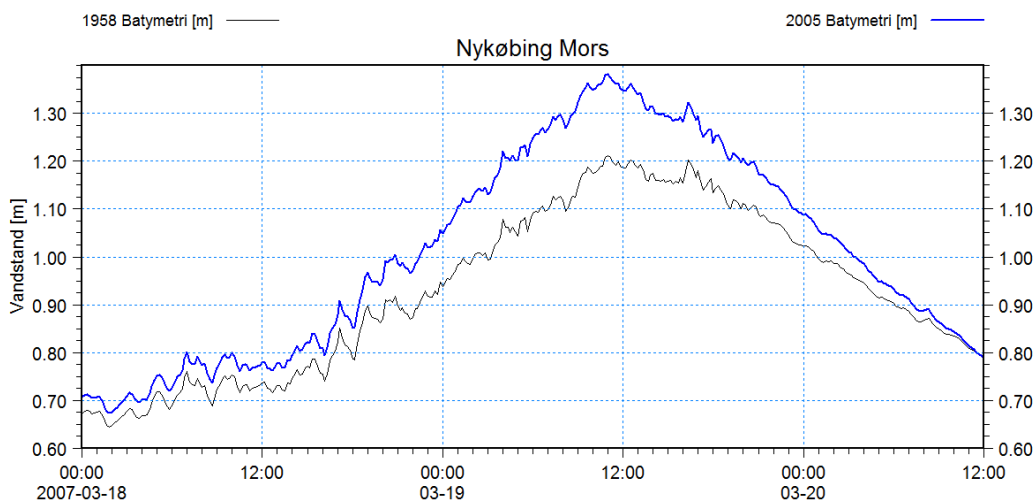
Figur 10-29 Sammenligning af modellerede vandstande i Thyborøn Havn med en 1958 batymetri og 2005 batymetri.



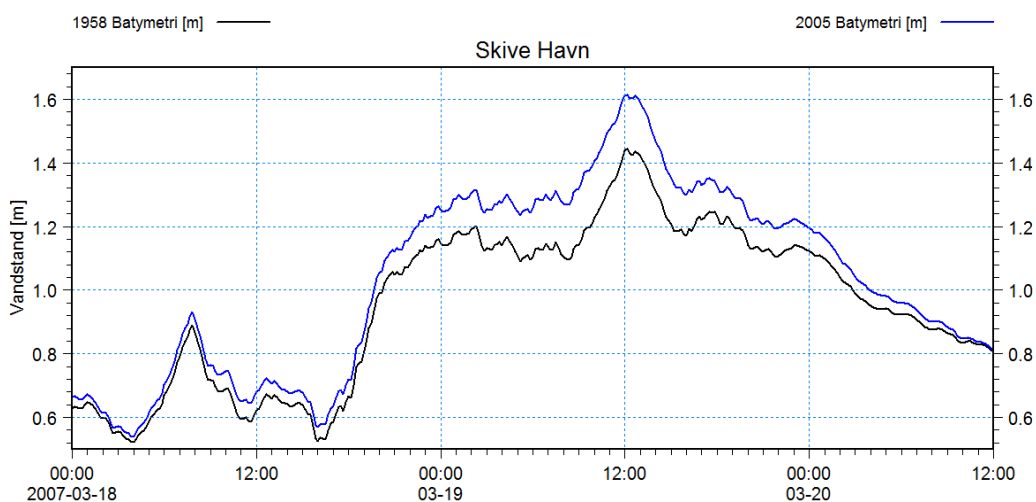
Figur 10-30 Sammenligning af modellerede vandstande i Lemvig Havn med en 1958 batymetri og 2005 batymetri.



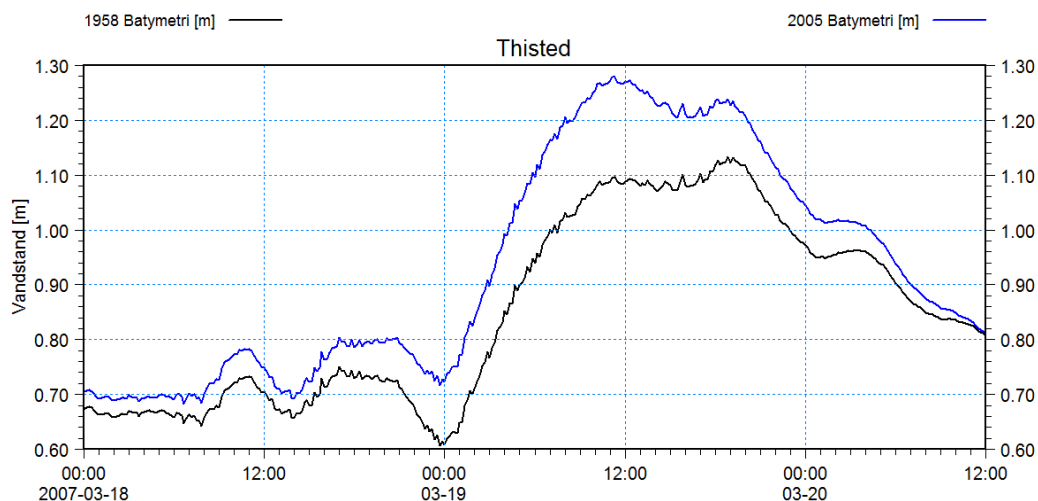
Figur 10-31 Sammenligning af modellerede vandstande i Løgstør med en 1958 batymetri og 2005 batymetri.



Figur 10-32 Sammenligning af modellerede vandstande i Nykøbing Mors med en 1958 batymetri og 2005 batymetri.



Figur 10-33 Sammenligning af modellerede vandstande i Skive med en 1958 batymetri og 2005 batymetri.



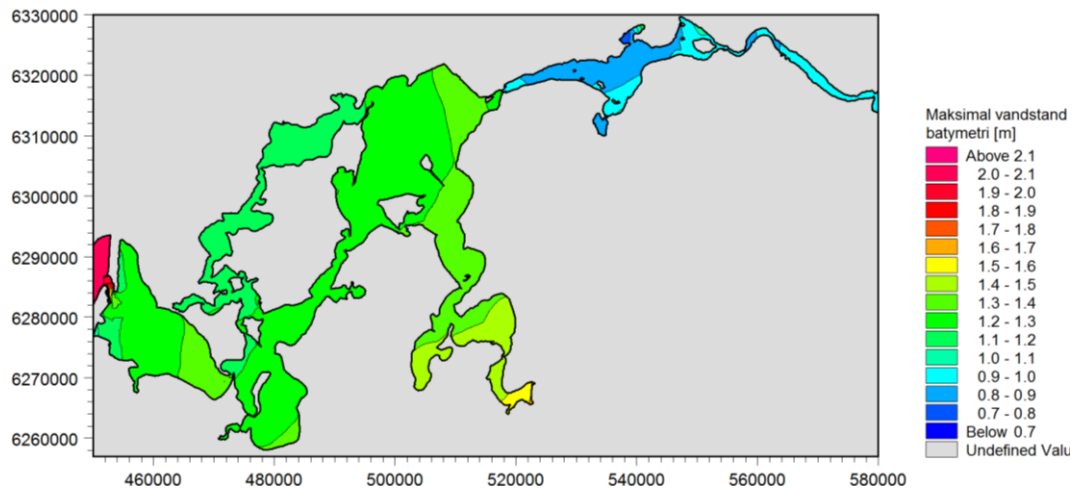
Figur 10-34 Sammenligning af modellerede vandstande i Thisted med en 1958 batymetri og 2005 batymetri.

I Tabel 10-4 er der lavet en sammenligning og oversigt over modellerede maksimal vandstande under forløbet af Storm 3 i en række Limfjordsstationer baseret på den historiske og nutidige batymetri. Af tabellen fremgår det, at effekten slår kraftigt igennem i Nissum Bredning med 36 cm i Lemvig. I stationerne øst for Oddesund og vest for Løgstør er effekten svagt varierende mellem 15-18 cm. I Limfjordskanalen øst for Aggersund er der vandstandsforøgelse på op til 8 cm med aftagende tendens mod øst.

Tabel 10-4 Sammenligning af modellerede vandstande for Storm 3 med en henholdsvis historisk og nutidig batymetri.

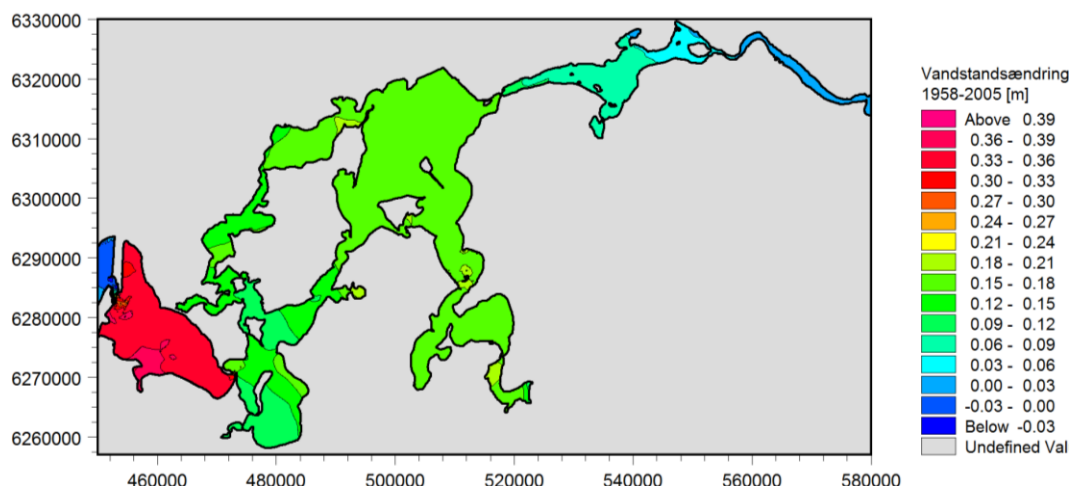
Station	Maksimal vandstand 1958 batymetri [m]	Maksimal vandstand 2005 batymetri [m]	Vandstandsforøgelse [m]
Thyborøn Havn	1,61	1,69	0,08
Lemvig	1,25	1,61	0,36
Løgstør	1,32	1,49	0,17
Nibe	0,96	1,03	0,07
Ålborg	0,91	0,94	0,03
Mors	1,21	1,38	0,17
Skive	1,44	1,61	0,17
Hvalpsund	1,35	1,53	0,18
Thisted	1,13	1,28	0,15
Rønbjerg	1,31	1,48	0,17
Øland Attrup	0,85	0,93	0,08

I Figur 10-35 er der vist et konturplot af maksimalvandstandene under forløbet af Storm 3 på 1958 batymetrien. Heraf ses, at vindstuvningseffekter er væsentlig svagere end under forløbet af Storm 1. De højeste vandstande ses at optræde i Hjarbæk Fjord, Lovns Bredning og Skive Fjord, som følge af at vinden presser vandet mod sydøst.



Figur 10-35 Modelleret maksimal vandstand under forløbet af Storm 3 baseret på en batymetri svarende til forholdene i 1958.

Et grafisk overblik over effekten i maksimalvandstandsforøgelse fra 1958 til 2005 er vist i Figur 10-36. Det ses, at effekten med over 30 cm er meget markant i Nissum Bredning, mens den i den centrale del af Limfjorden varierer mellem 10-18 cm.

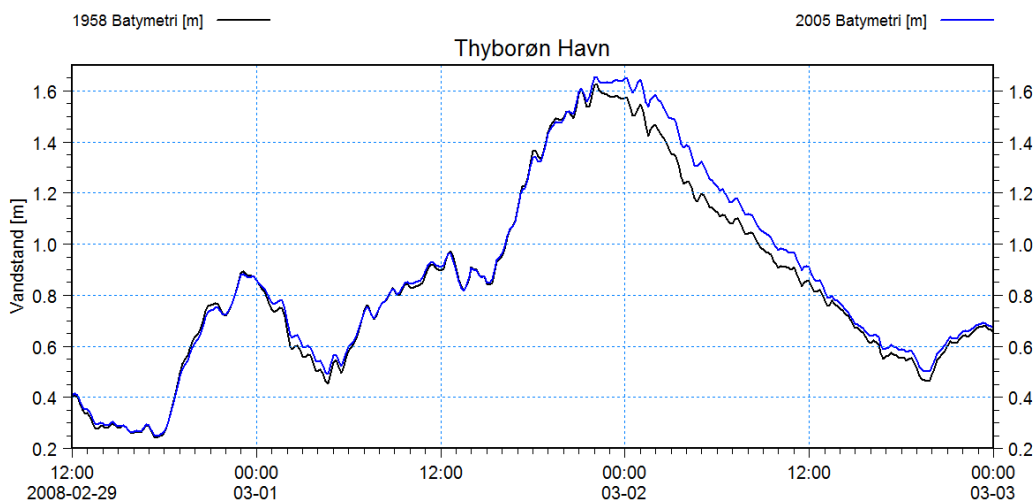


Figur 10-36 Modelleret ændring af maksimal vandstand i perioden 1958 til 2005 for Storm 3, som følge af den morfologiske udvikling af Thyborøn Kanal og løb og fjordgrunde i Nissum Bredning.

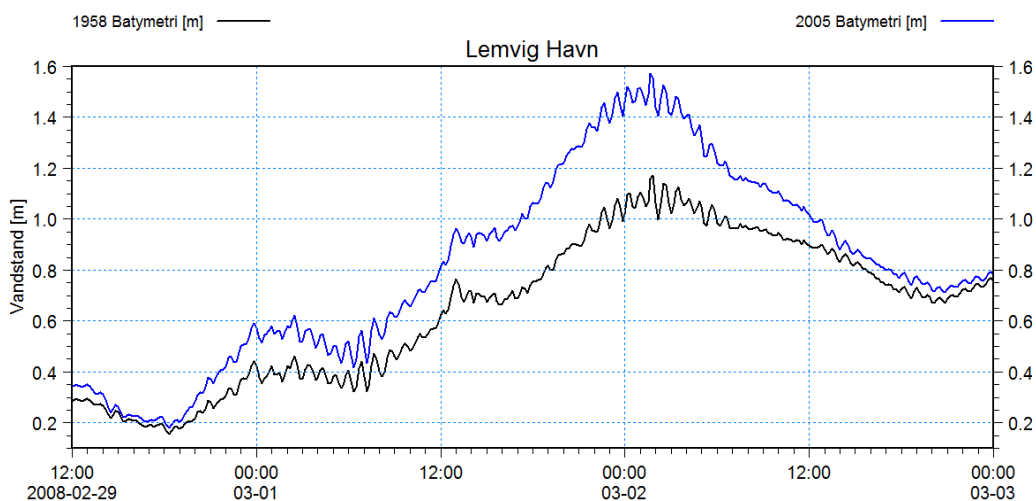
10.3.4 Storm 4

Vandstandsforløbet under forløbet af Storm 4 i Thyborøn Havn, Lemvig, Løgstør, Nykøbing Mors, Skive og Thisted er sammenlignet i Figur 10-37 til Figur 10-42 for den historiske og nutidige batymetri. Heraf fremgår det, at maksimalvandstanden i den vestlige del af Limfjorden er vokset med helt op til 40 cm i perioden fra 1958 til 2005, som følge af den forøgede åbning af Thyborøn Kanal. Effekten er størst i Nissum Bredning,

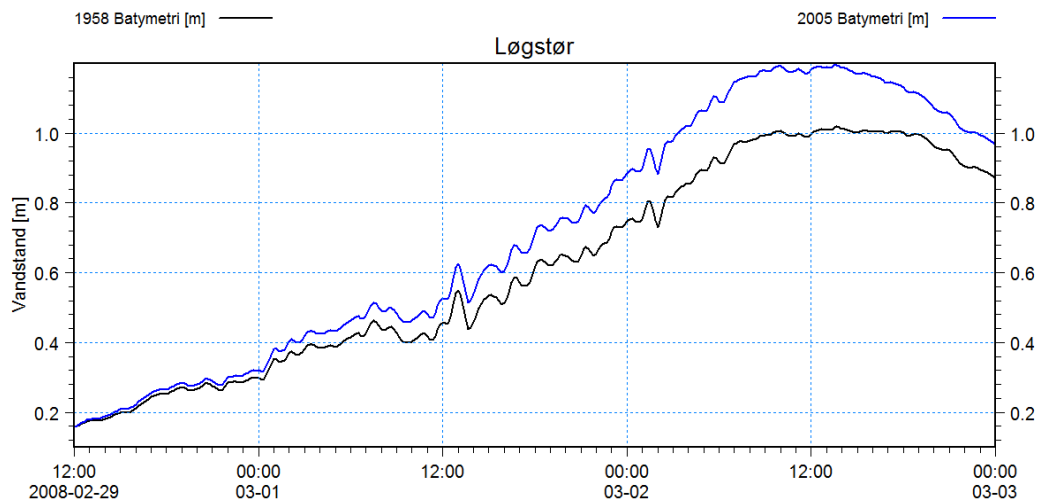
idet den svækkes af indsnævringen ved Oddesund. Effekten på maksimalvandstanden under forløbet af Storm 4 er dog meget markant i hele den vestlige del af Limfjorden, og kraftigere end for de øvrige storme.



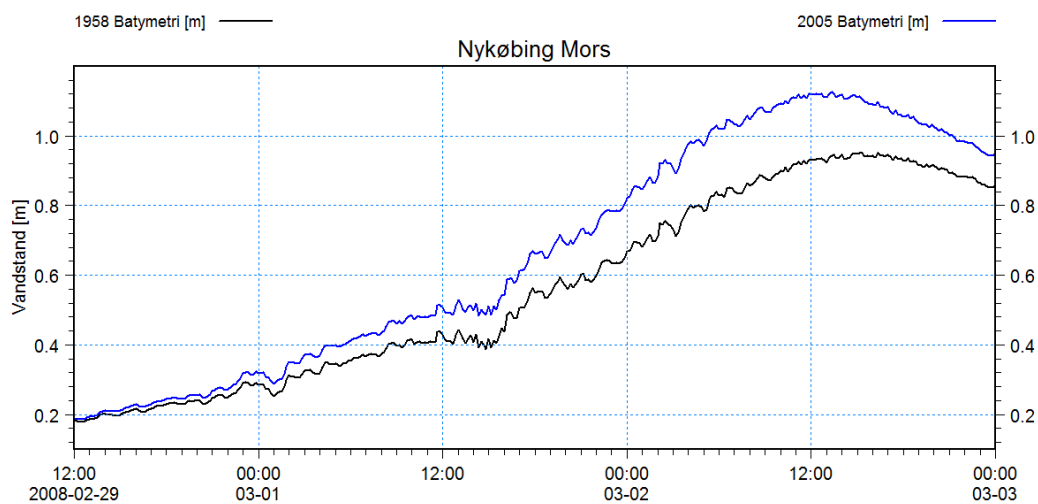
Figur 10-37 Sammenligning af modellerede vandstande i Thyborøn Havn med en 1958 batymetri og 2005 batymetri.



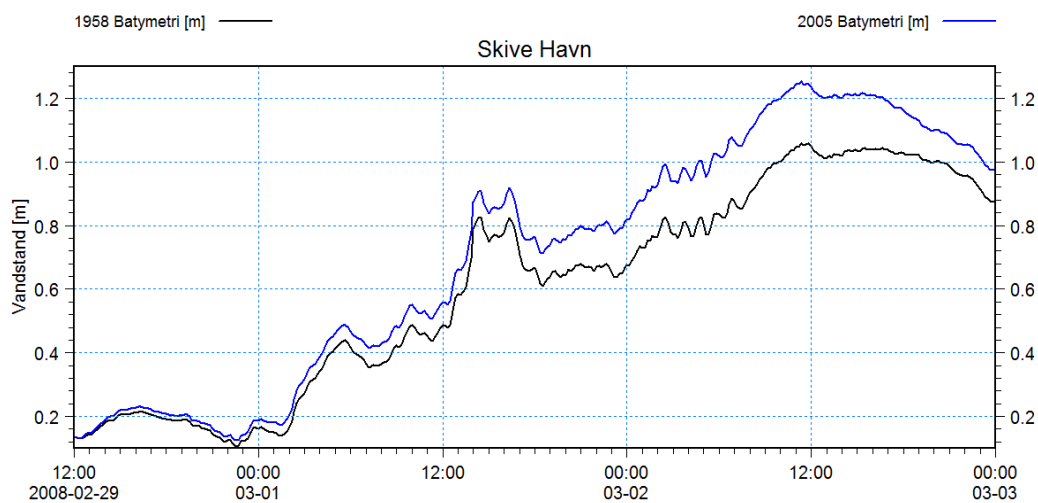
Figur 10-38 Sammenligning af modellerede vandstande i Lemvig Havn med en 1958 batymetri og 2005 batymetri.



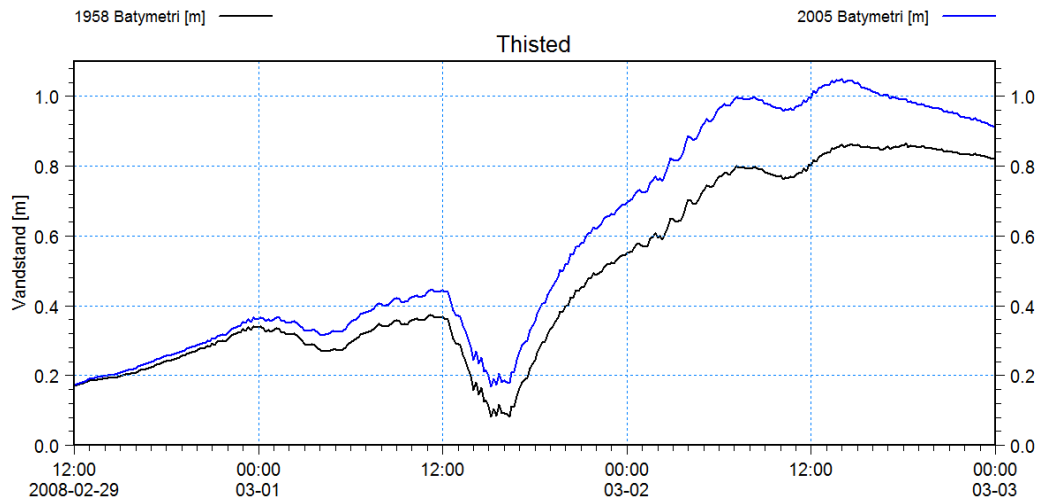
Figur 10-39 Sammenligning af modellerede vandstande i Løgstør med en 1958 batymetri og 2005 batymetri.



Figur 10-40 Sammenligning af modellerede vandstande i Nykøbing Mors med en 1958 batymetri og 2005 batymetri.



Figur 10-41 Sammenligning af modellerede vandstande i Skive med en 1958 batymetri og 2005 batymetri.

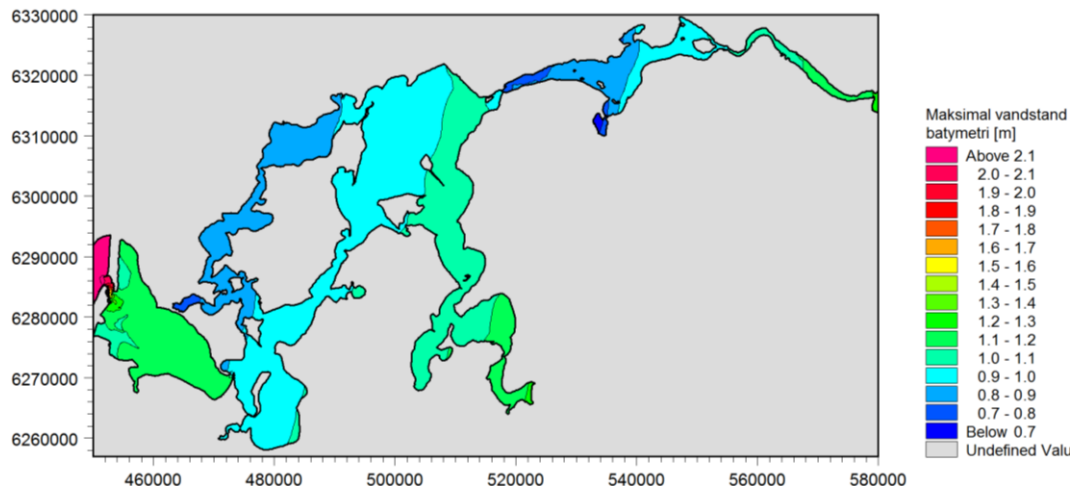


Figur 10-42 Sammenligning af modellerede vandstande i Thisted med en 1958 batymetri og 2005 batymetri.

I Tabel 10-5 er der lavet en sammenligning og oversigt over modellerede maksimal vandstande under forløbet af Storm 4 i en række Limfjordsstationer baseret på den historiske og nutidige batymetri. Af tabellen fremgår det, at effekten slår meget kraftigt igennem i Nissum Bredning med hele 40 cm i Lemvig. I stationerne øst for Oddesund og vest for Løgstør er effekten forholdsvis konstant 18-19 cm. I Limfjordskanalen øst for Aggersund er der vandstandsforøgelser på op til 9 cm med aftagende tendens rettet mod øst. Sammenlignet med Storm 1, 2 og 3 er Storm 4 den storm, hvor udviklingen af Thyborøn Kanal fra 1958 til 2005 har størst indvirkning på maksimal vandstandene i hele Limfjorden.

Tabel 10-5 Sammenligning af modellerede vandstande for Storm 4 med en henholdsvis historisk og nutidig batymetri.

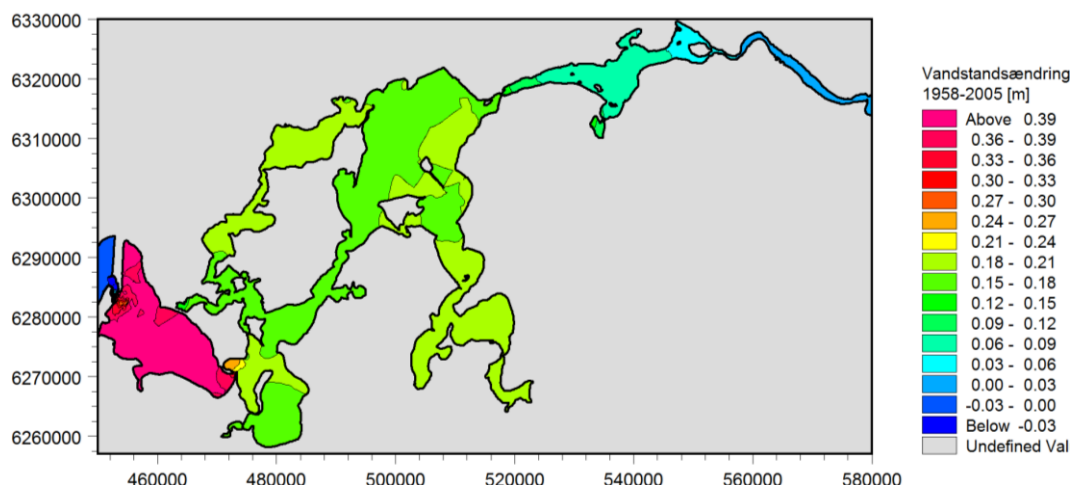
Station	Maksimal vandstand 1958 batymetri [m]	Maksimal vandstand 2005 batymetri [m]	Vandstandsforøgelse [m]
Thyborøn Havn	1,63	1,66	0,03
Lemvig	1,17	1,57	0,40
Løgstør	1,02	1,20	0,18
Nibe	0,93	1,00	0,07
Ålborg	1,01	1,04	0,03
Mors	0,95	1,13	0,18
Skive	1,06	1,25	0,19
Hvalpsund	1,06	1,24	0,18
Thisted	0,87	1,05	0,18
Rønbjerg	1,02	1,21	0,19
Øland Attrup	0,81	0,90	0,09



Figur 10-43 Modelleret maksimal vandstand under forløbet af Storm 4 baseret på en batymetri svarende til forholdene i 1958.

I Figur 10-43 er der vist et konturplot af maksimal vandstandene under forløbet af Storm 4 på 1958 batymetrien. Vindstuvningseffekter i den centrale del af Limfjorden kan tydeligt identificeres, men styrken er væsentlig svagere, end hvad der blev fundet for Storm 1. De højeste vandstande ses at optræde i Nissum Bredning, Hjarbæk Fjord og Lovns Bredning, samt i den østligste del af Limfjordskanalen.

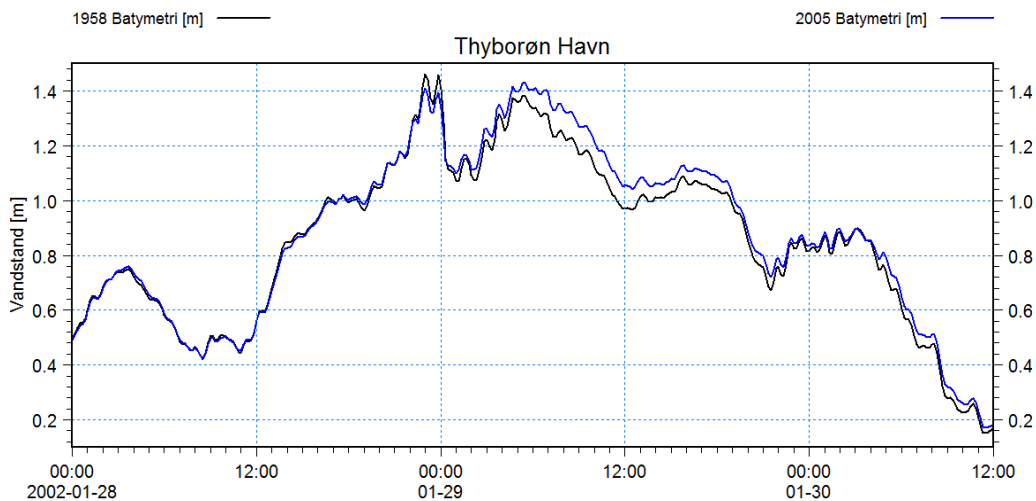
Et grafisk overblik over effekten i maksimal vandstandsforøgelse fra 1958 til 2005 er vist i Figur 10-44. Det ses, at effekten med omkring 40 cm er meget markant i Nissum Bredning, mens den i den centrale del af Limfjorden er forholdsvis jævnt fordelt med 17-18 cm.



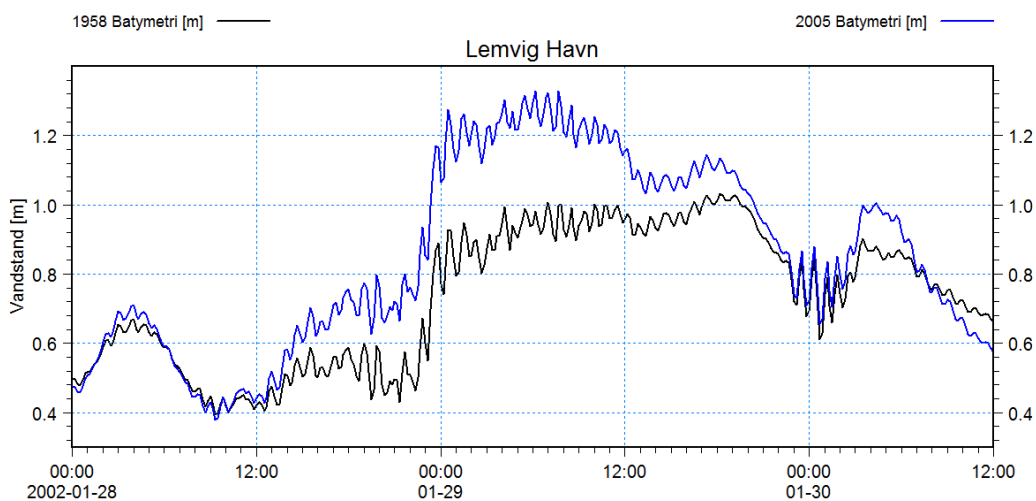
Figur 10-44 Modelleret ændring af maksimal vandstand i perioden 1958 til 2005 for Storm 4, som følge af den morfologiske udvikling af Thyborøn Kanal og løb og fjordgrunde i Nissum Bredning.

10.3.5 Storm 5

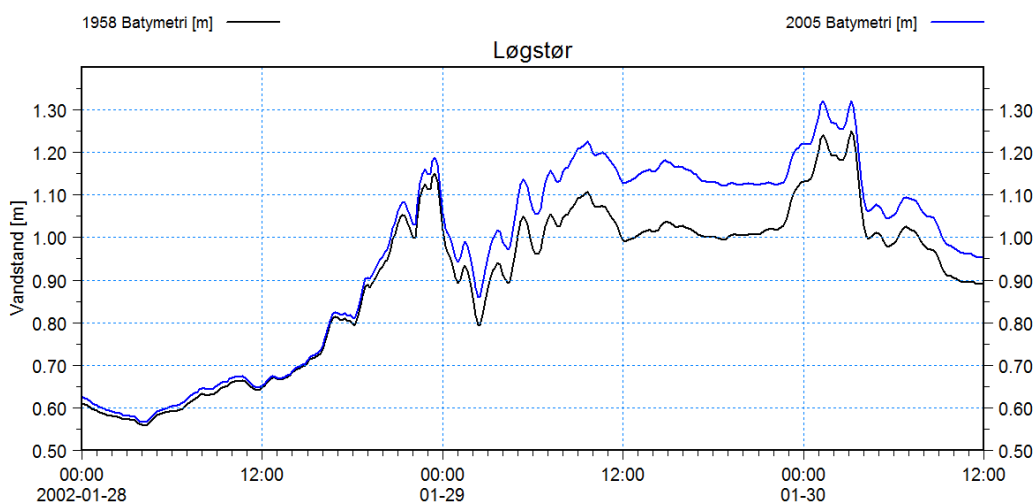
Vandstandsforløbet under forløbet af Storm 5 i Thyborøn Havn, Lemvig, Løgstør, Nykøbing Mors, Skive og Thisted er sammenlignet i Figur 10-45 til Figur 10-50 for den historiske og nutidige batymetri. Plottene viser, at vandstandsniveauet i Limfjorden under stormflod generelt stiger som følge af det forøgede åbningstværsnit som Thyborøn Kanal har i dag.



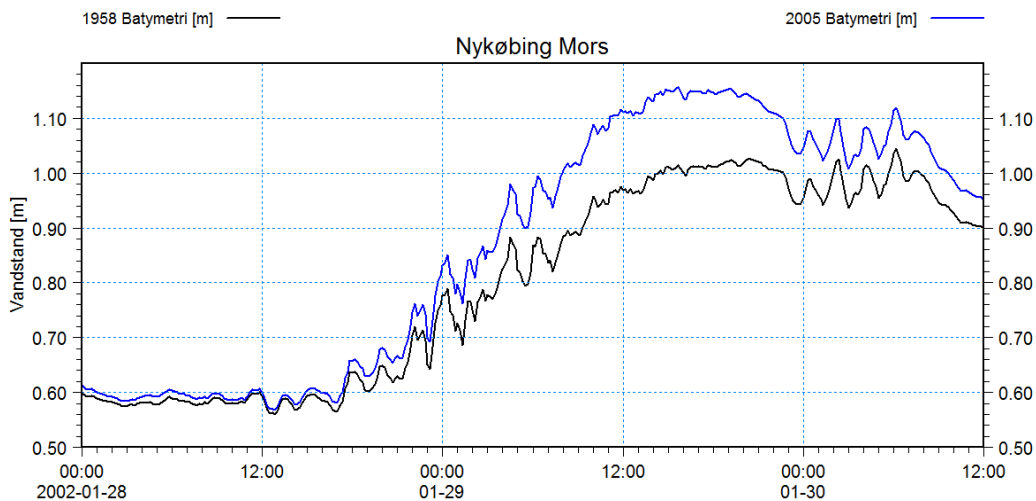
Figur 10-45 Sammenligning af modellerede vandstande i Thyborøn Havn med en 1958 batymetri og 2005 batymetri.



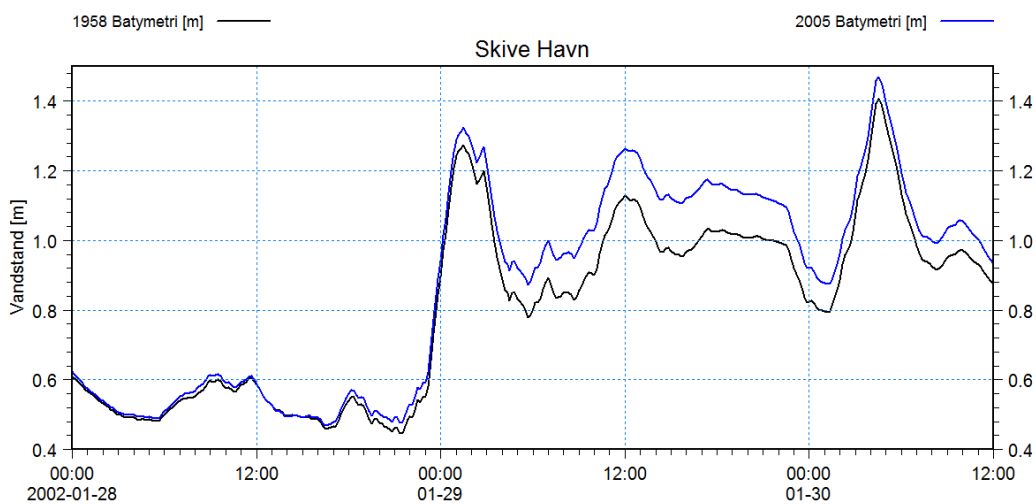
Figur 10-46 Sammenligning af modellerede vandstande i Lemvig Havn med en 1958 batymetri og 2005 batymetri.



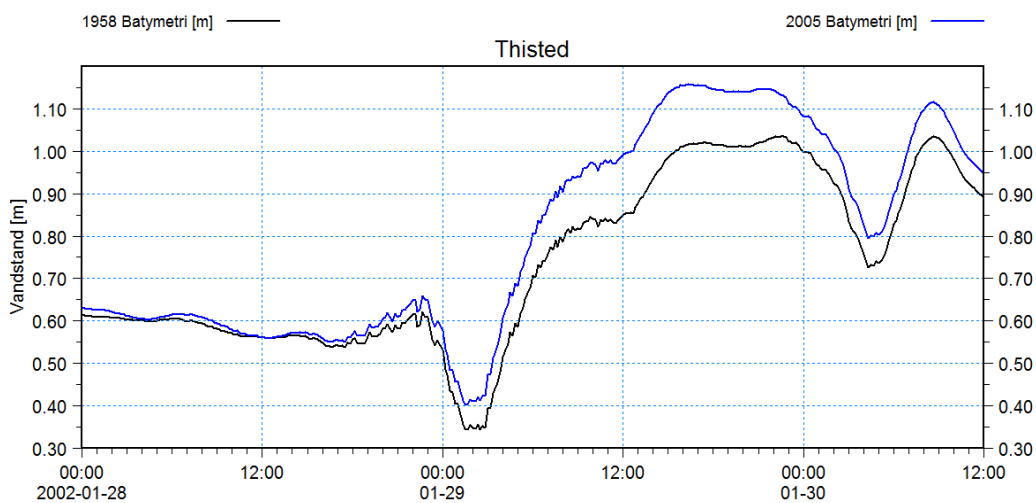
Figur 10-47 Sammenligning af modellerede vandstande i Løgstør med en 1958 batymetri og 2005 batymetri.



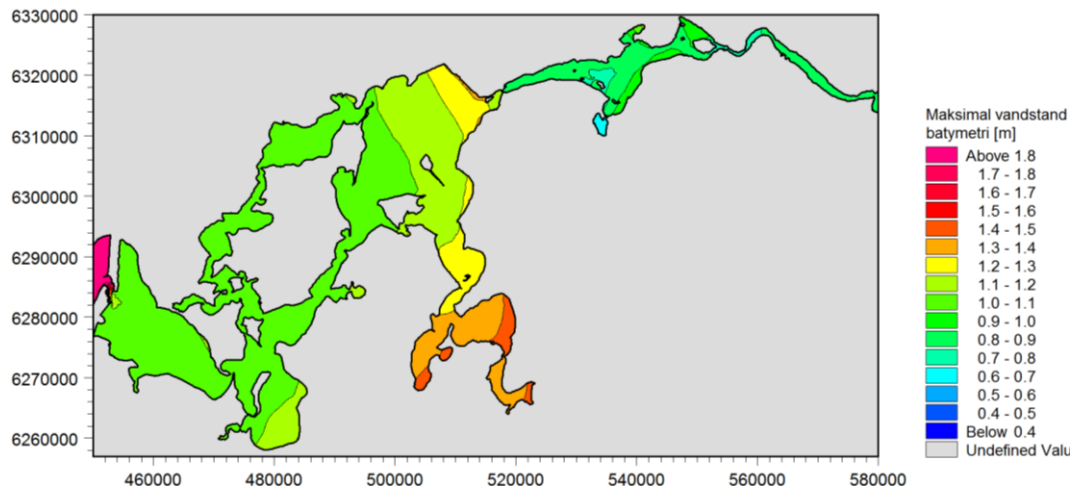
Figur 10-48 Sammenligning af modellerede vandstande i Nykøbing Mors med en 1958 batymetri og 2005 batymetri.



Figur 10-49 Sammenligning af modellerede vandstande i Skive med en 1958 batymetri og 2005 batymetri.



Figur 10-50 Sammenligning af modellerede vandstande i Thisted med en 1958 batymetri og 2005 batymetri.



Figur 10-51 Modelleret maksimal vandstand under forløbet af Storm 5 baseret på en batymetri svarende til forholdene i 1958.

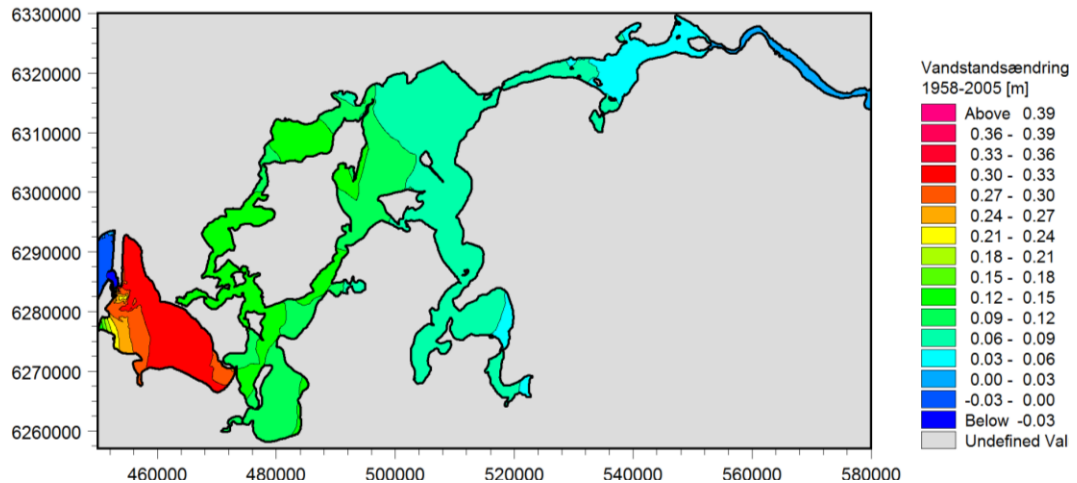
I Figur 10-51 er der vist et konturplot af maksimal vandstandene under forløbet af Storm 5 på 1958 batymetrien. Vindstuvningseffekter i den centrale del af Limfjorden kan tydeligt identificeres, men styrken er svagere, end hvad der blev fundet for Storm 1. De højeste vandstande ses at optræde i Skive Fjord, Lovns Bredning, Hjarbæk Fjord og Løgstør Bredning.

I Tabel 10-6 er der lavet en sammenligning og oversigt over modellerede maksimal vandstande under forløbet af Storm 5 i en række Limfjordsstationer baseret på den historiske og nutidige batymetri. Som for de fire foregående storme viser tabellen, at effekten på vandstanden slår kraftigst igennem i Nissum Bredning. I dette tilfælde med 30 cm i Lemvig. I stationerne øst for Oddesund og vest for Løgstør varierer effekten med 6-13 cm. I Limfjordskanalen øst for Aggersund er der vandstandsforøgelser på op til 6 cm med aftagende tendens rettet mod øst.

Tabel 10-6 Sammenligning af modellerede vandstande for Storm 5 med en henholdsvis historisk og nutidig batymetri.

Station	Maksimal vandstand 1958 batymetri [m]	Maksimal vandstand 2005 batymetri [m]	Vandstandsforøgelse [m]
Thyborøn Havn	1,46	1,43	-0,03
Lemvig	1,03	1,33	0,30
Løgstør	1,25	1,32	0,07
Nibe	0,97	1,02	0,05
Ålborg	0,79	0,81	0,02
Mors	1,04	1,16	0,12
Skive	1,41	1,47	0,06
Hvalpsund	1,27	1,34	0,07
Thisted	1,03	1,16	0,13
Rønbjerg	1,18	1,25	0,07
Øland Attrup	0,83	0,89	0,06

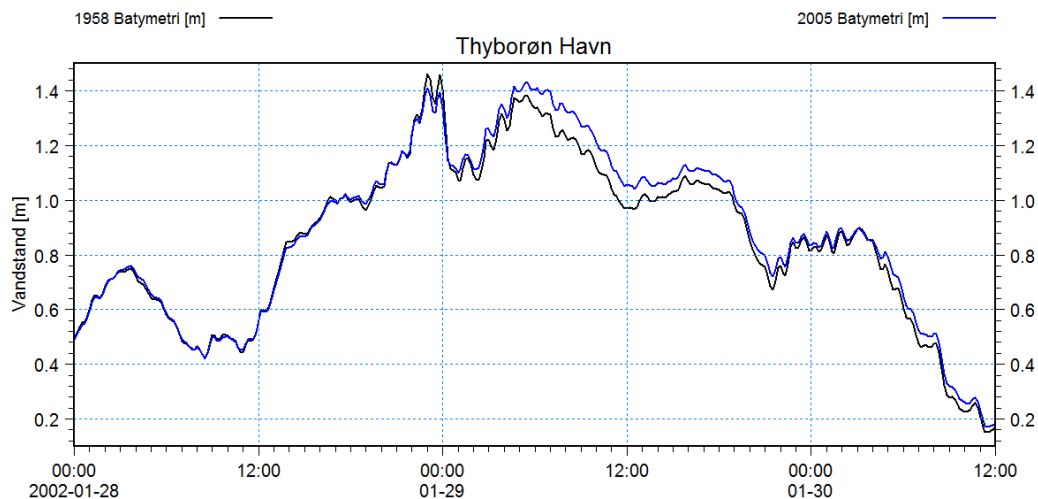
Et grafisk overblik over effekten i maksimal vandstandsforøgelse fra 1958 til 2005 er vist i Figur 10-52. Det ses, at effekten er omkring 30 cm i store dele af Nissum Bredning, mens den i den centrale del af Limfjorden varierer mellem 6-15 cm, med aftagende tendens i retning mod øst.



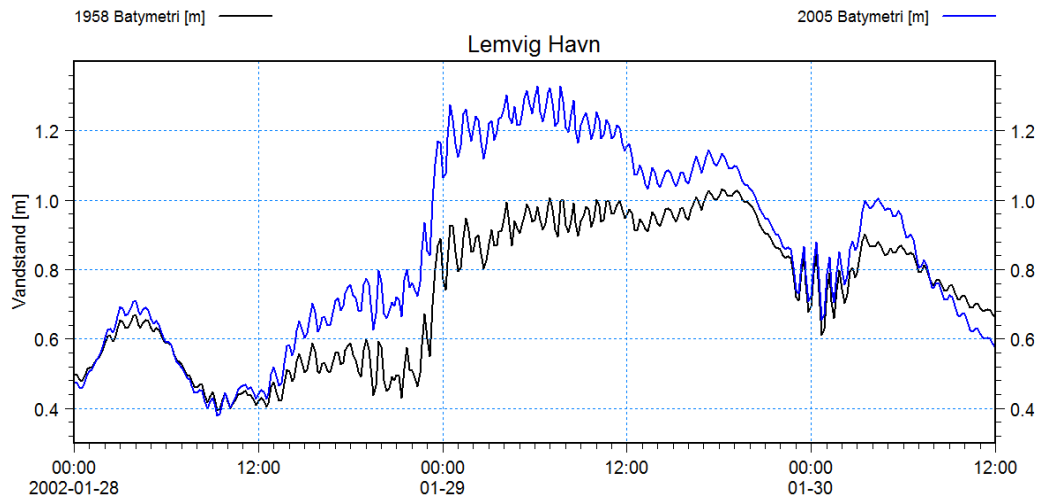
Figur 10-52 Modelleret ændring af maksimal vandstand i perioden 1958 til 2005 for Storm 5, som følger af den morfologiske udvikling af Thyborøn Kanal og løb og fjordgrunde i Nissum Bredning.

10.3.6 Storm 6

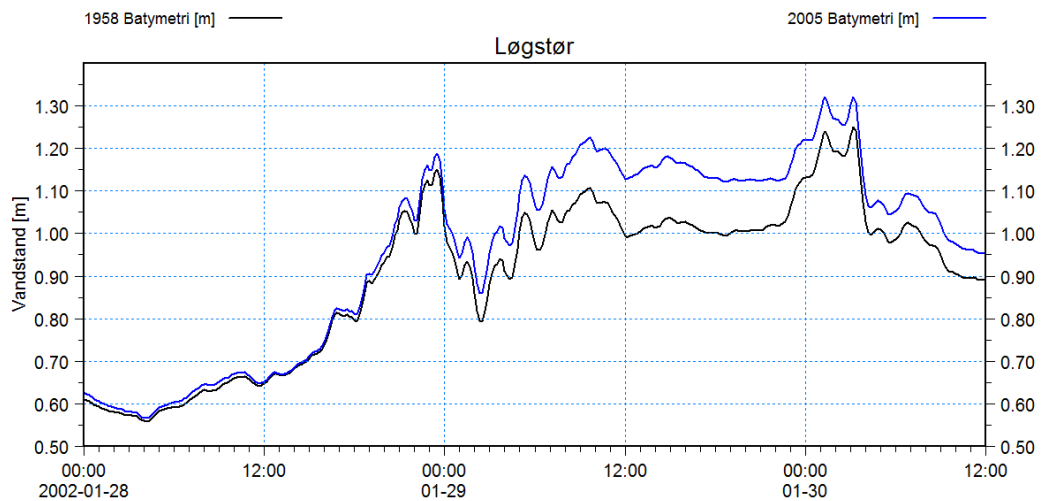
Vandstandsforløbet under forløbet af Storm 6 i Thyborøn Havn, Lemvig, Løgstør, Nykøbing Mors, Skive og Thisted er sammenlignet i Figur 10-53 til Figur 10-58 for den historiske og nutidige batymetri.



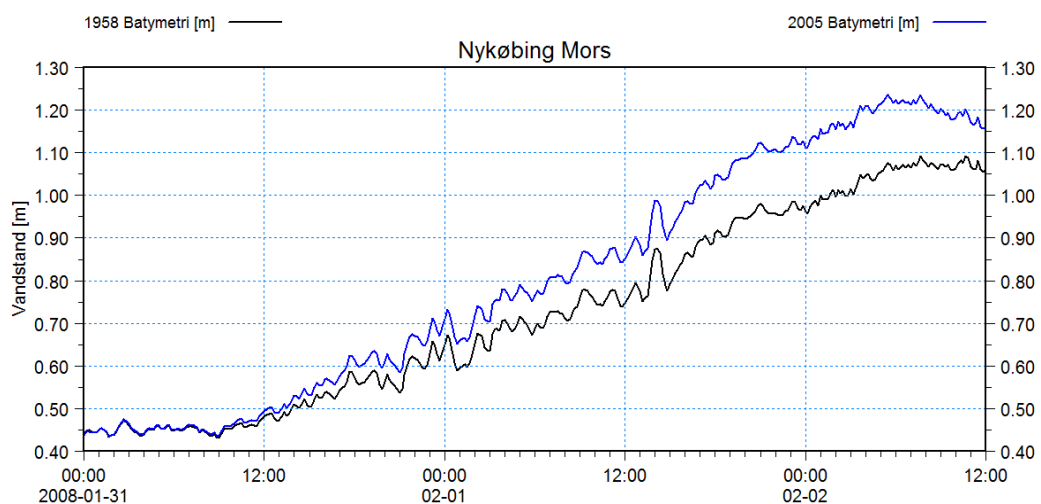
Figur 10-53 Sammenligning af modellerede vandstande i Thyborøn Havn med en 1958 batymetri og 2005 batymetri.



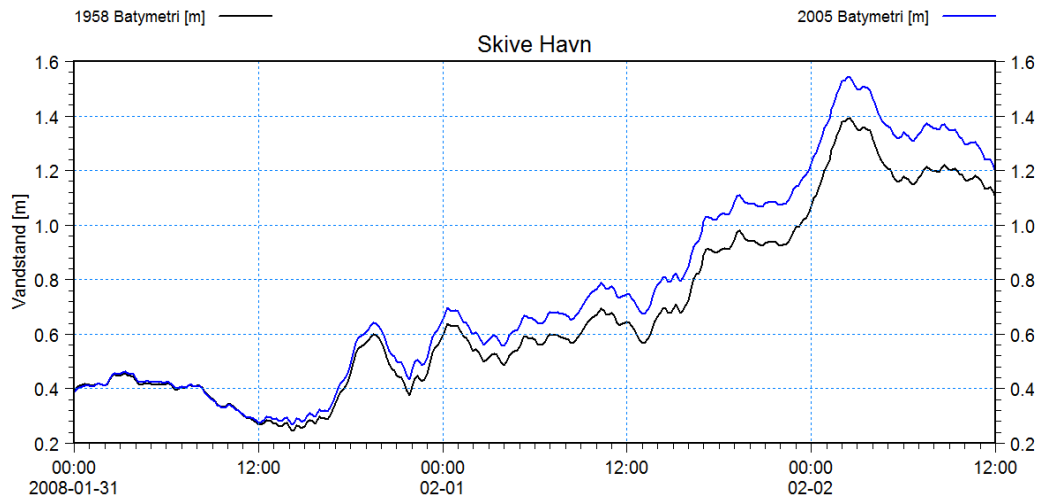
Figur 10-54 Sammenligning af modellerede vandstande i Lemvig Havn med en 1958 batymetri og 2005 batymetri.



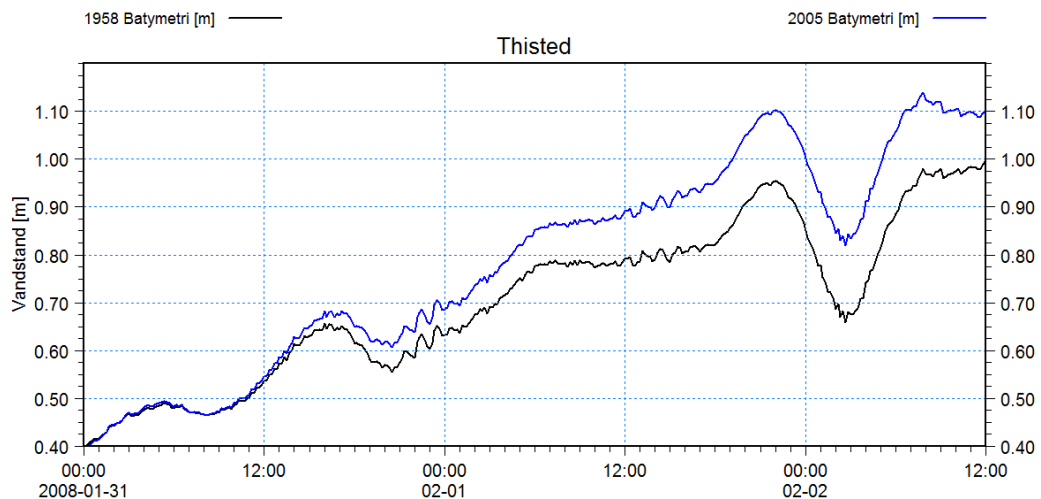
Figur 10-55 Sammenligning af modellerede vandstande i Løgstør med en 1958 batymetri og 2005 batymetri.



Figur 10-56 Sammenligning af modellerede vandstande i Nykøbing Mors med en 1958 batymetri og 2005 batymetri.



Figur 10-57 Sammenligning af modellerede vandstande i Skive med en 1958 batymetri og 2005 batymetri.



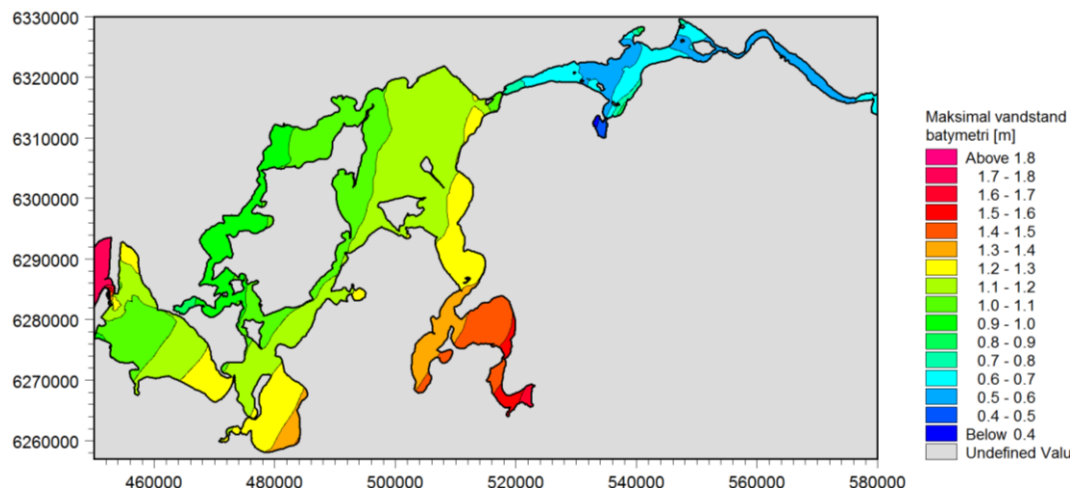
Figur 10-58 Sammenligning af modellerede vandstande i Thisted med en 1958 batymetri og 2005 batymetri.

I Tabel 10-7 er der lavet en sammenligning og oversigt over modellerede maksimal vandstande under forløbet af Storm 6 i en række Limfjordsstationer baseret på den historiske og næsten nutidige batymetri. Af tabellen fremgår det, at effekten slår moderat igennem i Nissum Bredning med 21 cm i Lemvig. I stationerne øst for Oddesund og vest for Løgstør er effekten konstant 11-16 cm. I Limfjordskanalen øst for Aggersund er der kun meget svage vandstandsforøgelser på op til 3 cm. Storm 6 adskiller sig fra de foregående 5 storme ved, at der ikke er nogen signifikant forskel på de maksimale vandstandsforøgelser umiddelbart øst og vest for Oddesund.

I Figur 10-59 er der vist et konturplot af maksimal vandstandene under forløbet af Storm 6 på 1958 batymetrien. Vindstuvningseffekter rettet mod SØØ i den centrale del af Limfjorden kan tydeligt identificeres. De højeste vandstande ses at optræde i Hjarbæk Fjord og Lovns Bredning, som følge af vindens påvirkning.

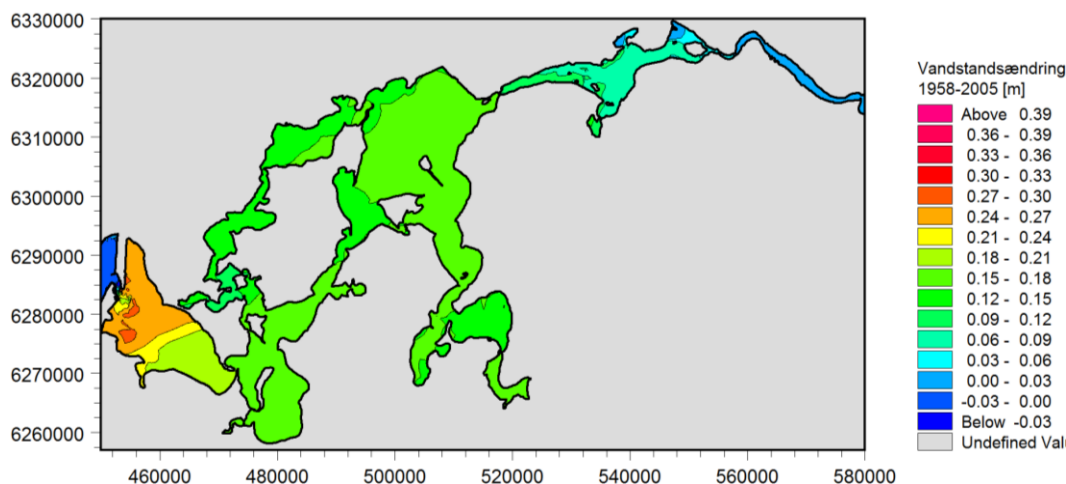
Tabel 10-7 Sammenligning af modellerede vandstande for Storm 6 med en henholdsvis historisk og nu-tidig batymetri.

Station	Maksimal vandstand 1958 batymetri [m]	Maksimal vandstand 2005 batymetri [m]	Vandstandsforøgelse [m]
Thyborøn Havn	1,45	1,49	0,04
Lemvig	1,16	1,37	0,21
Løgstør	1,17	1,33	0,16
Nibe	0,83	0,86	0,03
Ålborg	0,87	0,90	0,03
Mors	1,09	1,24	0,15
Skive	1,39	1,54	0,15
Hvalpsund	1,31	1,47	0,16
Thisted	1,03	1,14	0,11
Rønbjerg	1,20	1,36	0,16
Øland Attrup	0,86	0,89	0,03



Figur 10-59 Modelleret maksimalvandstand under forløbet af Storm 6 baseret på en batymetri svarende til forholdene i 1958.

Et grafisk overblik over effekten i maksimal vandstandsforøgelse fra 1958 til 2005 er vist i Figur 10-60. Det ses, at effekten er omkring 25 cm i den vestlige del af Nissum Bredning og lige under 20 cm i den østlige del. I den centrale del af Limfjorden er effekten forholdsvis konstant med 15-16 cm. At maksimal vandstandsforøgelsen i modsætning til de fem øvrige storme slår ujævnt igennem i Nissum Bredning, skyldes, at vandstanden i havet falder tidligere i forløbet og dermed begynder at tømme vand ud af Nissum Bredning, før effekten er slået fuldt igennem til indsnævringen ved Oddesund.



Figur 10-60 Modelleret ændring af maksima l vandstand i perioden 1958 til 2005 for Storm 6, som følge af den morfologiske udvikling af Thyborøn Kanal og løb og fjordgrunde i Nissum Bredning.

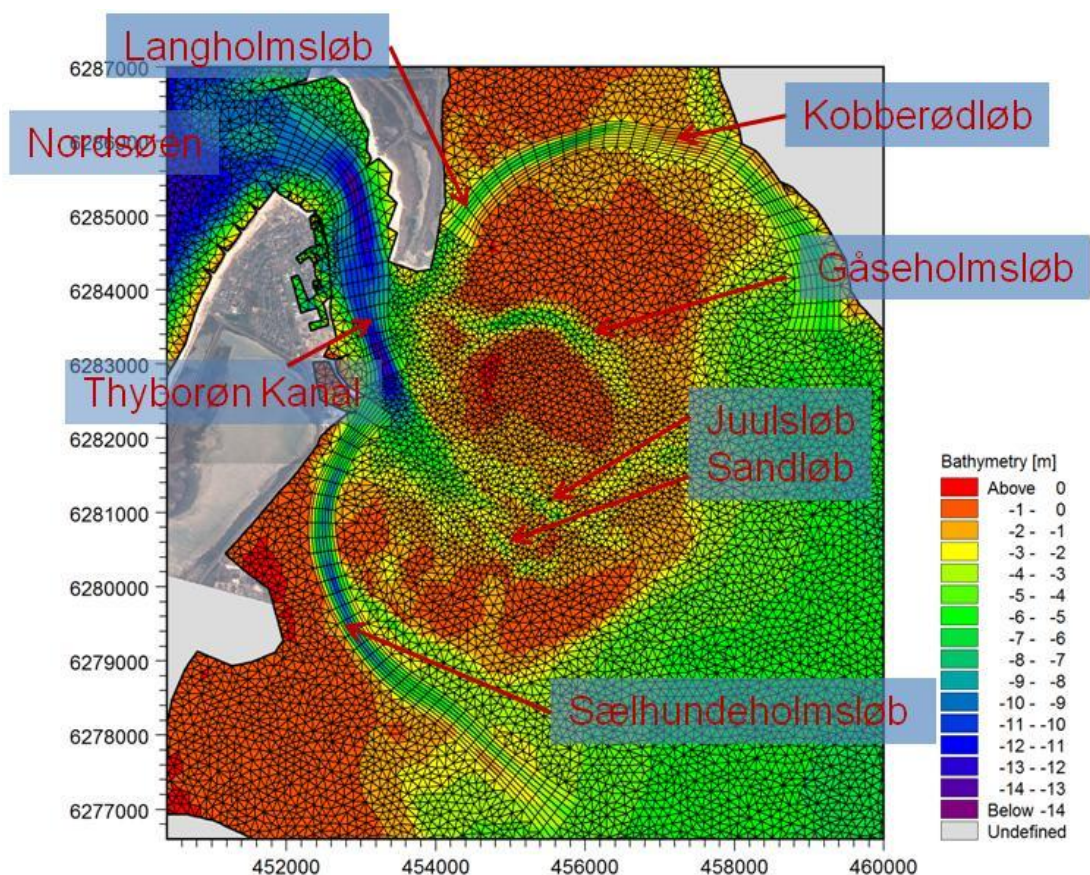
10.3.7 Opsummering

Modelleringen af de seks referencestorme på den historiske og næsten nutidige batymeri har vist, at den gradvise udvikling af Thyborøn Kanal fra 1958 til 2005 i form af øgede dybder og strømningstværsnit i kanalen og løbene i Nissum Bredning influerer markant på maksimal vandstandens niveau i den vestlige del af Limfjorden. Forøgelsen af maksimalvande er mest markant i Nissum Bredning, men påvirker også forholdene i den centrale del. For Lemvig blev der for seks storme fundet forøgelser af maksimal vandstanden varierende fra 21-40 cm, med en middelværdi på hele 31 cm. Ved Løgstør varerede forøgelsen med 6-19 cm og ved Skive med 7-19 cm. Middelværdien af maksimal vandstandsforøgelsen er begge steder fundet til 14 cm. De her angivne værdier angiver den rene effekt hidrørende fra udviklingen af Thyborøn Kanal. I perioden fra 1958 til 2005 har der været en havspejlsstigning på omkring 5 cm, som skal adderes til de angivne værdier for at få den totale effekt. Det ses derfor, at udviklingen af Thyborøn Kanal i perioden 1958 til 2005 har en markant større indvirkning på forøgelsen af maksimal vandstanden end havspejlsstigningen.

De officielle højvandstandsstatistikker er forsøgt gjort trendfrie ved at korrigere for havspejlsstigninger, hvilket er korrekt for stationerne udenfor Limfjorden. I Limfjorden er det ikke tilstrækkeligt alene at korrigere for havspejlsstigninger, der skal også korrigeres for effekter hidrørende fra udviklingen af Thyborøn Kanal. Disse korrektioner, som skal adderes til de historisk målte vandstande, er i princippet muligt at beregne med den hydrodynamiske model, såfremt man antager, at effekten har udviklet sig lineært fra 1958 til 2005. Den manglende korrektion (som ikke er mulig at lave uden brug af en hydrodynamisk model) betyder, at de officielle højvandstandsstatistikker for stationerne i den vestlige del af Limfjorden undervurderer adskillige af de hændelser som ligger til grund for dem.

11 FREMTIDIGE FORHOLD

Den igangværende udvikling af Thyborøn Kanal indebærer en fortsat forøgelse af strømningstværsnittet og uddybning af løbene i Nissum Bredning. Hvordan den præcise udvikling af kanalen, løbene og grundene vil blive frem til 2060 er usikkert, men som et kvalitativt gæt er det antaget, at udviklingen fra 1958 til 2005 vil fortsætte. Batymetriopmålinger i perioden 1995-2005 indikerer, at den fremtidige batymetri vil blive domineret af et løb dannet af en sammensmeltning af Sandløb og Juulsløb på bekostning af Sælhundeholmsløbet. Der er derfor lavet en variant, hvor udviklingen af dette løb forstærkes på bekostning af Sælhundeholmsløbet. Et oversigtskort visende løbenes navne og placering i overgang fra Thyborøn Kanal til Nissum Bredning er vist i Figur 11-1 nedenfor.



Figur 11-1 Oversigtskort over de forskellige løb i overgangen fra Thyborøn Kanal til Nissum Bredning.

I dette afsnit er stormflodsniveauer for de seks referencestorme simuleret med udgangspunkt i en skønnet fremtidig 2060 batymetri. Endvidere er der udført simuleringer på batymetrier, som adskiller sig fra den endeligt præsenterede ved dybdefordelingen i løbene. Disse er ikke præsenteret her, men en sammenligning af simuleringresultaterne viser, at stormflodsvandstandene i Limfjorden er relativt ufølsomme over for ændringer af løbene, hvilket skyldes, at indstrømningen til systemet domineres af forholdene i Thyborøn Kanal.



11.1 Batymetri

Den anvendte 2060 batymetri er fremkommet med udgangspunkt i beregnede bundniveauændringer og volumenændringer i perioden 1958-2005. I Thyborøn Kanal er den fremtidige batymetri fundet ved at addere bundniveauændringerne til 2005 batymetrien, dog med den modifikation at dybderne i området foran havnen vil forblive uforandret som følge af vedligeholdelsesudbygning. Det herved fjernede sedimentvolumen, som udgør 570.000 m^3 , er fjernet helt fra systemet, da det vil blive brugt til kystbeskyttelse (kystfodring). Det ekstra bidrag som vedligeholdelsesudbygningen udgør, er beskedent set i forhold til den samlede mængde af størrelsesordenen $10.000.000 \text{ m}^3$, som forventes at forsvinde ved egen drift fra Thyborøn Kanal i perioden frem til 2060. Man må forvente, at udviklingen på et tidspunkt vil begynde at aftage, i takt med at energitabet og strømhastigheder reduceres, som en naturlig konsekvens af det forøgede strømningstværsnit. Denne effekt er inkluderet svagt implicit, idet det er ændringen over 47 år (1958-2005), der er anvendt til at beskrive forholdene 55 år frem i tiden (2060).

De fleste af løbene i Nisum Bredning har flyttet sig, samtidig med at de er blevet dybere i perioden fra 1958-2005. Flytningen af løbene vanskeliggør forudsigelsen af de fremtidige løbs placering. I udarbejdelsen af den fremtidige batymetri er der derfor i første omgang valgt en pragmatisk tilgang, som indebærer, at løbenes placering holdes fast i forhold til 2005 batymetrien, men at de udvikler sig i tværsnitsarealet.

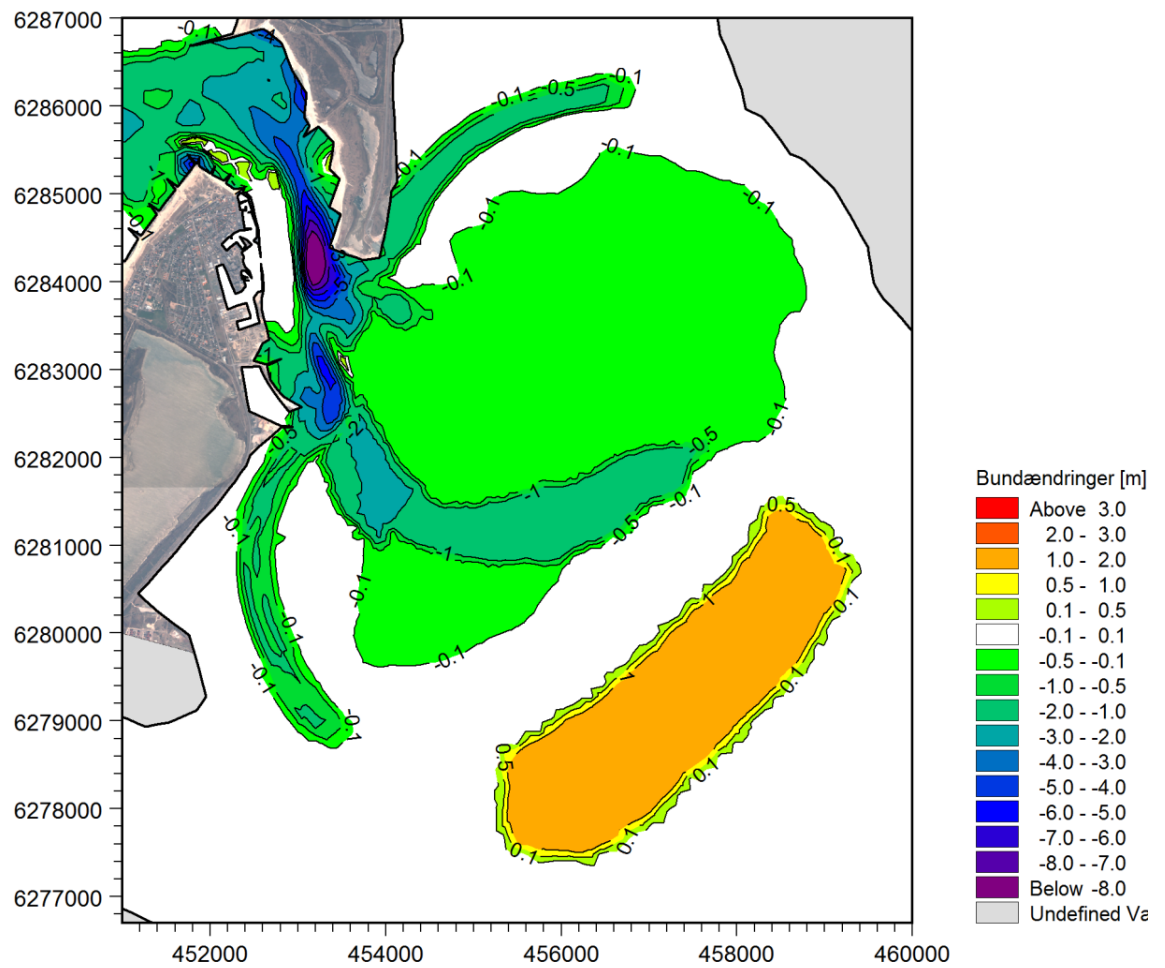
De beregnede bundændringer kan derfor ikke benyttes direkte til at fremskrive udviklingen i løbene, idet løbene har flyttet sig. I stedet er udviklingen af løbene blevet fastlagt ud fra volumenændringerne i perioden fra 1958 til 2005. I denne periode er de fleste tværsnit i løbene blevet udvidet, og det antages, at denne udvidelse vil forsætte frem til 2060. Volumenændringerne er beregnet for en række separate områder og omregnet til en jævn uddybning i løbene. For det nordlige løb bestående af Langholmsløbet og Kobberødløbet er vanddybderne forøget jævnt med 1,2 m, mens det sydlige løb, Sælhundeholmsløbet, i første omgang er uddybet med 2,4 m i forhold til 2005 batymetrien.

I det centrale område er udviklingen i løbene og fjordgrundene mere uklar. Volumenændringen i perioden er derfor i første omgang omregnet til en jævn ændring af hele det centrale område svarende til en forøgelse af vanddybden på 0,26 m. Udviklingen i perioden fra 1958 til 2005 indikerer, at de to mindre løb Juulsløb og Sandløb er forsvundet og erstattet af et nyt dybere og bredere løb. Denne tendens er forstærket i 2060 batymetrien ved at uddybe den ydre del af det nye løb med 1,5 m. Endvidere er der lavet en mindre uddybning i overgangen fra Thyborøn Kanal til Gåseholmløbet.

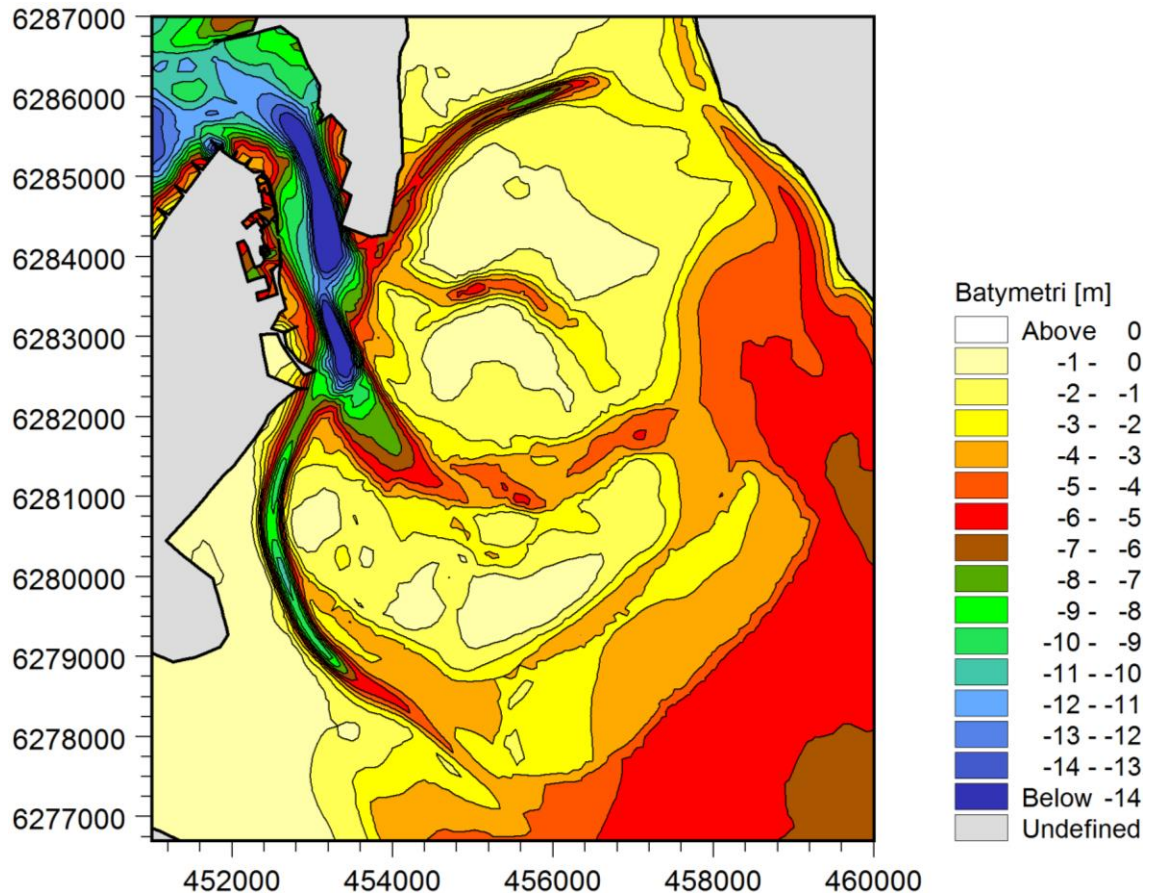
Batymetriopmålinger i perioden 1995-2005 indikerer endnu mere tydeligt, at den fremtidige batymetri vil blive domineret af et løb dannet af en sammensmeltning af Sandløb og Juulsløb på bekostning af Sælhundeholmsløbet. Der er derfor lavet en yderligere modifikation, hvor udviklingen af dette løb er forstærket på bekostning af Sælhundeholmløbet. I praksis er dette gjort ved at distribuere det eroderede materiale fra det sammensmeltede Sandløb og Juulsløb jævnt i Sælhundeholmsløbet.

Alle de fjernede sedimentvolumener er blevet jævnt fordelt i forlængelse af fjordgrundene mod øst svarende til den naturlige fremtidige udvikling af fjordgrundene i Nisum Bredning.

De på baggrund af ovenstående skønnede bundændringer i perioden 2005 til 2060 er vist i Figur 11-2. Bundændringerne er anvendt til at danne 2060 batymetrien ved hjælp af simpel superposition. Den skønnede 2060 batymetri er vist i Figur 11-3.



Figur 11-2 Skønnede bundændringer i perioden 2005 til 2060.



Figur 11-3 Skønnet 2060 batymetri baseret på en forsat udvikling af Thyborøn Kanal.

11.1.1 Tværsnitsudvikling

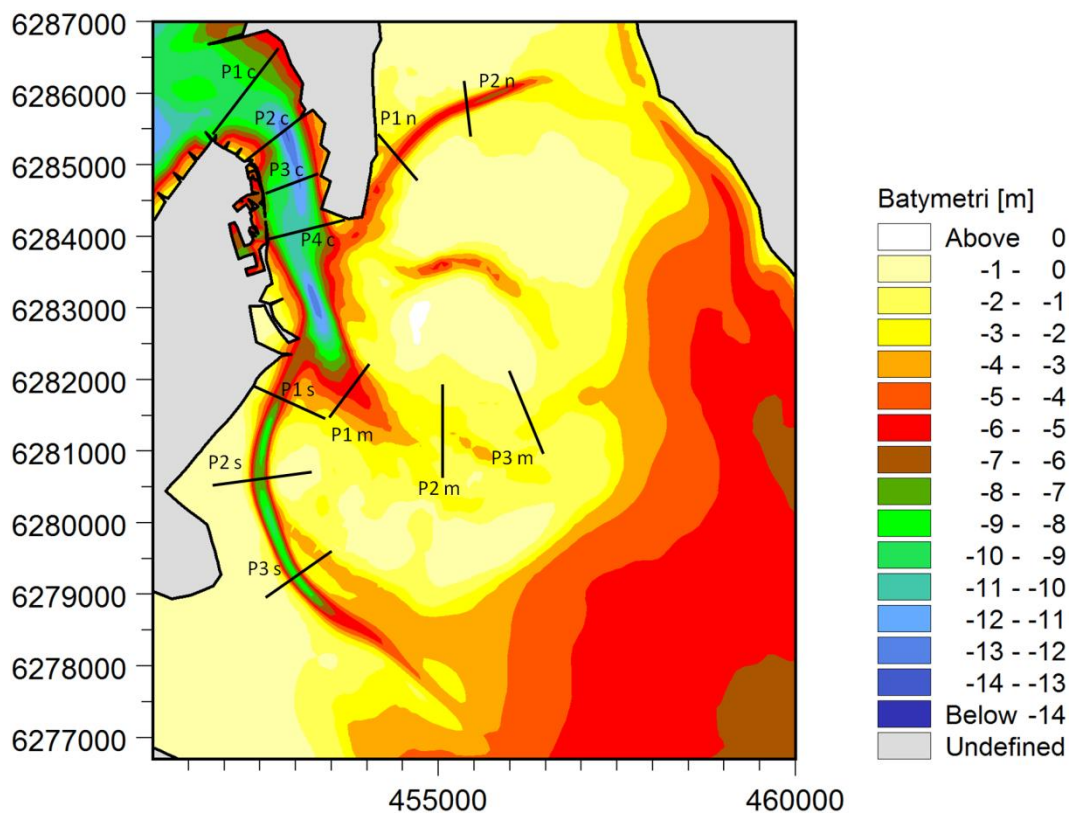
Den morfologiske udvikling fra 1958 til 2005 samt den skønnede udvikling frem til 2060 er i det følgende illustreret i form af en række tværsnitsprofiler og tabeller indeholdende udviklingen i tværsnitsarealet. Tværsnittenes placering og betegnelse fremgår af Figur 11-4 nedenfor, hvor de er indlagt på 2005 batymetrien.

Den eroderende udvikling i Thyborøn Kanal er vist for fire tværnit kaldet P1c-P4c i Figur 11-5. Alle de viste tværnit er orienteret således, at man ser ud mod det åbne hav. Den beregnede udvikling i tværsnitsarealet er vist i Tabel 11-1. Alle arealer er beregnet med reference til kote 0 DVR90. De viste tværnit er dannet på baggrund af interpolerede udtræk fra den historiske 1958 batymetri, den nutidige 2005 batymetri og den skønnede fremtidige 2060 batymetri.

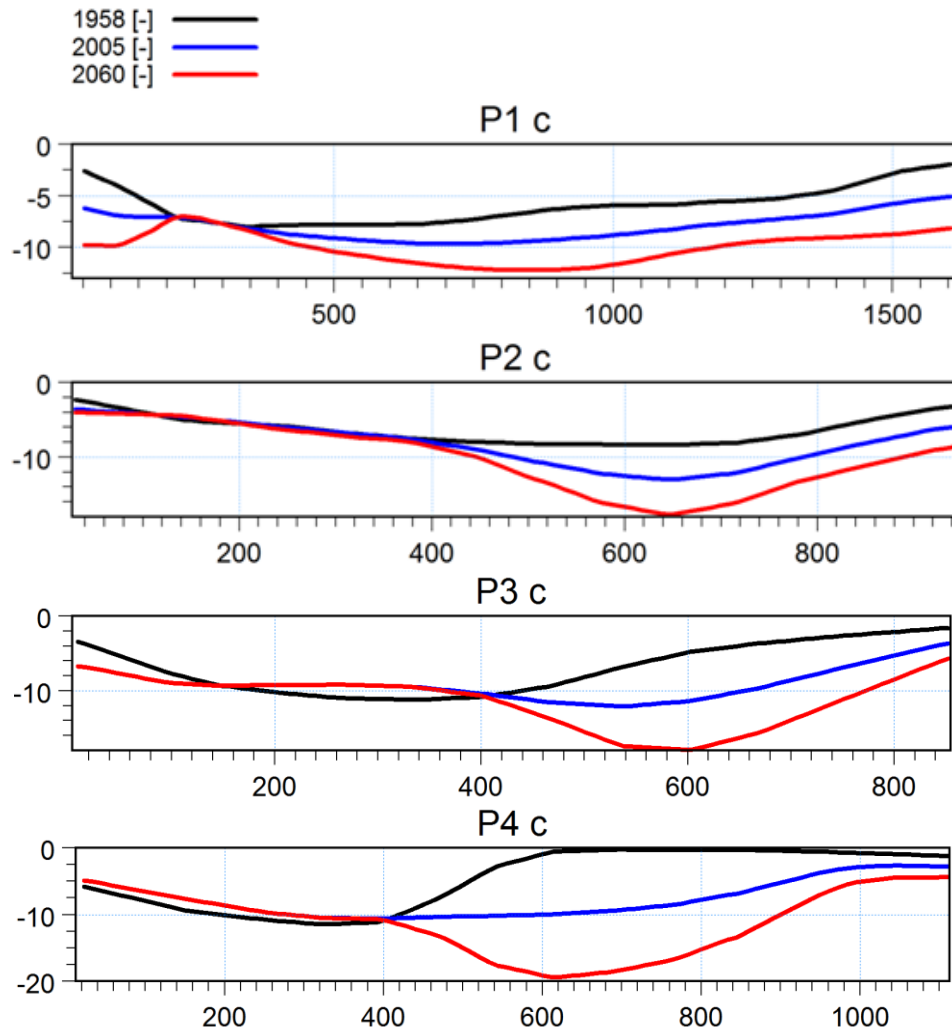
Tabel 11-1 Udvikling af tværsnitsareal i Thyborøn Kanal i perioden 1958 til 2060.

Tværnit	Tværsnitsareal 1958 [m ²]	Tværsnitsareal 2005 [m ²]	Tværsnitsareal 2060 [m ²]
P1c	9.343	12.522	15.702
P2c	5.921	7.647	9.417
P3c	6.003	7.818	9.728
P4c	5.102	8.500	12.389

Af tabellen ses, at udviklingen fortsætter uforandret i den ydre del af Thyborøn Kanal, mens den er svagt accelererende i den midterste del, som følge af bidraget fra vedligeholdelsesuddybningen foran havnen.



Figur 11-4 Oversigt over tværsnittenes placering indlagt på 2005 batymetrien.

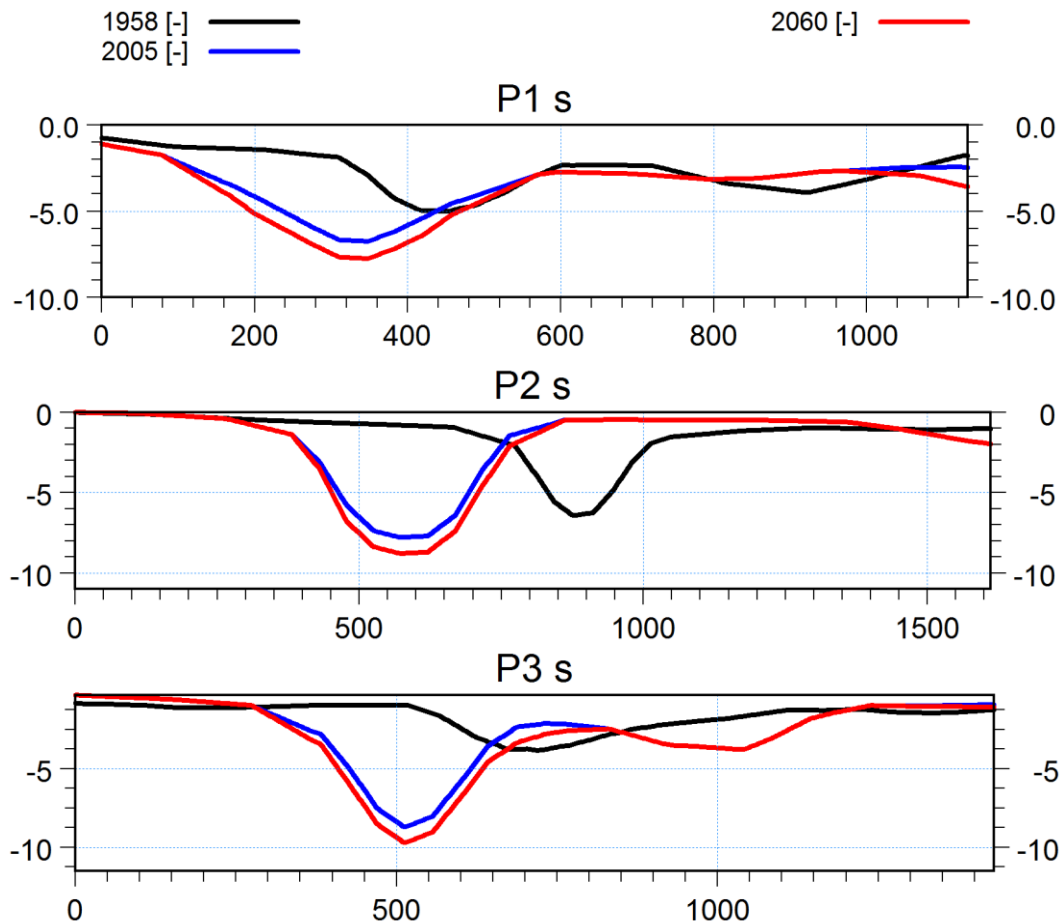


Figur 11-5 Tværnsitsudvikling fire forskellige steder i Thyborøn Kanal fra 1958 til 2060.

Udviklingen af Sælhundeholmløbet er vist for tre tværnsnit kaldet P1s-P3s i Figur 11-6. Alle de viste tværnsnit er orienteret således, at man ser ud mod det åbne hav. Det ses, at løbet har flyttet sig i løbet af perioden fra 1958 til 2005. Den beregnede udvikling i tværnsitsarealet er vist i Tabel 11-2. Alle arealer er beregnet med reference til kote 0 DVR90. De viste tværnsnit er dannet på baggrund af interpolerede udtræk fra den historiske 1958 batymetri, den nutidige 2005 batymetri og den skønnede fremtidige 2060 batymetri.

Tabel 11-2 Udvikling af tværnsitsareal i Sælhundeholmløbet i perioden 1958 til 2060.

Tværnsnit	Tværnsitsareal 1958 [m ²]	Tværnsitsareal 2005 [m ²]	Tværnsitsareal 2060 [m ²]
P1s	3080	3942	4360
P2s	2260	2876	3230
P3s	2437	3811	4220

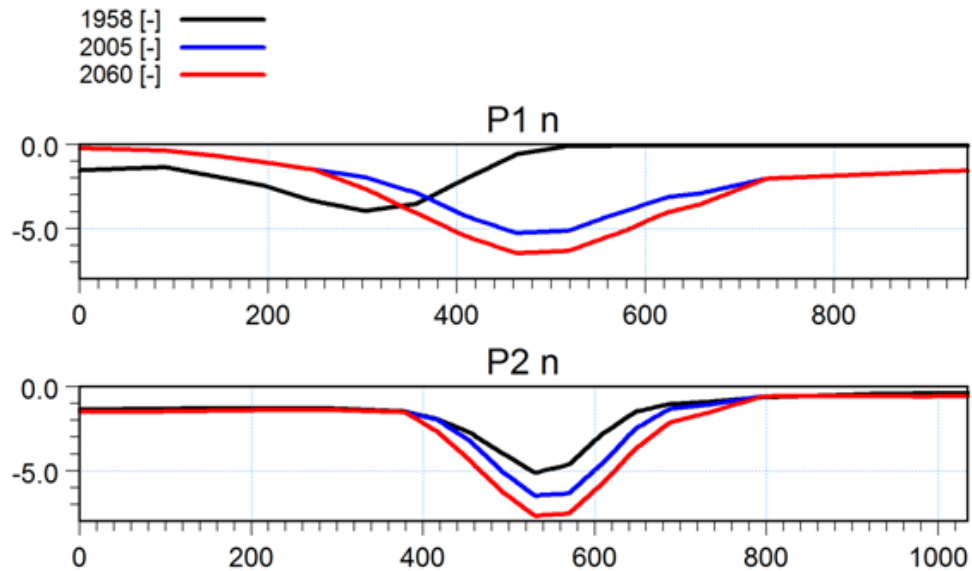


Figur 11-6 Tværsnitsudvikling tre forskellige steder i Sælhundeholmsløbet i perioden 1958 til 2060.

Udviklingen af Langholmsløbet og Kobberødløbet er vist for de to tværnit kaldet P1n og P2n i Figur 11-7. Begge tværnit er orienteret således, at man ser ud mod det åbne hav. Det ses, at løbet har flyttet sig i løbet af perioden fra 1958 til 2005. Den beregnede udvikling i tværnitsarealet er vist i Tabel 11-3. Alle arealer er beregnet med reference til kote 0 DVR90. De viste tværnit er dannet på baggrund af interpolerede udtræk fra den historiske 1958 batymetri, den nutidige 2005 batymetri og den skønnede fremtidige 2060 batymetri.

Tabel 11-3 Udvikling af tværnitsareal i Langholmsløbet og Kobberødløbet.

Tværnit	Tværnitsareal 1958 [m ²]	Tværnitsareal 2005 [m ²]	Tværnitsareal 2060 [m ²]
P1n	1155	2216	2648
P2n	1637	2010	2373

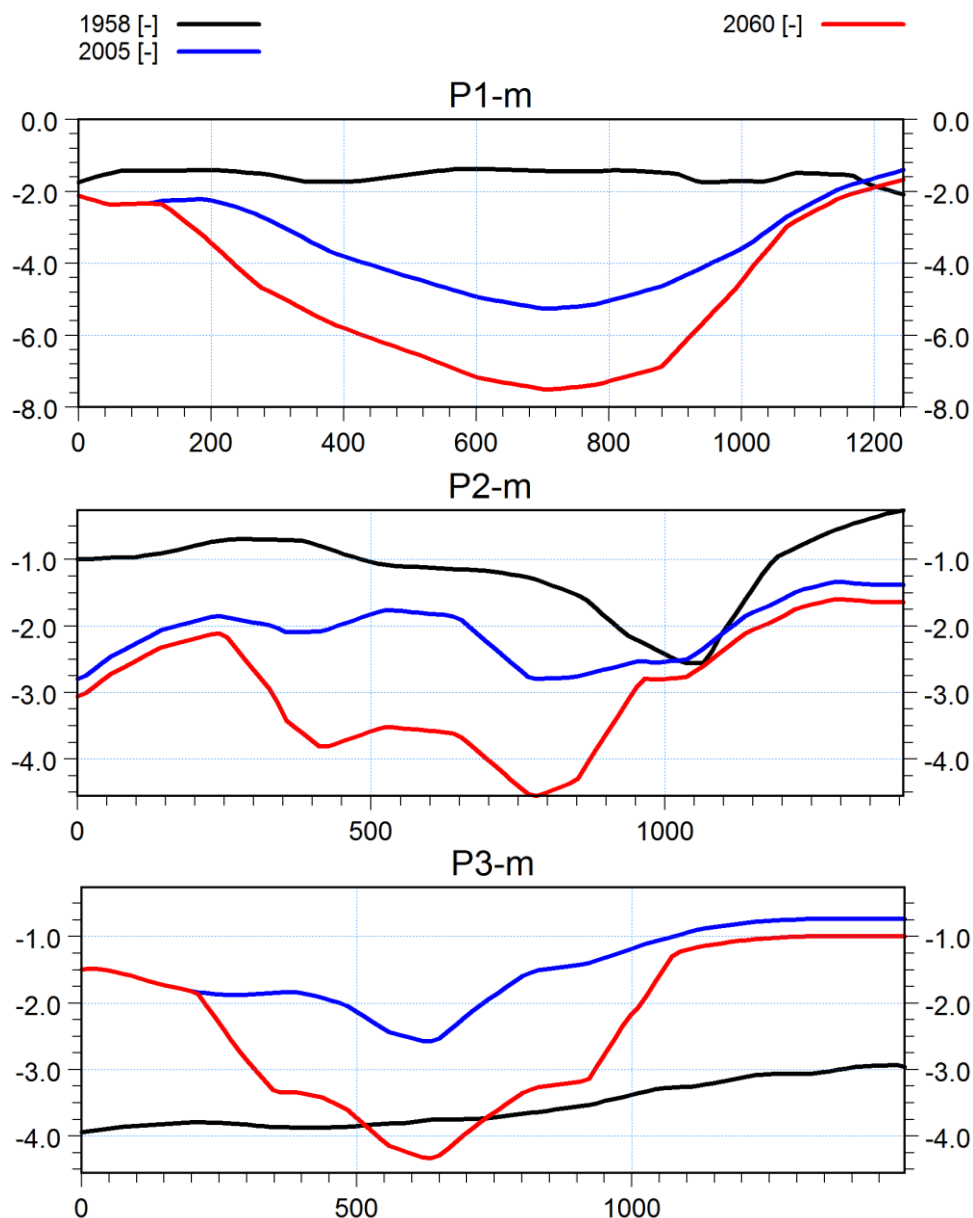


Figur 11-7 Tværsnitsudvikling to forskellige steder i Langholmsløbet og Kobberødløbet i perioden 1958 til 2060.

Udviklingen i den centrale del, hvor et nyt løb udvikles, er vist for tre tværnit kaldet P1m-P3m i Figur 11-8. Alle de viste tværnit er orienteret således, at man ser ud mod det åbne hav. Den lidt mærkværdige udvikling af tværnit P3m skyldes, at fjordgrunde- ne er migreret mod øst ud i Nissum Bredning i løbet af perioden fra 1958 til 2005. Den beregnede udvikling i tværnitsarealet er vist i Tabel 11-4. Alle arealer er beregnet med reference til kote 0 DVR90. De viste tværnit er dannet på baggrund af interpolerede udtræk fra den historiske 1958 batymetri, den nutidige 2005 batymetri og den skønnede fremtidige 2060 batymetri.

Tabel 11-4 Udvikling af tværnitsareal i den centrale del, hvor et nyt løb opstår.

Tværnit	Tværnitsareal 1958 [m ²]	Tværnitsareal 2005 [m ²]	Tværnitsareal 2060 [m ²]
P1m	1953	4427	6169
P2m	1653	2952	4168
P3m	5353	2271	3604



Figur 11-8 Tværsnitsudvikling tre forskellige steder i den centrale del, hvor et nyt løb udvikles.

11.2 Modellering af nutidige storme på fremtidig batymetri

For at kunne vurdere hvor meget en fortsat morfologisk udvikling af området ved Thyborøn vil få for stormflodsniveauerne i Limfjorden er de seks referencestorme afviklet på den skønnede 2060 batymetri og sammenholdt med de nuværende forhold.

11.2.1 Storm 1

En sammenligning af de modellerede maksimal vandstande under forløbet af Storm 1 på henholdsvis den nutidige og fremtidige skønnede batymetri er indeholdt i Tabel 11-5. Af tabellen ses, at maksimal vandstanden vil stige med 1-14 cm. Størst effekt findes ved Lemvig, hvor vandstanden er forøget med 14 cm, mens den mindste effekt på blot 1 cm findes ved Løgstør og Ålborg. I den centrale del af Limfjorden er effekten 4-7 cm.

Sammenlignet med udviklingen fra 1958 til 2005 kan det derfor konkluderes, at forøgelsen af maksimal vandstanden vil blive noget mindre frem mod 2060, når der ses bort fra den forventede forøgelse af middelvandspejlet på 24 cm.

Tabel 11-5 Sammenligning af modellerede vandstande for Storm 1 med den henholdsvis nutidige (2005 batymetri) og den skønnede fremtidige 2060 batymetri.

Station	Maksimal vandstand 2005 batymetri [m]	Maksimal vandstand 2060 batymetri [m]	Vandstandsforøgelse [m]
Thyborøn Havn	1,76	1,81	0,05
	1,66	1,74	0,08
Lemvig	1,55	1,69	0,14
Løgstør	2,05	2,06	0,01
Nibe	1,13	1,16	0,03
Ålborg	1,15	1,16	0,01
Mors	1,49	1,55	0,06
Skive	1,54	1,60	0,06
Hvalpsund	1,61	1,68	0,07
Thisted	1,49	1,53	0,04
Rønbjerg	1,62	1,67	0,05
Øland Attrup	1,15	1,18	0,03

11.2.2 Storm 2

En sammenligning af de modellerede maksimal vandstande under forløbet af Storm 2 på henholdsvis den nutidige og fremtidige skønnede batymetri er indeholdt i Tabel 11-6. Af tabellen ses maksimal vandstanden at stige med 1-14 cm. Størst effekt findes ved Lemvig, hvor vandstanden er forøget med 14 cm, mens den mindste effekt på blot 1 cm findes ved Ålborg. I den centrale del af Limfjorden er effekten 4-8 cm.

Tabel 11-6 Sammenligning af modellerede vandstande for Storm 2 med den henholdsvis nutidige (2005 batymetri) og den skønnede fremtidige 2060 batymetri.

Station	Maksimal vandstand 2005 batymetri [m]	Maksimal vandstand 2060 batymetri [m]	Vandstandsforøgelse [m]
Thyborøn Havn	1,87	1,95	0,08
Lemvig	1,68	1,82	0,14
Løgstør	1,75	1,83	0,08
Nibe	1,26	1,30	0,04
Ålborg	1,17	1,18	0,01
Mors	1,58	1,65	0,07
Skive	1,70	1,78	0,08
Hvalpsund	1,76	1,83	0,07
Thisted	1,51	1,56	0,05
Rønbjerg	1,73	1,80	0,07
Øland Attrup	1,20	1,24	0,04

11.2.3 Storm 3

En sammenligning af de modellerede maksimal vandstande under forløbet af Storm 3 på henholdsvis den nutidige og fremtidige skønnede batymetri er indeholdt i Tabel 11-7. Af tabellen ses maksimal vandstanden at stige med 1-18 cm. Størst effekt findes ved Lemvig, hvor vandstanden er forøget med 18 cm, mens den mindste effekt på blot 1 cm findes ved Ålborg. I den centrale del af Limfjorden er effekten 7-8 cm.

Tabel 11-7 Sammenligning af modellerede vandstande for Storm 3 med den henholdsvis nutidige (2005 batymetri) og den skønnede fremtidige 2060 batymetri.

Station	Maksimal vandstand 2005 batymetri [m]	Maksimal vandstand 2060 batymetri [m]	Vandstandsforøgelse [m]
Thyborøn Havn	1,69	1,78	0,09
Lemvig	1,61	1,79	0,18
Løgstør	1,49	1,56	0,07
Nibe	1,03	1,07	0,04
Ålborg	0,94	0,95	0,01
Mors	1,38	1,45	0,07
Skive	1,61	1,68	0,07
Hvalpsund	1,53	1,60	0,07
Thisted	1,28	1,36	0,08
Rønbjerg	1,48	1,56	0,08
Øland Attrup	0,93	0,97	0,04



11.2.4 Storm 4

En sammenligning af de modellerede maksimal vandstande under forløbet af Storm 4 på henholdsvis den nutidige og fremtidige skønnede batymetri er indeholdt i Tabel 11-8. Af tabellen ses maksimalvandstanden at stige med 1-18 cm. Størst effekt findes ved Lemvig, hvor vandstanden er forøget med 18 cm, mens den mindste effekt på blot 1 cm findes ved Ålborg. I den centrale del af Limfjorden er effekten 6-8 cm.

Tabel 11-8 Sammenligning af modellerede vandstande for Storm 4 med den henholdsvis nutidige (2005 batymetri) og den skønnede fremtidige 2060 batymetri.

Station	Maksimal vandstand 2005 batymetri [m]	Maksimal vandstand 2060 batymetri [m]	Vandstandsforøgelse [m]
Thyborøn Havn	1,66	1,76	0,10
Lemvig	1,57	1,75	0,18
Løgstør	1,20	1,27	0,07
Nibe	1,00	1,04	0,04
Ålborg	1,04	1,05	0,01
Mors	1,13	1,19	0,06
Skive	1,25	1,32	0,07
Hvalpsund	1,24	1,32	0,08
Thisted	1,05	1,12	0,07
Rønbjerg	1,21	1,27	0,06
Øland Attrup	0,90	0,93	0,03

11.2.5 Storm 5

En sammenligning af de modellerede maksimal vandstande under forløbet af Storm 5 på henholdsvis den nutidige og fremtidige skønnede batymetri er indeholdt i Tabel 11-9. Af tabellen ses maksimalvandstanden at stige med 1-16 cm. Størst effekt findes ved Lemvig, hvor vandstanden er forøget med 16 cm, mens den mindste effekt på blot 1 cm findes ved Ålborg, Skive og Hvalpsund. I den centrale del af Limfjorden er effekten 1-5 cm. At effekten ikke er større i den centrale del skyldes, at stormhændelsen er for kortvarig til at dominere ekstremhændelsen i den vestlige del af det vestlige midterbassin.

Tabel 11-9 Sammenligning af modellerede vandstande for Storm 5 med den henholdsvis nutidige (2005 batymetri) og den skønnede fremtidige 2060 batymetri.

Station	Maksimal vandstand 2005 batymetri [m]	Maksimal vandstand 2060 batymetri [m]	Vandstandsforøgelse [m]
Thyborøn Havn	1,43	1,51	0,08
Lemvig	1,33	1,49	0,16
Løgstør	1,32	1,34	0,02
Nibe	1,02	1,04	0,02
Ålborg	0,81	0,82	0,01
Mors	1,16	1,21	0,05
Skive	1,47	1,48	0,01
Hvalpsund	1,34	1,35	0,01
Thisted	1,16	1,21	0,05
Rønbjerg	1,25	1,28	0,03
Øland Attrup	0,89	0,91	0,02

11.2.6 Storm 6

En sammenligning af de modellerede maksimal vandstande under forløbet af Storm 6 på henholdsvis den nutidige og fremtidige skønnede batymetri er indeholdt i Tabel 11-10. Af tabellen ses maksimal vandstanden at stige med 1-8 cm. Størst effekt findes ved Lemvig, hvor vandstanden er forøget med 8 cm, mens den mindste effekt på blot 1 cm findes ved Ålborg og Øland Attrup. I den centrale del af Limfjorden er effekten 5-7 cm, og dermed stort set det samme som i Nissum Bredning.

Tabel 11-10 Sammenligning af modellerede vandstande for Storm 6 med den henholdsvis nutidige (2005 batymetri) og den skønnede fremtidige 2060 batymetri.

Station	Maksimal vandstand 2005 batymetri [m]	Maksimal vandstand 2060 batymetri [m]	Vandstandsforøgelse [m]
Thyborøn Havn	1,49	1,55	0,06
Lemvig	1,37	1,45	0,08
Løgstør	1,33	1,40	0,07
Nibe	0,86	0,88	0,02
Ålborg	0,90	0,91	0,01
Mors	1,24	1,30	0,06
Skive	1,54	1,60	0,06
Hvalpsund	1,47	1,53	0,06
Thisted	1,14	1,19	0,05
Rønbjerg	1,36	1,42	0,06
Øland Attrup	0,89	0,90	0,01

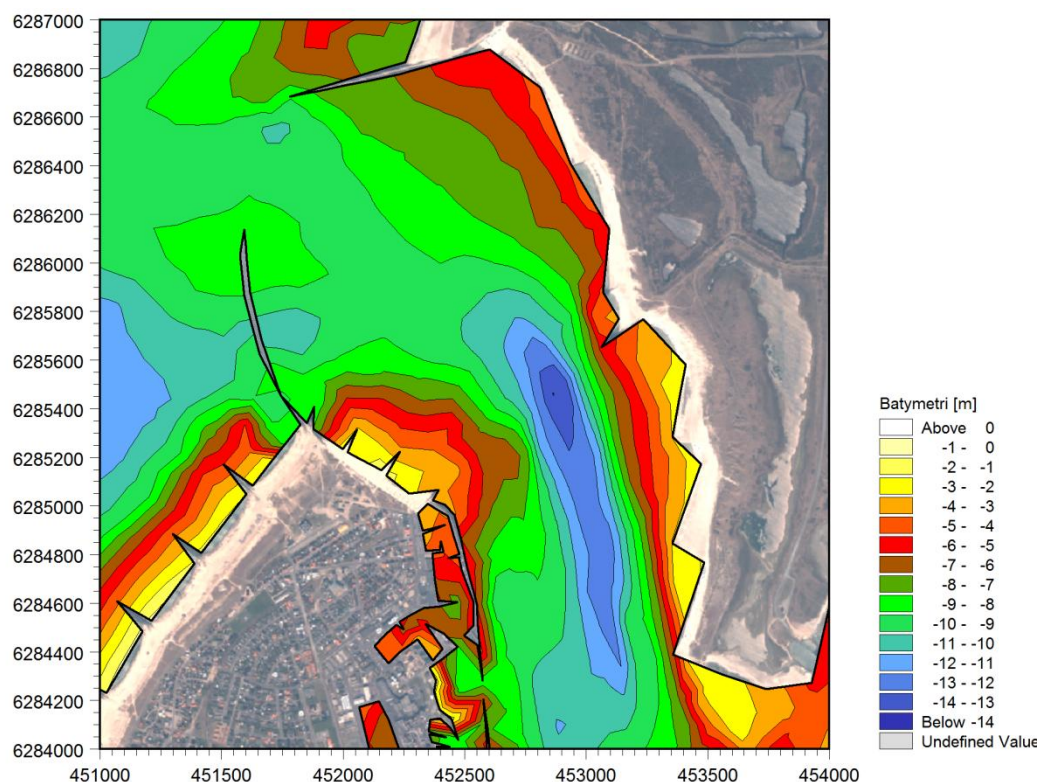
12 INDSNÆVRET ÅBNING AF THYBORØN KANAL

Den fremtidige naturlige morfologiske udvikling af Thyborøn og klimaeffekter i form af forøget havspejlsniveau og kraftigere storme indebærer, at stormflodsniveauerne i Limfjorden vil blive mærkbart forøget. En måde at reducere denne effekt kunne være at indsnævre åbningen af Thyborøn Kanal, således at vandudvekslingen mellem hav og fjord bremses.

I dette afsnit er tre forskellige indsnævninger i form af en forlængelse af hofd 59 undersøgt. En indsnævring af åbningen ind til Thyborøn Kanal mellem hofd 59 og 72 vil kunne dæmpe udvekslingen mellem hav og fjordsystemet men også resultere i forøgede strømhastigheder, som potentielt vil kunne vanskeliggøre besejlingen af Thyborøn Havn. Strømforholdene er derfor også undersøgt for en periode med mere normale strømforhold.

12.1 Batymetrier

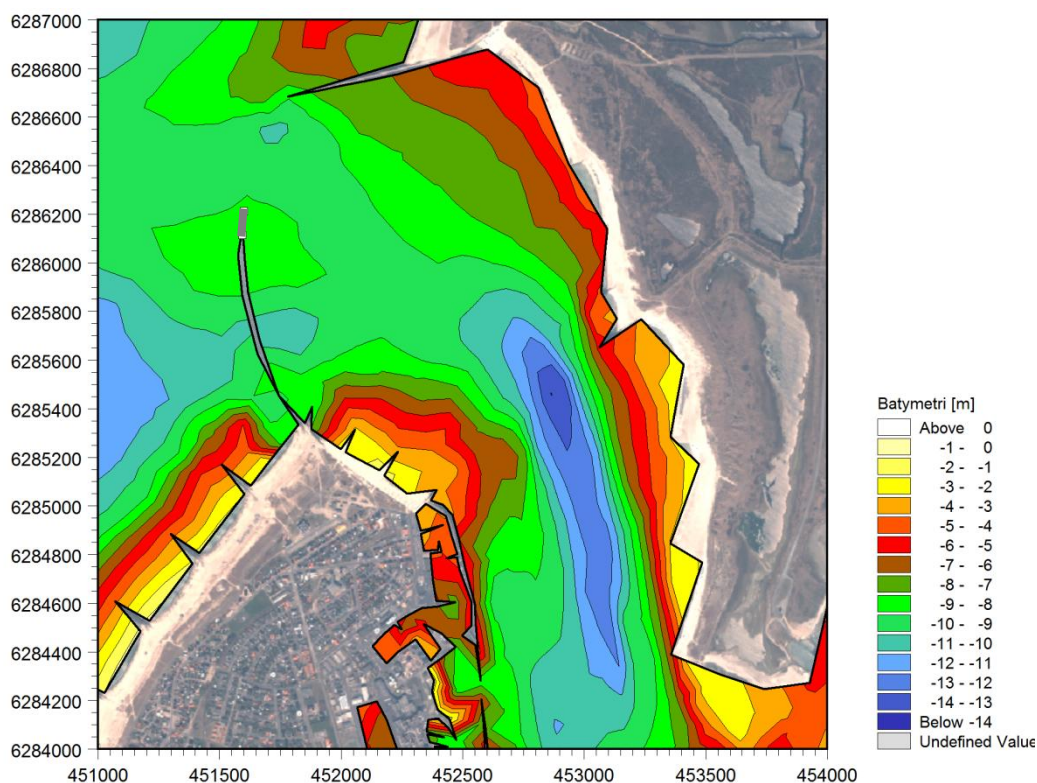
Til undersøgelsen er der genereret en batymetri med en åbningsbredde på 600 m baseret på batymetrien fra 2005. Indsejlingsgeometri er vist i Figur 12-1 nedenfor.



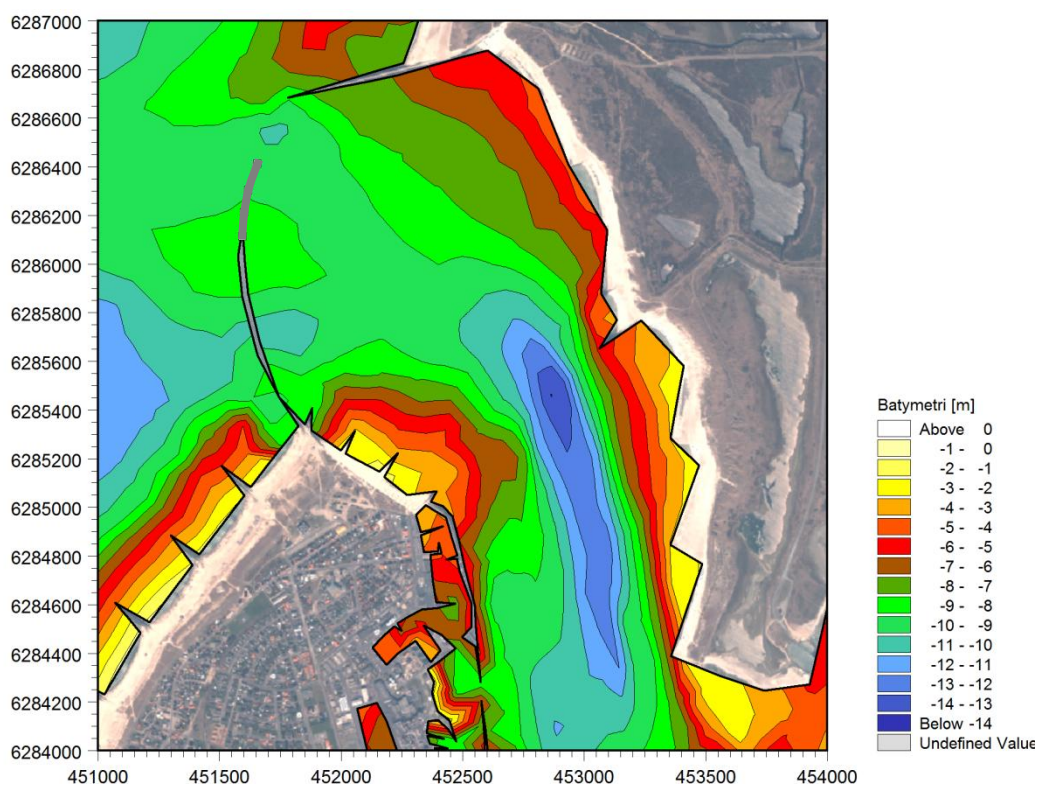
Figur 12-1 2005 batymetri med åbningsbredde i indsejlingen til Thyborøn Kanal indsnævret til 600 m.

Undersøgelsen af åbningsbredder indsnævret til 500 m og 300 m er udført med det samme beregningsnet og batymetri, hvor der modelteknisk er indlagt et skot til blokering af strømmingen. Skottets udstrækning i de to tilfælde er vist i Figur 12-2 og Figur

12-3. I undersøgelsen er det antaget, at der er udlagt én omfattende bundbeskyttelse, således at bundforholdene forbliver stabile på trods af de markante indsnævringer.



Figur 12-2 2005 batymetri med åbningsbredde i indsejlingen til Thyborøn Kanal indsnævret til 500 m.



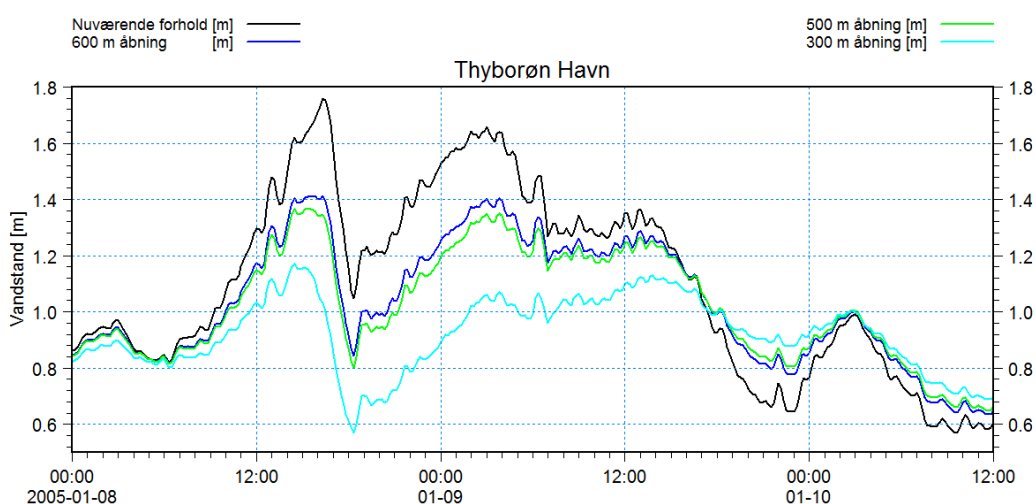
Figur 12-3 2005 batymetri med åbningsbredde i indsejlingen til Thyborøn Kanal indsnævret til 300 m.

12.2 Stormflodsniveauer

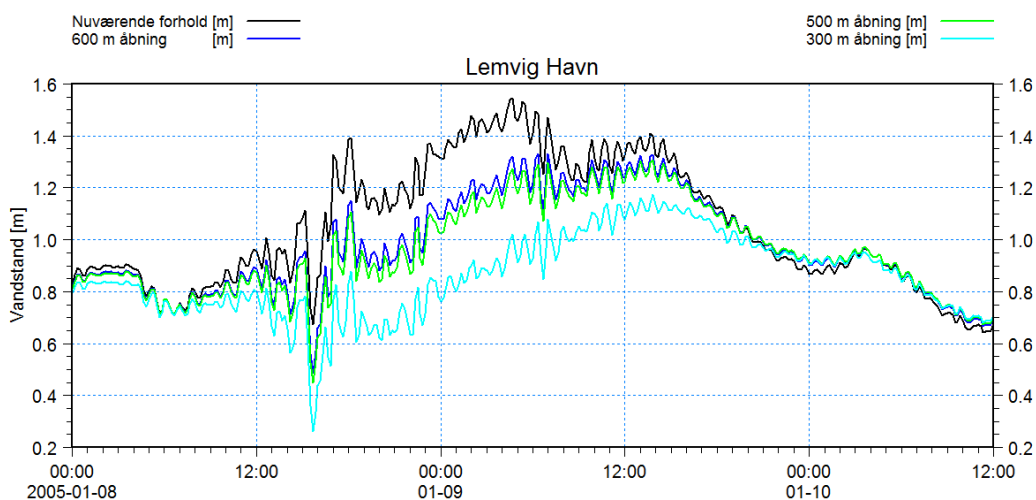
Til at belyse indsnævringernes potentielle effekt på stormflodsniveauerne inde i Limfjorden er der udført simuleringer af Storm 1 og Storm 2. De opnåede effekter på stormflodsniveauerne i en række af stationerne i den vestlige del af Limfjorden er belyst i de følgende afsnit.

12.2.1 Storm 1

Eftersom indsnævringen er placeret mellem havet og Thyborøn Havn vil den virke reducerende på stormflodsniveauerne i havnen, hvilket også fremgår af Figur 12-4 nedenfor. Alle tre indsnævring ses at have en markant reducerende effekt på stormflodsniveauerne. Forskellen mellem en åbningsbredde på 500 m og 600 m ses at være forholdsvis beskednen. Med en åbningsbredde på 300 m ses systemet at blive mærkbart mindre dynamisk og respondere markant langsommere på vandstandsændringer i Vesterhavet.



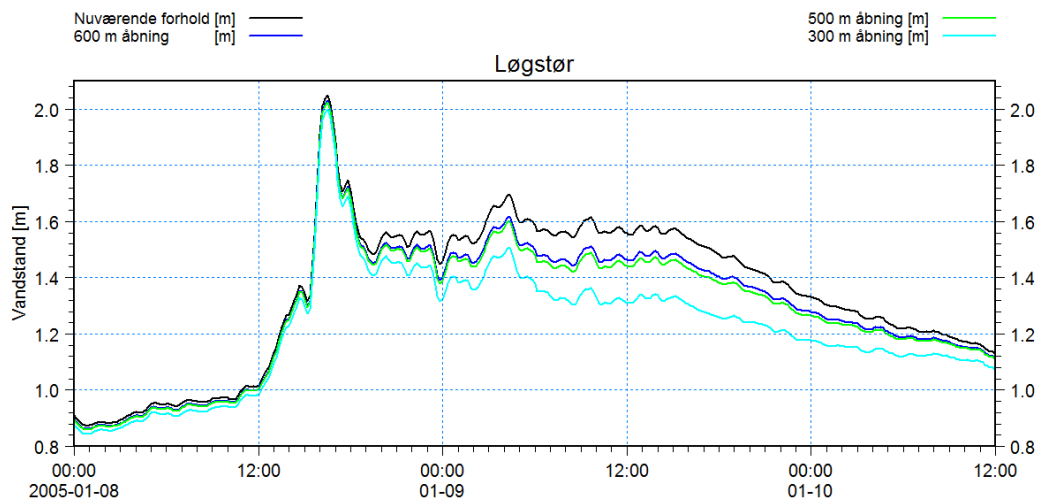
Figur 12-4 Sammenligning af modellerede vandstande i Thyborøn Havn under Storm 1 for nuværende forhold, åbningsbredde 600 m, åbningsbredde 500 m og åbningsbredde 300 m.



Figur 12-5 Sammenligning af modellerede vandstande i Lemvig Havn under Storm 1 for nuværende forhold, åbningsbredde 600 m, åbningsbredde 500 m og åbningsbredde 300 m.

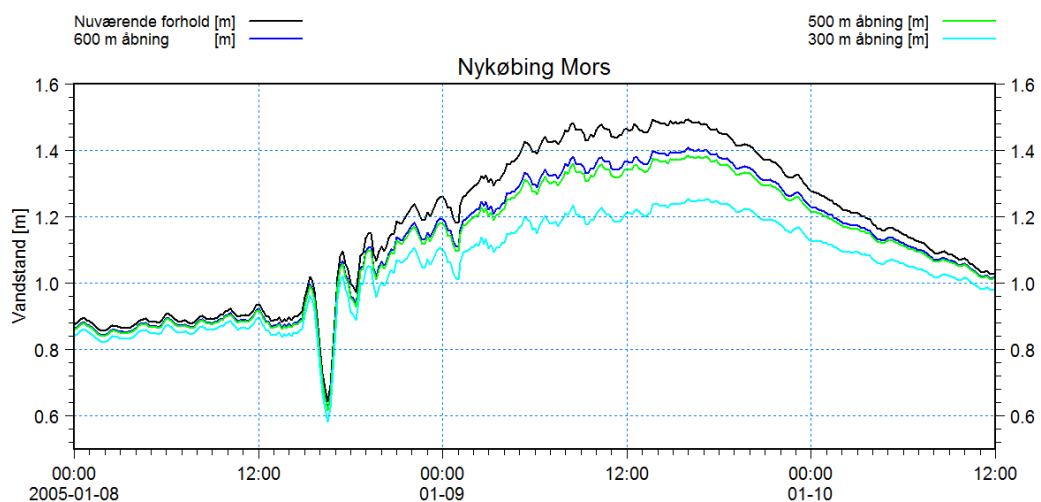
I Lemvig ses indsnævringerne ligeledes at kunne reducere stormflodsniveauerne markant, hvilket hænger naturligt sammen med, at indstrømningen til Nissum Bredning dæmpes i takt med at indsnævringsbredden reduceres.

I Løgstør er maksimal vandstanden kun svagt påvirket, hvilket skyldes, at denne er forårsaget af en kraftig vindstuvning, som optræder tidligt i forløbet og før det fra Vesterhavet indstrømmende vand er nået frem til Løgstør Bredning. I den senere del af forløbet ses indsnævringen til gengæld at have en effekt, idet indstrømningen fra Vesterhavet reduceres.



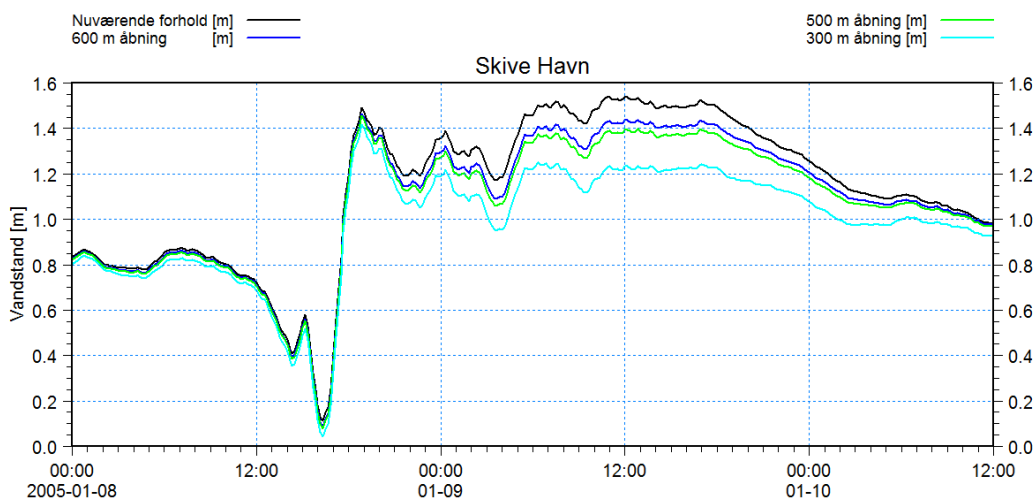
Figur 12-6 Sammenligning af modellerede vandstande ved Løgstør under Storm 1 for nuværende forhold, åbningsbredde 600 m, åbningsbredde 500 m og åbningsbredde 300 m.

Stormflodsniveauerne ved Nykøbing Mors og Thisted reduceres i takt med, at indsnævringsbredden reduceres, idet stormflodsniveauerne i begge stationer er domineret af de fra Vesterhavet indstrømmende vandmængder.

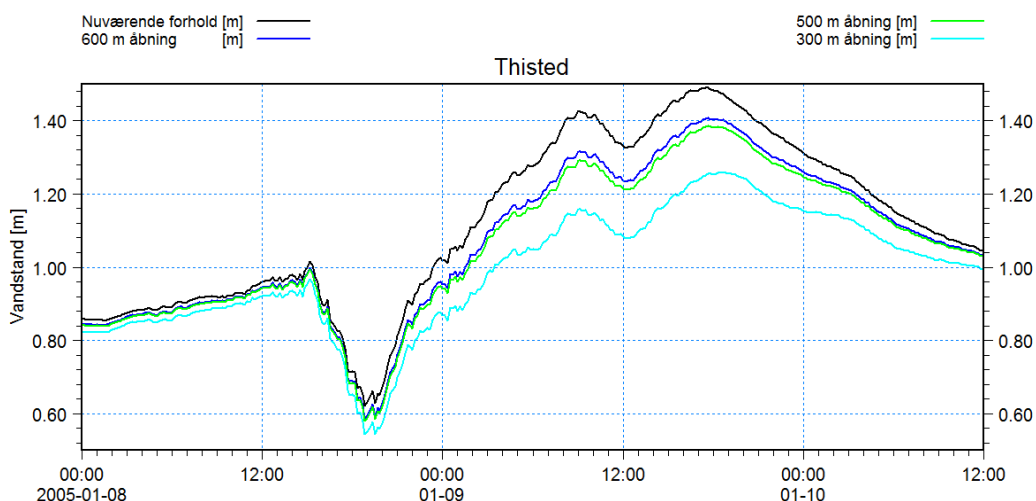


Figur 12-7 Sammenligning af modellerede vandstande ved Nykøbing Mors under Storm 1 for nuværende forhold, åbningsbredde 600 m, åbningsbredde 500 m og åbningsbredde 300 m.

I Skive er tendensen helt analog til Løgstør. Det høje stormflodsniveau, som forårsages af vindstuvningen tidligt i forløbet, influeres ikke, mens niveauet i den senere del reduceres, som følge af den formindskede indstrømning fra Vesterhavet.



Figur 12-8 Sammenligning af modellerede vandstande i Skive Havn under Storm 1 for nuværende forhold, åbningsbredde 600 m, åbningsbredde 500 m og åbningsbredde 300 m.



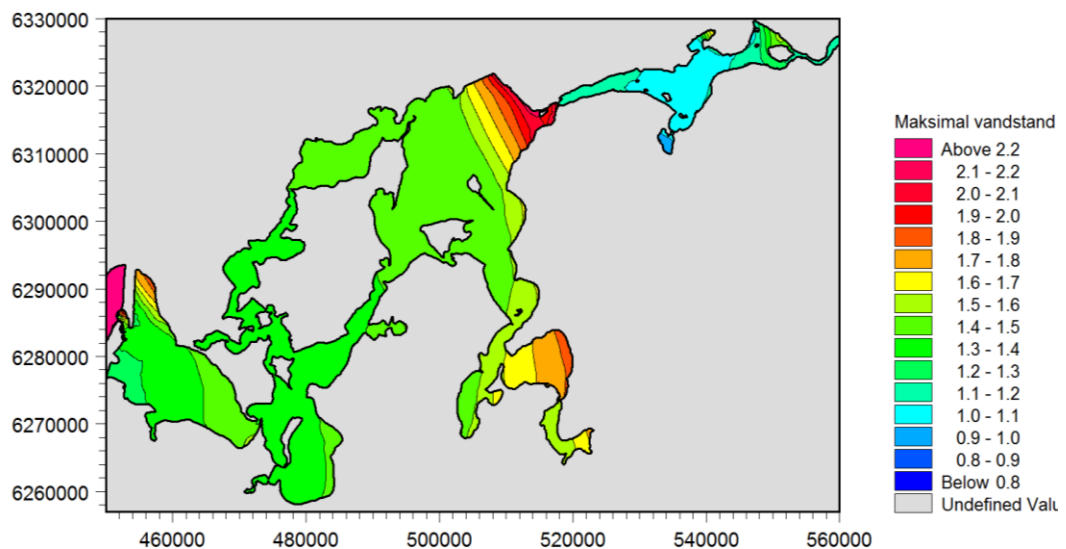
Figur 12-9 Sammenligning af modellerede vandstande ved Thisted under Storm 1 for nuværende forhold, åbningsbredde 600 m, åbningsbredde 500 m og åbningsbredde 300 m.

Tabel 12-1 er de modellerede maksimal vandstande angivet for 11 stationer i Limfjorden. Det ses, at man for en lang række af stationerne i den vestlige del af Limfjorden kan opnå meget markante reduktioner af maksimal vandstanden. I Løgstør, Hvalpsund og Skive er effekten noget mere beskednen, som følge af at disse domineres af en ren vindstuvning.

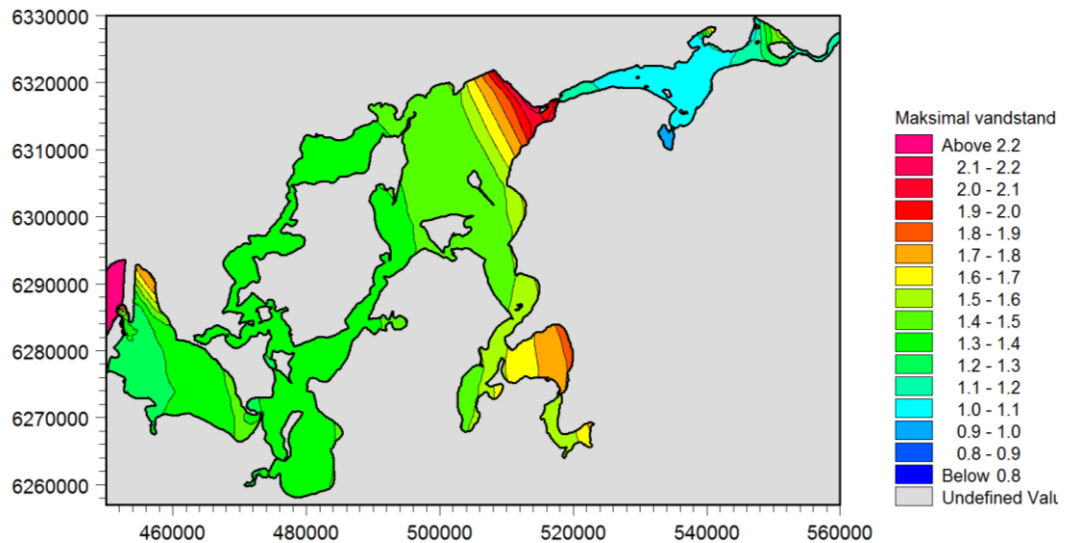
Tabel 12-1 Modellerede maksimal vandstande i Limfjorden under Storm 1, som følge af en indsnævret åbning til Thyborøn Kanal. Alle værdier er angivet i meter.

Station	Fuld åbning	600 m åbning	500 m åbning	300 m åbning
Thyborøn Havn	1,76	1,41	1,37	1,17
	1,66	1,40	1,35	1,13
Lemvig	1,55	1,33	1,31	1,17
Løgstør	2,05	2,03	2,03	2,00
Nibe	1,13	1,09	1,08	1,03
Ålborg	1,15	1,14	1,14	1,12
Mors	1,49	1,41	1,39	1,26
Skive	1,54	1,47	1,46	1,43
Hvalpsund	1,61	1,58	1,57	1,54
Thisted	1,49	1,41	1,39	1,26
Rønbjerg	1,62	1,58	1,57	1,55
Øland Attrup	1,15	1,10	1,09	1,02

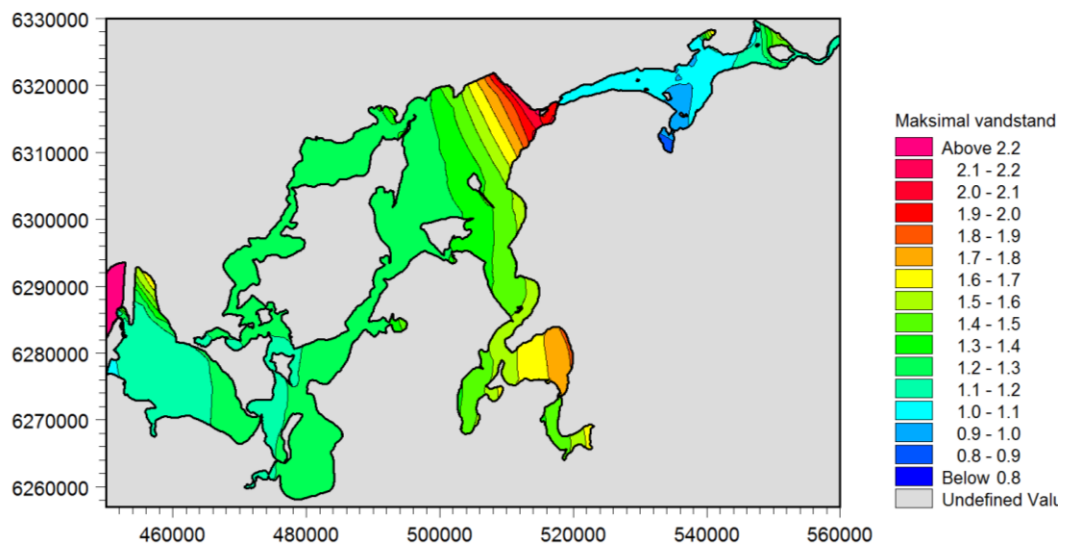
De modellerede maksimal vandstande i Limfjorden under Storm 1 er vist i Figur 12-10, Figur 12-11 og Figur 12-12 for de tre indsnævring. Det ses tydeligt, at indsnævringerne reducerer maksimal vandstanden i Nissum Bredning og den centrale del, men ikke i Løgstør Bredning og Lovns Bredning.



Figur 12-10 Modellerede vandstande under Storm 1 med en indsnævret åbningsbredde på 600 m.



Figur 12-11 Modellerede vandstande under Storm 1 med en indsnævret åbningsbredde på 500 m.



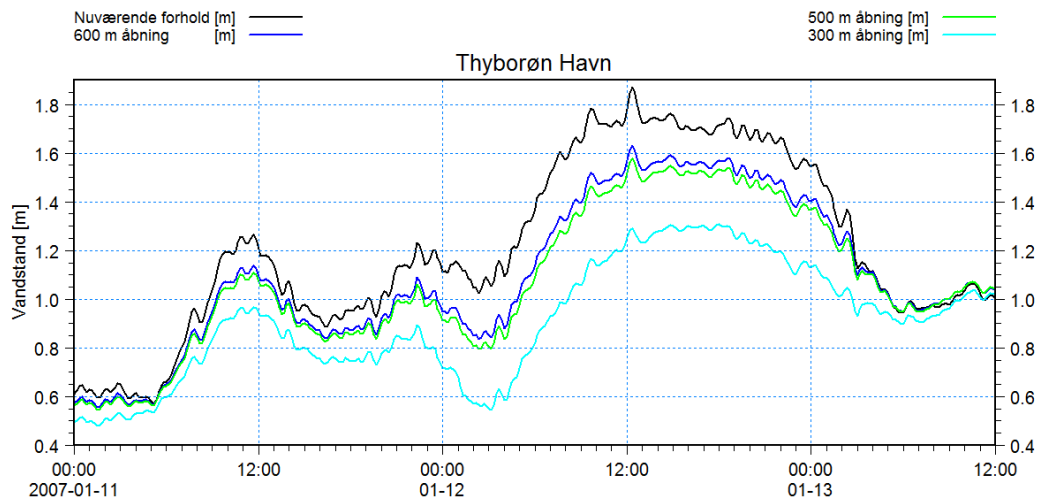
Figur 12-12 Modellerede vandstande under Storm 1 med en indsnævret åbningsbredde på 300 m.

12.2.2 Storm 2

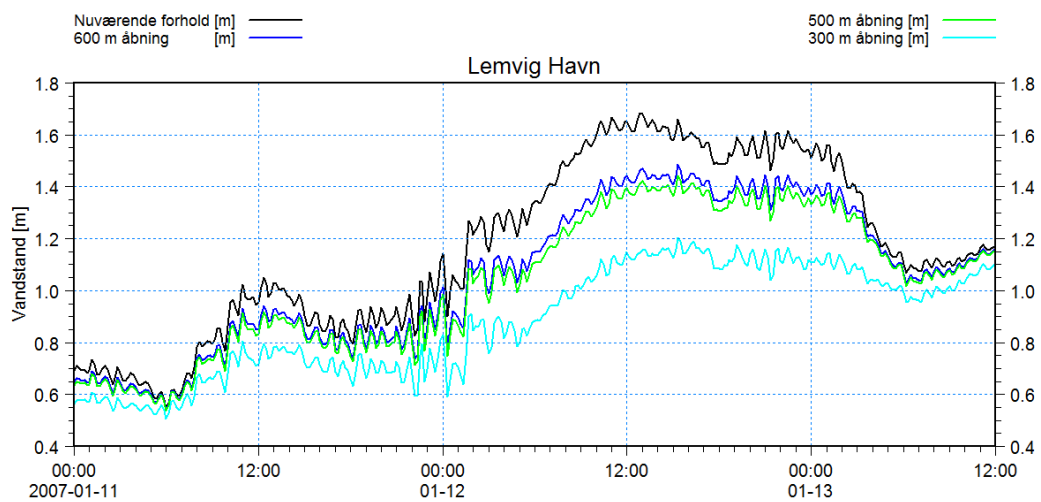
Storm 2 adskiller sig fra Storm 1 ved, at de maksimale stormflodsniveauer i hele Limfjordssystemet i langt højere grad er domineret af den fra Vesterhavet indstrømmende vandmængde. Indsnævringen af Thyborøn Kanal vil derfor for denne type af storm være mere effektiv til at reducere maksimal vandstanden i hele den vestlige Limfjord. Dette ses tydeligt i Figur 12-13 ved, at vandstandene er sænket under hele stormforløbet. Som for Storm 1 ses der at være relativ lille forskel på, om indsnævringen er 600 m eller 500 m. Indsnævringen på 300 m ses ligeledes som før at dæmpe den dynamiske udveksling af vand mellem hav og fjord markant i både Thyborøn Havn og Lemvig.

Ved Løgstør, Nykøbing Mors, Skive og Thisted reduceres maksimal vandstanden ligeledes markant. For tilfældet med en indsnævringsbredde på 300 m ændres tidspunktet for, hvornår maksimal vandstandshændelsen indtræffer i Skive som følge af, at denne

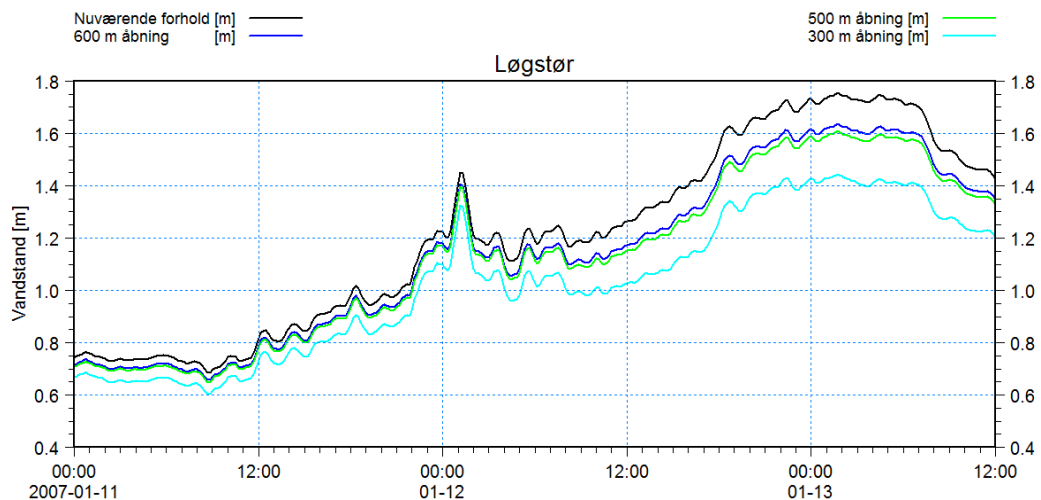
hændelse i højere grad er influeret af effekter fra en vindstuvning, som ikke påvirkes af en ændret åbningsbredde.



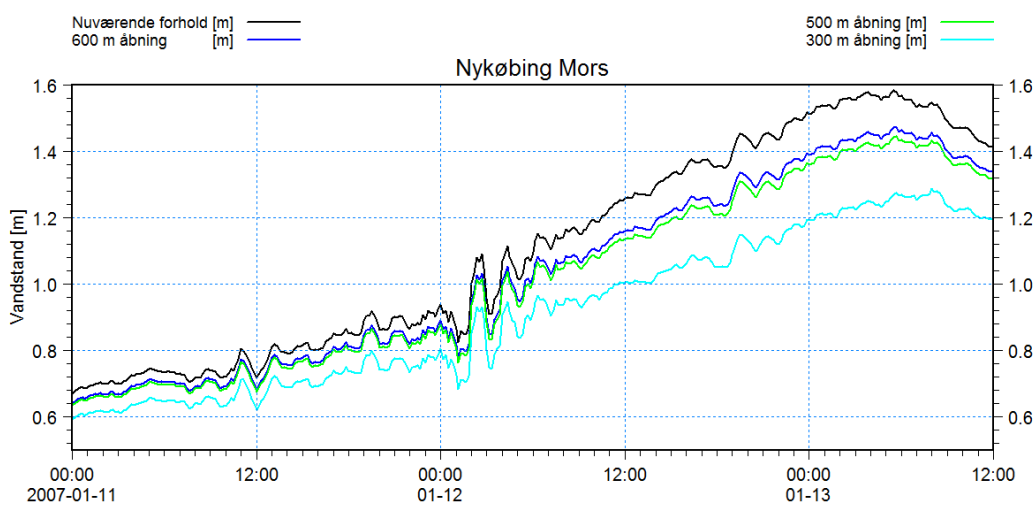
Figur 12-13 Sammenligning af modellerede vandstande i Thyborøn Havn under Storm 2 for nuværende forhold, åbningsbredde 600 m, åbningsbredde 500 m og åbningsbredde 300 m.



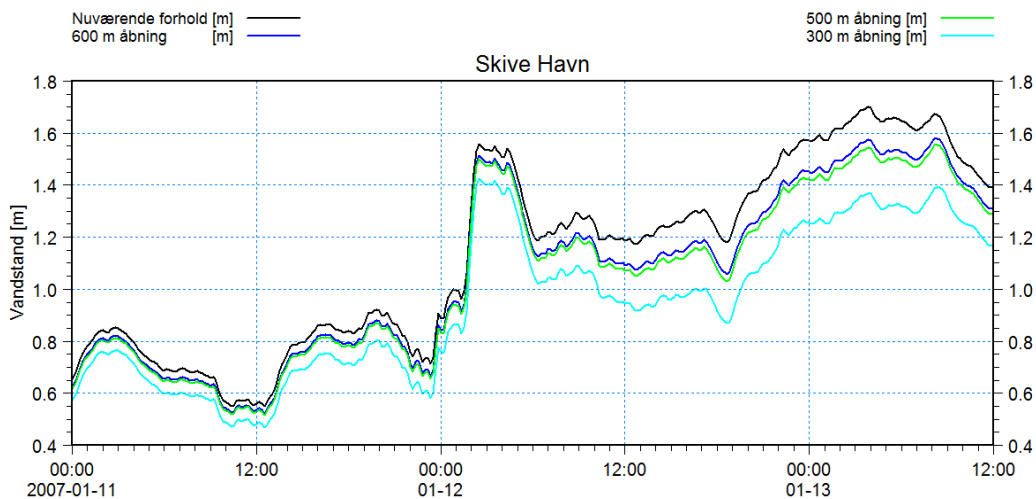
Figur 12-14 Sammenligning af modellerede vandstande i Lemvig Havn under Storm 2 for nuværende forhold, åbningsbredde 600 m, åbningsbredde 500 m og åbningsbredde 300 m.



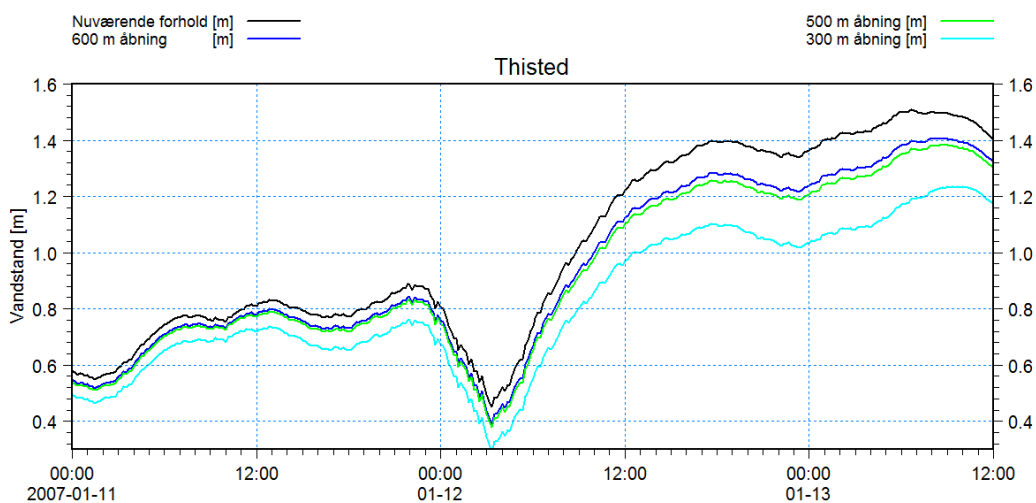
Figur 12-15 Sammenligning af modellerede vandstande ved Løgstør under Storm 2 for nuværende forhold, åbningsbredde 600 m, åbningsbredde 500 m og åbningsbredde 300 m.



Figur 12-16 Sammenligning af modellerede vandstande ved Nykøbing Mors under Storm 2 for nuværende forhold, åbningsbredde 600 m, åbningsbredde 500 m og åbningsbredde 300 m.



Figur 12-17 Sammenligning af modellerede vandstande i Skive Havn under Storm 2 for nuværende forhold, åbningsbredde 600 m, åbningsbredde 500 m og åbningsbredde 300 m.



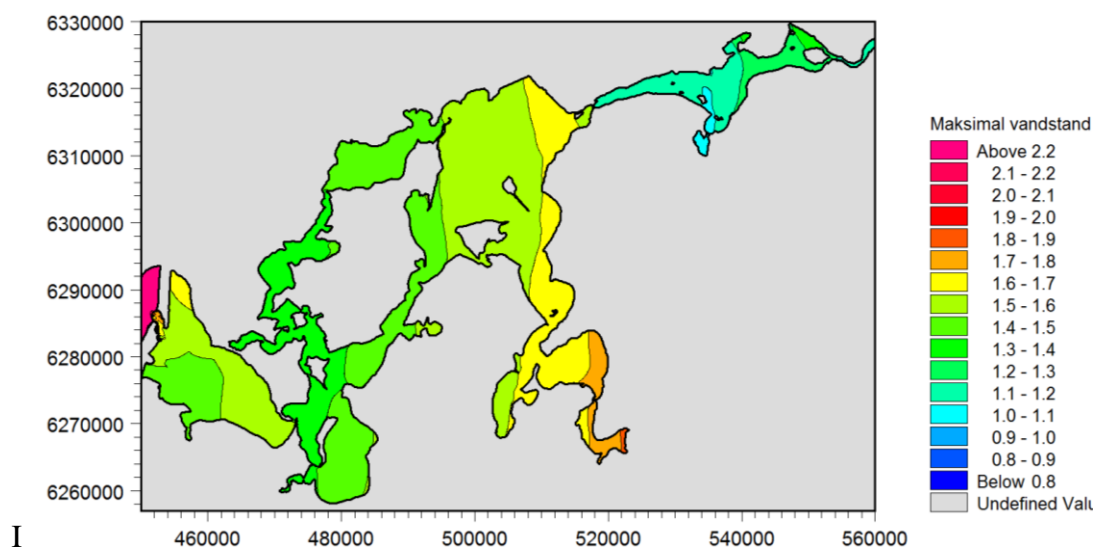
Figur 12-18 Sammenligning af modellerede vandstande ved Thisted under Storm 2 for nuværende forhold, åbningsbredde 600 m, åbningsbredde 500 m og åbningsbredde 300 m.

I Tabel 12-2 er de modellerede maksimal vandstande under Storm 2 angivet for 11 stationer i Limfjorden. Det ses, at man for alle stationerne i den vestlige del af Limfjorden kan opnå meget markante reduktioner af maksimal vandstanden.

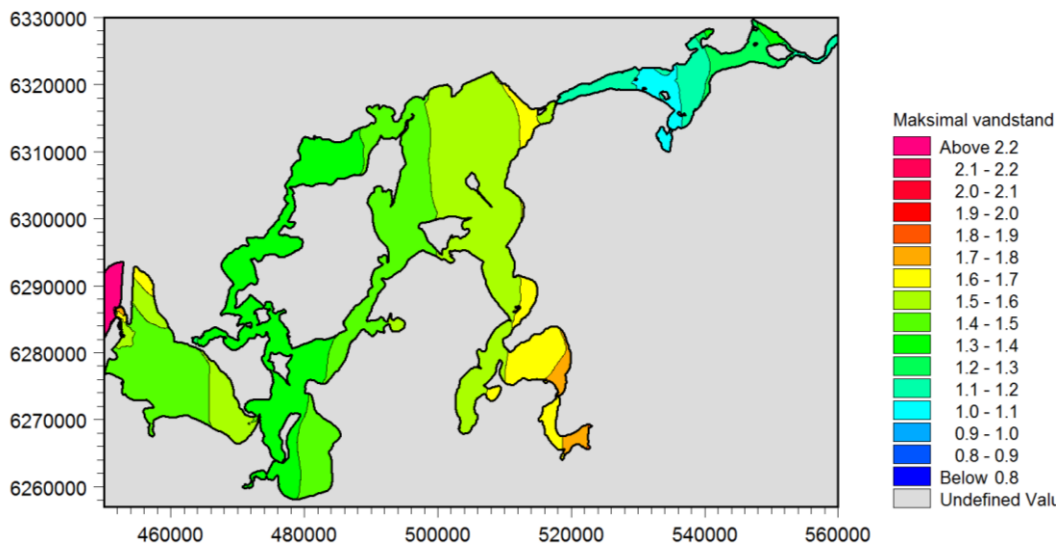
Tabel 12-2 Modellerede maksimal vandstande i Limfjorden under Storm 2, som følge af en indsnævret åbning til Thyborøn Kanal. Alle værdier er angivet i meter.

Station	Fuld åbning	600 m åbning	500 m åbning	300 m åbning
Thyborøn Havn	1,87	1,63	1,58	1,31
Lemvig	1,68	1,49	1,44	1,20
Løgstør	1,75	1,63	1,61	1,44
Nibe	1,26	1,20	1,18	1,12
Ålborg	1,17	1,15	1,14	1,11
Mors	1,58	1,47	1,45	1,29
Skive	1,70	1,58	1,55	1,42
Hvalpsund	1,76	1,63	1,60	1,43
Thisted	1,51	1,41	1,38	1,24
Rønbjerg	1,73	1,60	1,57	1,40
Øland Attrup	1,20	1,12	1,10	1,00

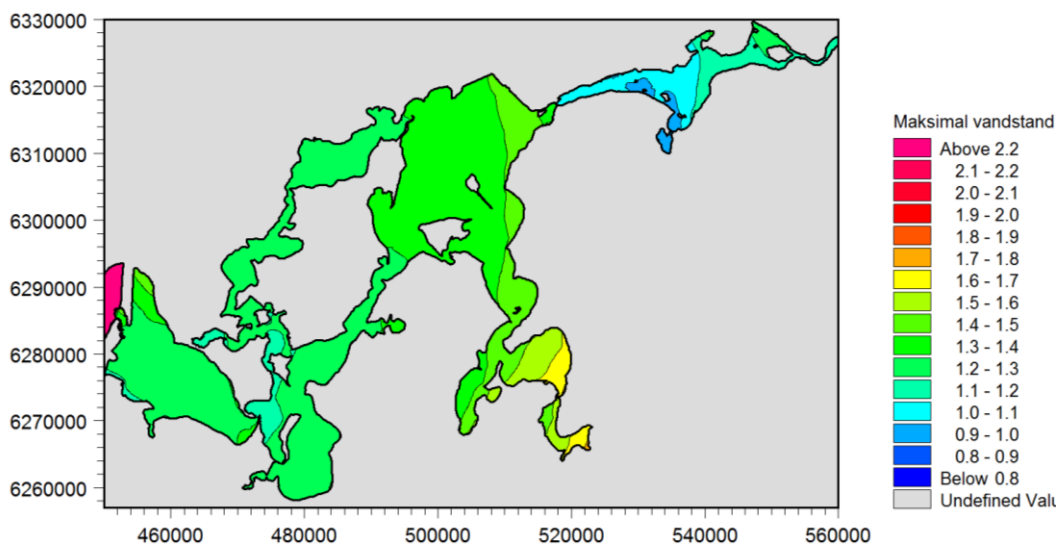
I Figur 12-19, Figur 12-20 og Figur 12-21 er der vist konturplot af den modellerede maksimal vandstand under Storm 2 for hver af de tre undersøgte indsnævringsbredder. Det ses, at indsnævringerne under en storm af denne type har en signifikant reducerende effekt på maksimal vandstanden i hele Limfjorden.



Figur 12-19 Modellerede vandstande under Storm 2 med en indsnævret åbningsbredde på 600 m.



Figur 12-20 Modellerede vandstande under Storm 2 med en indsnævret åbningsbredde på 500 m.

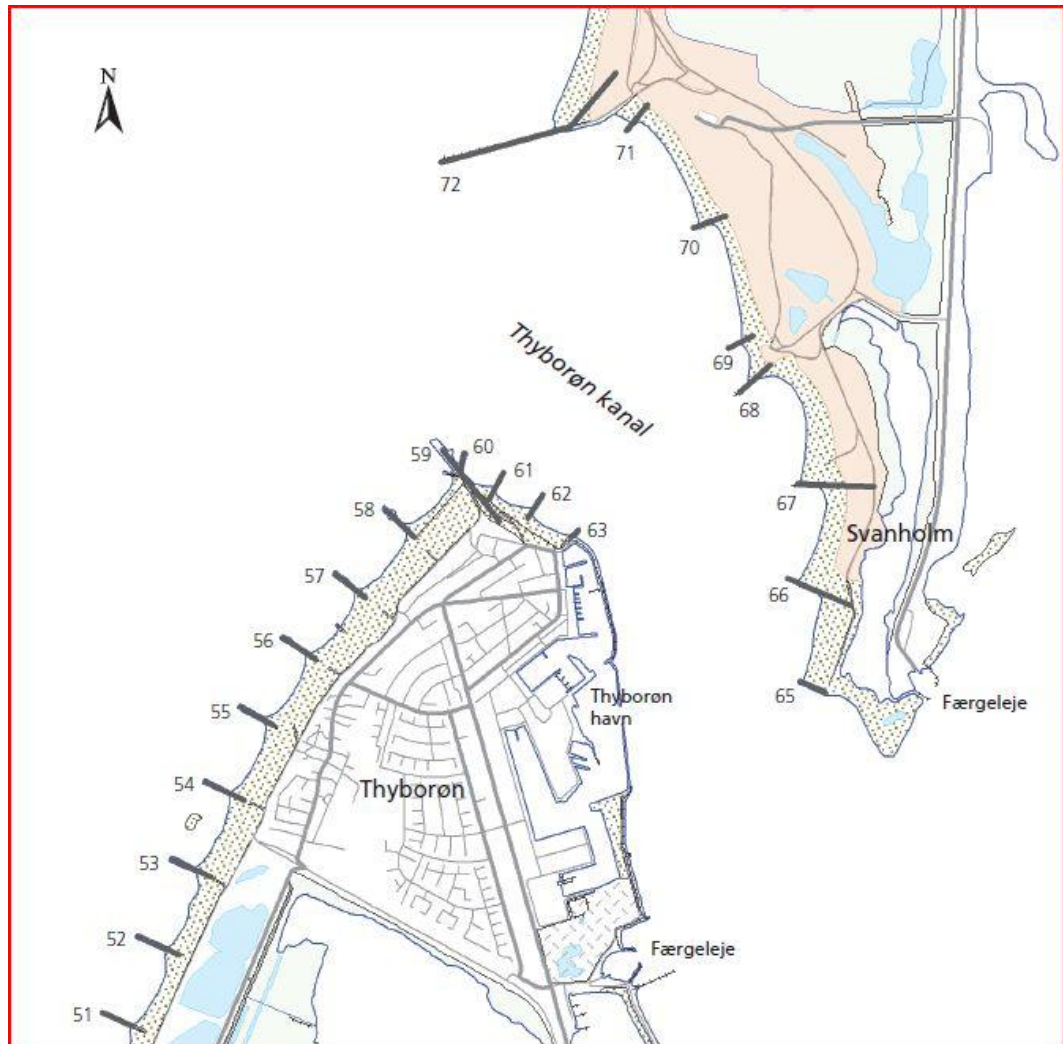


Figur 12-21 Modellerede vandstande under Storm 2 med en indsnævret åbningsbredde på 300 m.

12.3 Strømforhold i Thyborøn Kanal

En indsnævring af åbningen til Thyborøn Kanal vil have en markant reducerende effekt på stormflodsniveauerne i Limfjorden, som følge af at indstrømningen fra Vesterhavet reduceres. En permanent effekt forudsætter dog, at bunden erosionsbeskyttes, således at åbningstværsnittet ikke ændres over tid. Ulempen ved en indsnævring er forøgede strømhastigheder under storm og normale forhold, og dermed potentielt vanskeligere besejlingsforhold til Thyborøn Havn. I dette afsnit er maksimalhastigheder i Thyborøn Kanal under storm og ren tidevandspåvirkning undersøgt for de tre forskellige åbningsbredder samt de eksisterende forhold.

I Figur 12-22 er der vist et oversigtskort af høfder og deres betegnelser i området ved Thyborøn, idet der refereres til høfdenumre i det følgende afsnit.

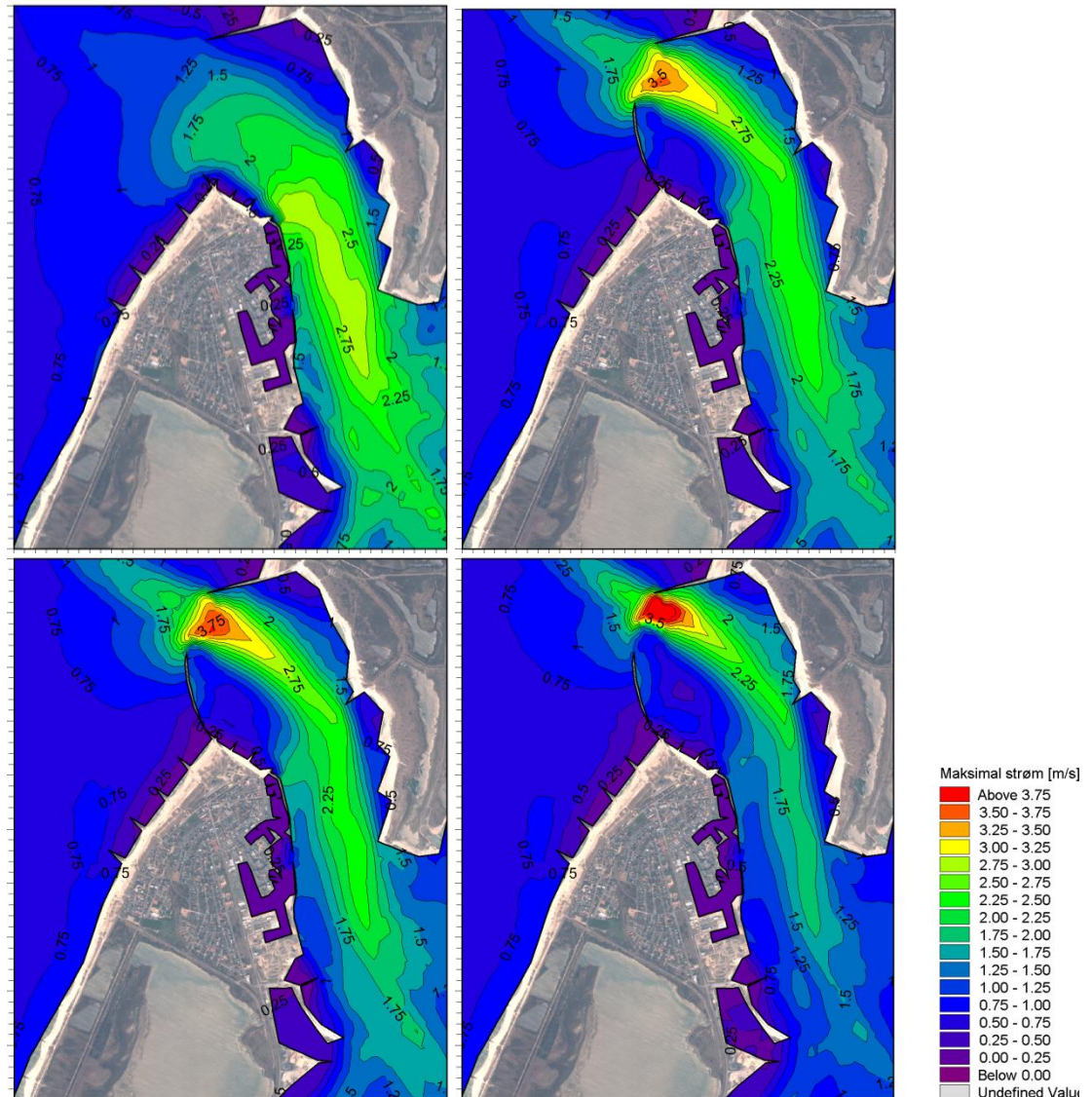


Figur 12-22 Oversigtskort over hølfer og deres betegnelser i området ved Thyborøn.

12.3.1 Ændringer under storm

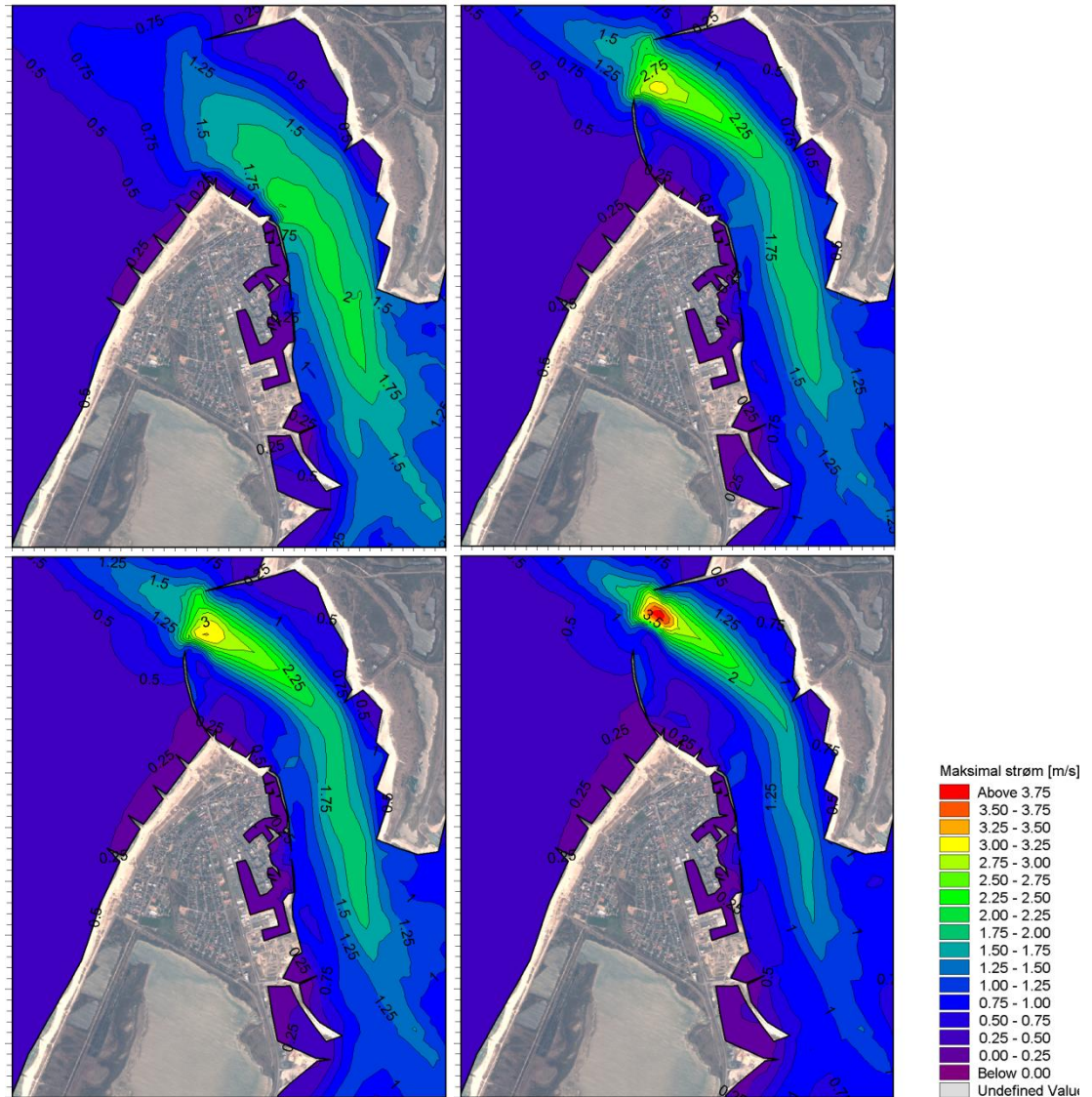
I det eksisterende system optræder de maksimale strømhastigheder midt i kanalen og på strækningen ud for havnen. I systemet med en indsnævring flytter de maksimale strømhastigheder ud i åbningstværsnittet, samtidig med at de forøges. Ydermere optræder de høje strømhastigheder i et område med høje bølger, hvilket kan påvirke besejling af Thyborøn Havn.

I Figur 12-23 er de modellerede strømhastigheder under Storm 1 vist for eksisterende forhold, samt indsnævringer med åbningsbredder på 600 m, 500 m og 300 m. Plottet er ikke udtryk for et øjeblikbillede, idet maksimalstrømmen i hvert enkelt beregningselement kan optræde på forskellige tidspunkter under stormen. I det eksisterende system ses de maksimale strømhastigheder at nå op på omkring 3 m/s. Med en åbningsbredde på 600 m ses de maksimale strømhastigheder at stige til lidt over 3,5 m/s og 3,75 m/s for en åbningsbredde på 500 m. Med en åbningsbredde på 300 m bliver strømhastighederne højere end 4 m/s. Kombinationen af høje bølger, høje strømhastigheder og lille åbning er alle faktorer, som kan gøre besejlingsforholdene af Thyborøn Havn mere ugunstige.



Figur 12-23 Modellerede maksimale strømhastigheder under Storm 1. Øverst til venstre: Eksisterende forhold. Øverst til højre: 600 m åbningsbredde. Nederst til venstre: 500 m åbningsbredde. Nederst til højre: 300 m åbningsbredde.

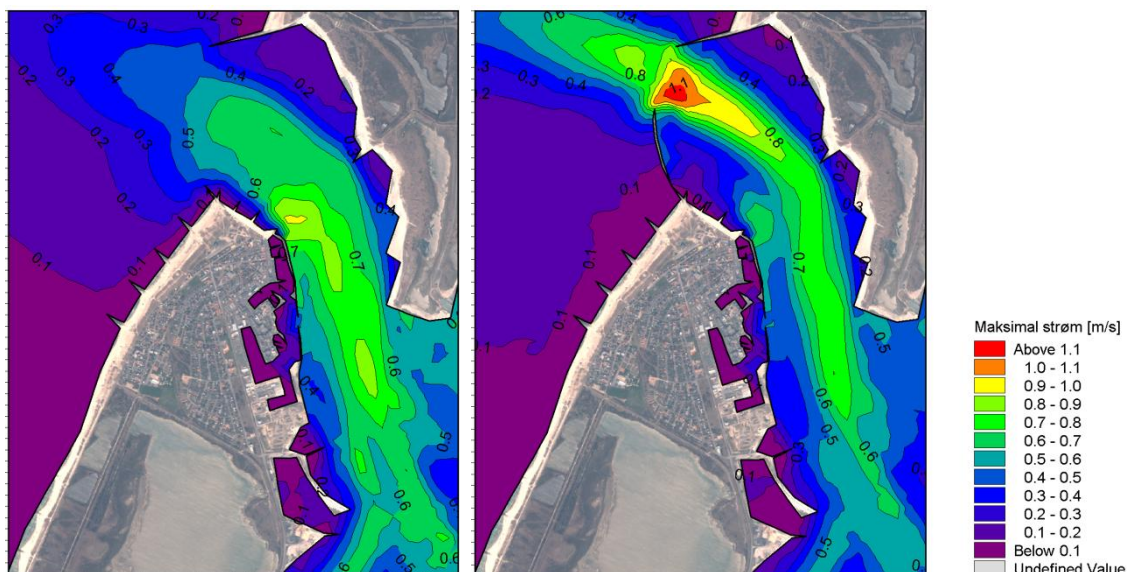
I Figur 12-24 er de modellerede strømhastigheder under Storm 2 vist for eksisterende forhold, samt indsnævring med åbningsbredder på 600 m, 500 m og 300 m. Storm 2 er mere langvarig men mindre intens end Storm 1. De maksimale strømhastigheder bliver derfor lavere end under Storm 1, men strømfordelingen er stort set den samme. Med de eksisterende forhold bliver de maksimale strømhastigheder omkring 2,25 m/s i kanalen ud for hofd 63. Med indsnævret åbning ses de maksimale strømhastigheder at blive lidt over 2,75 m/s, 3 m/s og 3,5 m/s for åbningsbredder på 600 m, 500 m og 300 m. Ud over at have indflydelse på besejlingsforholdene af Thyborøn Havn er et estimat for den maksimale strømhastighed ligeledes af betydning for design af bundbeskyttelse til fastholdelse af tværsnittet.



Figur 12-24 Modellerede maksimale strømhastigheder under Storm 2. Øverst til venstre: Eksisterende forhold. Øverst til højre: 600 m åbningsbredde. Nederst til venstre: 500 m åbningsbredde. Nederst til højre: 300 m åbningsbredde.

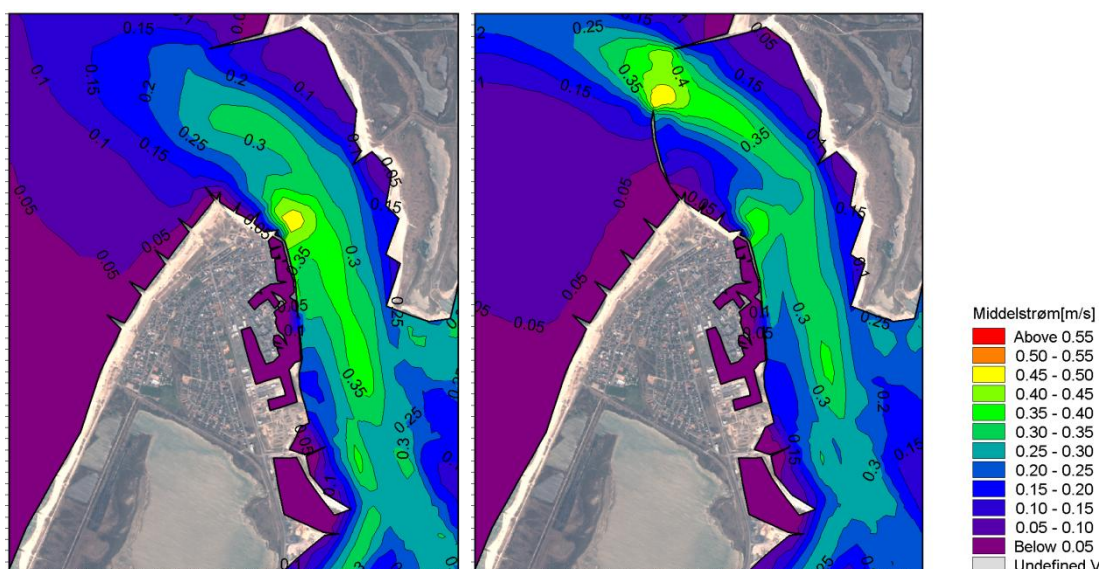
12.3.2 Ændringer under normale forhold

Under rolige forhold vil strømmingen kun være påvirket af tidevand, mens der under mere hyppigt forekommende forhold vil optræde lidt kraftigere strømning som følge af, at tidevandet overlejres af vejrbedingede vandstandsvariationer. I Figur 12-25 er de modellerede maksimale strømhastigheder under en dobbelt spring og nip cyklus vist for eksisterende forhold og med en indsnævringsbredde på 600 m. Det ses, at de maksimale tidevandsgenererede strømhastigheder optræder ud for hofde 63 og er omkring 0,9 m/s i det eksisterende system. I systemet med indsnævringen flyttes de maksimale strømhastigheder ud i åbningstværsnittet, hvor bølgerne er kraftigere og højere. Med en åbningsbredde på 600 m ses de maksimale tidevandsgenererede strømhastigheder at overstige 1,1 m/s.



Figur 12-25 Modellerede maksimale strømhastigheder under to spring og nip tidevandscyklr. Venstre side: Eksisterende forhold. Højre side: 600 m åbningsbredde.

De maksimale strømhastigheder optræder kun over relativt kort tid. Et bedre billede af de generelle forhold er derfor etableret ved at beregne middelstrømmen i løbet af den dobbelte spring og nip periode. Resultatet af denne analyse er vist i Figur 12-26. Heraf ses, at middelstrømmen i åbningen vil være 0,4-0,5 m/s, hvilket næppe vil volde nogen form for passageproblemer.



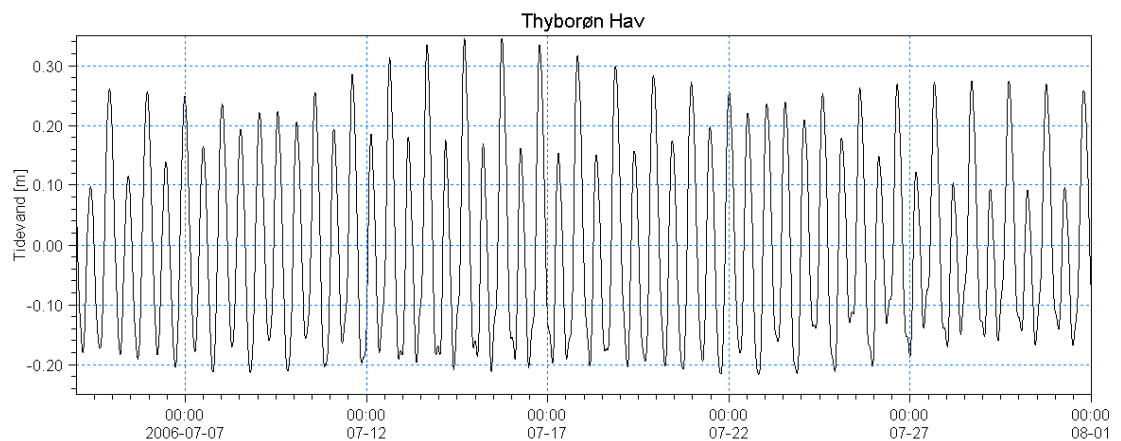
Figur 12-26 Modellerede middel strøm under to spring og nip tidevandscyklr. Venstre side: Eksisterende forhold. Højre side: 600 m åbningsbredde.

13 ÆNDRINGER I TIDEVANDSPRISME OG INDSTRØMNING

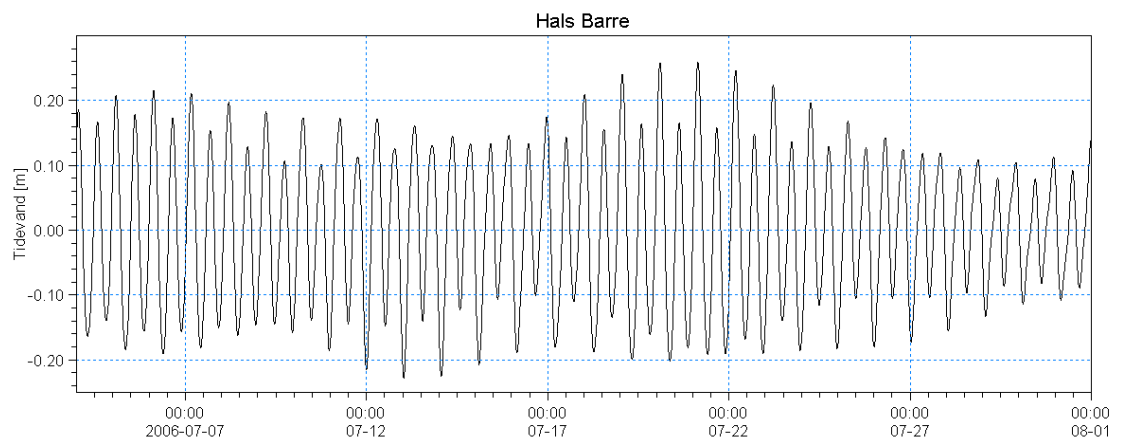
Den historiske og fremtidige udvikling af Thyborøn Kanal har og vil medføre en ændring af tidevandsprismet i Limfjorden. Ligeledes vil en indsnævring af åbningen i form af høfdeforlængelser influere på tidevandsprismet. I dette afsnit er der udført en analyse på baggrund af den historiske 1958 batymetri, den nutidssvarende 2005 batymetri, den skønnede 2060 batymetri og 2005 batymetrien med en åbningsbredde indsnævret til 600 m. Desuden er der lavet en analyse af indstrømningen under Storm 1 og Storm 2.

13.1 Tidevand

Analysen er udført med udgangspunkt i simuleringer af tidevandet svarende til hele juli måned 2006. For at sikre at initialbetingelsen ikke influerer på modelresultaterne, er de tre første døgn ikke inddraget i analysen. Analysen er derfor udført på basis af 28 døgn svarende til en dobbelt spring og nip cyklus. Som drivende kræfter er der benyttet konstituentberegnet tidevand for Thyborøn Hav og Hals Barre, idet disse ikke vil være påvirket af batymetriske ændringer i Limfjordssystemet. Begge tidevandsrandene er offset korrigerede til middelniveau nul for at sikre, at der ikke inddrages effekter fra en overlejret trykgradient. De to påtrykte tidevandsrande i analyseperioden er vist i Figur 13-1 og Figur 13-2 nedenfor.



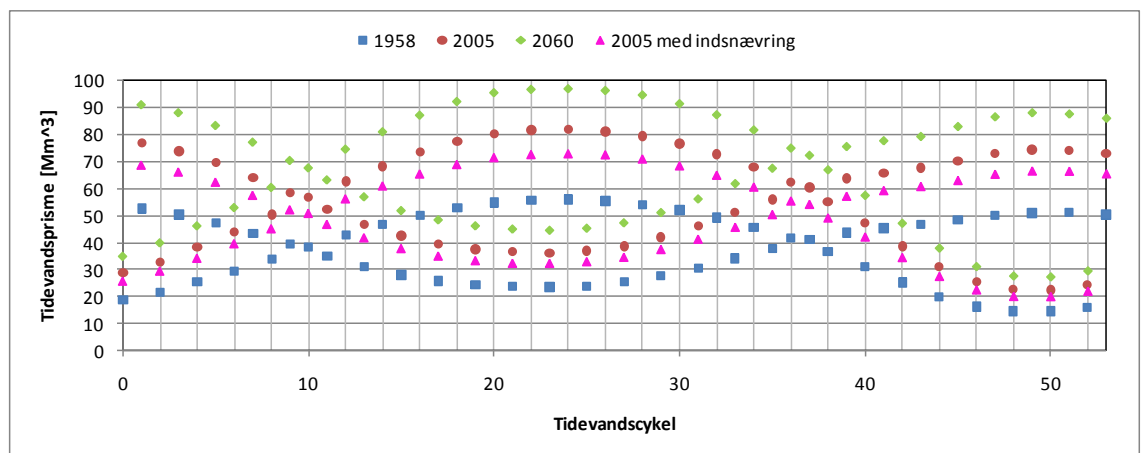
Figur 13-1 Tidevandsrandbetingelse påtrykt langs den åbne vestlige modelrand.



Figur 13-2 Tidevandsrandbetingelse påtrykt langs den åbne østlige modelrand.

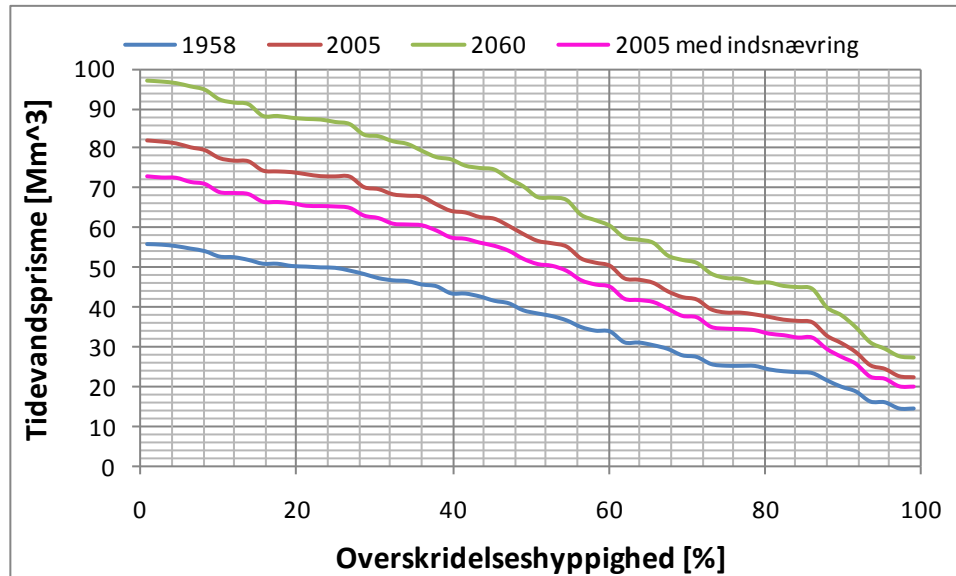
Det ses, at tidevandsvariationen er op til 0,6 m ved Thyborøn Hav og lidt under 0,5 m ved Hals Barre.

Tidevandsprismet i Limfjorden er beregnet på baggrund af den modelberegnete akkumulerede vandføring i Thyborøn Kanal som forskellen ved begyndende indstrømning og udstrømning. Der beregnes derfor et tidevandsprisme for hver tidevandscyklus. I Figur 13-3 er de modelestimerede tidevandsprismer over en periode på 28 døgn (54 cykler) plottet for den historiske, nutidige, fremtidige og nutidige batymetri med indsnævret åbningsbredde på 600 m. Det ses, at tidevandsprismet er blevet forøget med omkring 50 % fra 1958 til 2005, og at den fortsatte udvikling frem til 2060 vil resultere i en forøgelse på 80 % i forhold til forholdene i 1958. En forlængelse af højde 59 og 72 således at åbningsbredden til Thyborøn Kanal reduceres til 600 m reducerer tidevandsprismet, men bringer på ingen måde forholdene tilbage til et 1958 niveau.



Figur 13-3 Modelestimerede tidevandsprismer i løbet af en dobbelt spring og nip cyklus.

De i Figur 13-3 beregnede tidevandsprismer kan i stedet plottes som et overskridelsesplot for tidevandsprismet. Dette er gjort i Figur 13-4 nedenfor. Af figuren ses, at det maksimale tidevandsprisme i 1958 svarer til, hvad der overskrides i 66 % af tidevandscyklerne i 2060 situationen og 54 % af tiden med de nutidige forhold.



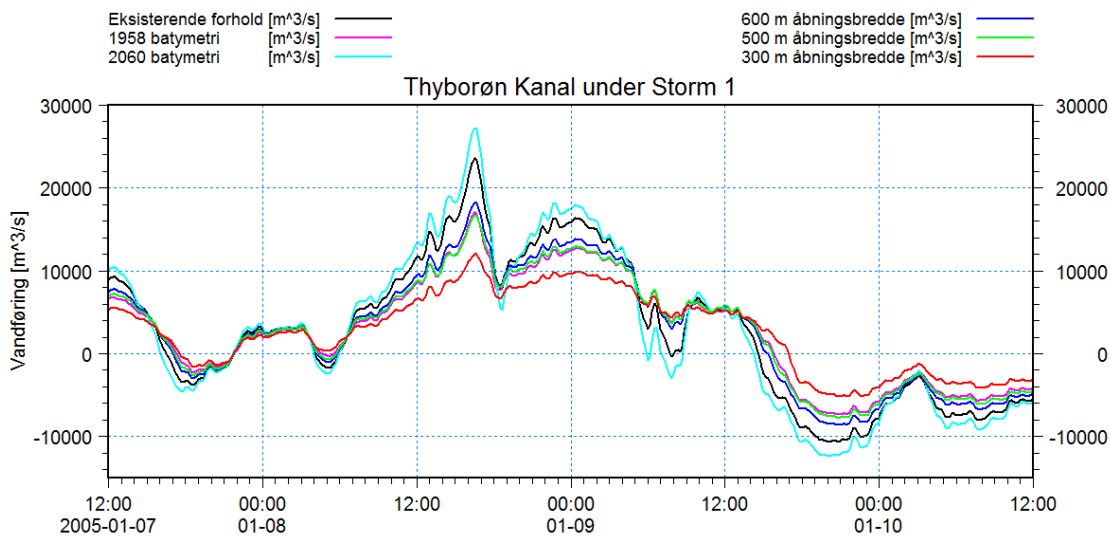
Figur 13-4 Overskridelsesdiagram for tidevandsprismet i Limfjorden.

Omvendt ses det mindste tidevandsprisme i 2060 at svare til, hvad der overskrides i 70 % af tidevandscyklerne i 1958 situationen og 92 % med de nutidige forhold.

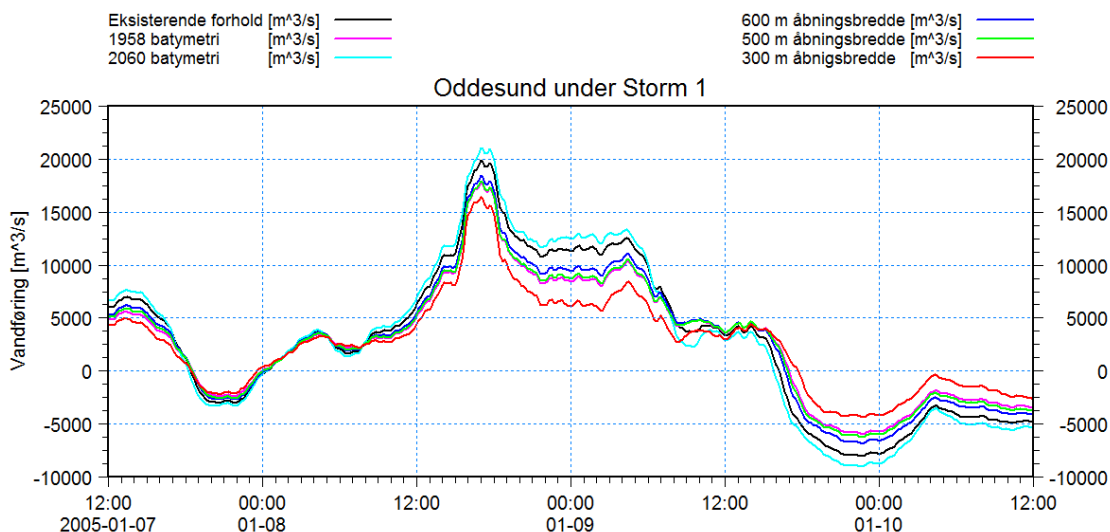
13.2 Ændring i indstrømning under stormflod

Den batymetriske udvikling af Thyborøn Kanal samt en forlængelse af hofde 59 og 72 vil resultere i en ændret indstrømning under stormflod. I dette afsnit er den modellerede indstrømning gennem Thyborøn Kanal, Oddesund og Aggersund under Storm 1 og Storm 2 beskrevet.

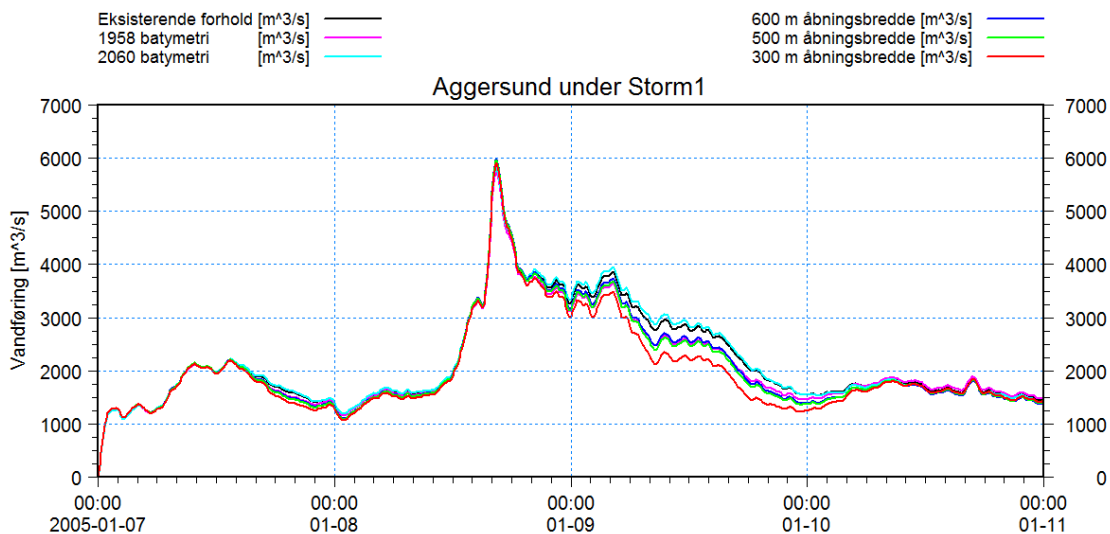
Indstrømningen gennem Thyborøn Kanal under Storm1 ses som forventet at stige i takt med det forøgede tværsnitsareal. Endvidere ses, at en indsnævring af åbningsbredden til 500 m vil reducere indstrømningen til samme niveau som for 1958 batymetrien, mens indsnævringen til 300 m vil reducere indstrømningen yderligere. For at fastholde strømningstværsnittet i indsnævringen vil det være nødvendigt med massiv bundbeskyttelse, der ellers vil blive udsat for indsnævringserosion.



Figur 13-5 Modellerede vandføringer gennem Thyborøn Kanal under Storm 1.



Figur 13-6 Modellerede vandføringer gennem Oddesund under Storm 1.



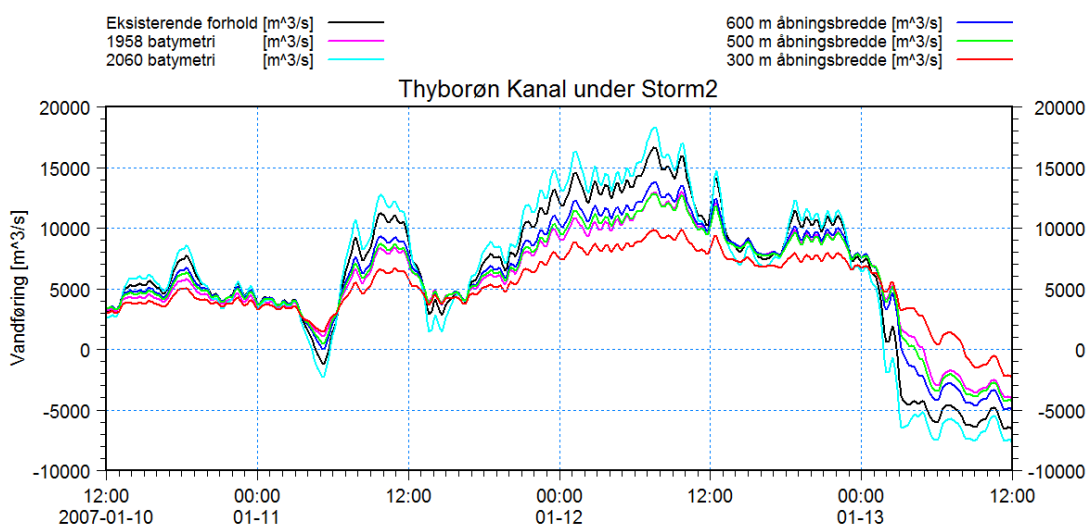
Figur 13-7 Modellerede vandføringer gennem Aggersund under Storm 1.

Storm 1 er karakteriseret ved, at der optræder en meget kraftig vindstuvning i Løgstør Bredning før de fra havet indtrængende vandmasser når frem. Vandføringen er derfor stort set identisk i den første del, mens den i den anden del ses at være forøget i takt med størrelsen på åbningstværsnittet. En oversigt med størrelsen på åbningstværsnittene mellem hofde 59 og 72 er angivet i Tabel 13-1 nedenfor.

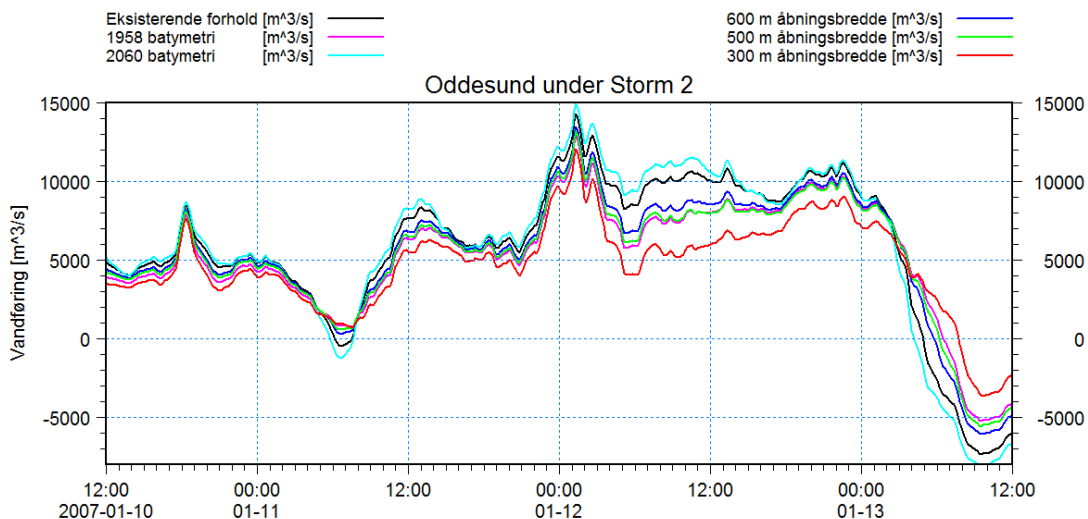
Tabel 13-1 Åbningstværsnittenes størrelse.

Batymetri	Tværsnitsareal [m ²]
1958	9.700
2005	11.577
2060	13.462
2005 med 300 meter åbningsbredde	2.838
2005 med 500 meter åbningsbredde	4.735
2005 med 600 meter åbningsbredde	5.393

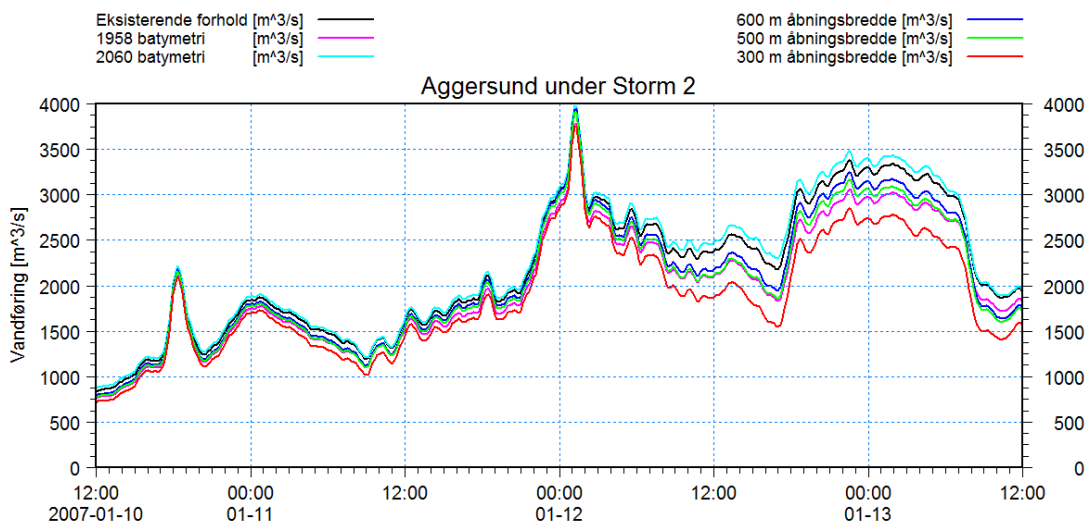
Under Storm 2 forøges vandføringen gennem Thyborøn Kanal, Oddesund og Aggersund i takt med udvidelsen af Thyborøn Kanal. Endvidere ses det helt analogt for Storm 1, at en indsnævring af åbningsbredden til 500 m vil bringe indstrømningen tæt på niveauet for 1958. En forlængelse af hofde 59 og 72 vil derfor være en potentiel option til at dæmpe stormflodsintensiteten i den vestlige del af Limfjorden.



Figur 13-8 Modellerede vandføringer gennem Thyborøn Kanal under Storm 2.



Figur 13-9 Modellerede vandføringer gennem Oddesund under Storm 2.



Figur 13-10 Modellerede vandføringer gennem Aggersund under Storm 2.



14 HØJVANDSSTATISTIK I DEN VESTLIGE DEL AF LIMFJORDEN

Den kalibrerede hydrodynamiske model er anvendt til at etablere batymetrikorrigerede højvandsstatistikker for 20 stationer i den vestlige del af Limfjorden svarende til historiske (1958 batymetri), nutidige (2005 batymetri) og fremtidige forhold (2060 batymetri). De nuværende højvandsstatistikker kan ikke betragtes som værende trendfrie, idet de er baseret på målinger gennem en periode, hvor forholdene i Thyborøn Kanal er ændret mærkbart. Højvandsstatistikkerne er etableret ved at simulere storme repræsenterende 31 højvandshændelser i systemet over en periode på 33 år (idet stormen i 1954 er udeladt i denne del af analysen) og for hver station lade de 20 kraftigste hændelser indgå i ekstremanalysen. Denne metode sikrer et konsistent sammenligningsgrundlag alle 20 stationer imellem i både tid og sted.

I fire af stationerne: Thyborøn Havn, Lemvig, Løgstør og Skive eksisterer der officielle højvandsstatistikker. Disse er forsøgt opdateret og batymetrikorrigeret ved hjælp af den hydrodynamiske model, idet det ved gennemregning af stormflodshændelserne på 1958, 2005 og 2060 batymetrien bliver muligt at beregne en vandstandskorrektion for hver enkelt historisk hændelse, således at den afspejler den forventede virkning i dag (2005) og i fremtiden (2060). Fordelen ved denne metode er, at fejlen på en vandstandskorrektion vil være væsentlig mindre end brug af simulerede vandstande, idet denne er baseret på ændringer i vandstand og derfor vil eliminere effekten af en systematisk fejl. De modellerede vandstande er baseret på noget absolut, som i værste fald i de enkelte stationer må kunne forventes at have en fejl på op til 20 cm, men som vil udlignes, når relative ændringer til målte vandstande anvendes i stedet. Nøjagtigheden og kvaliteten af modelleringen afhænger i høj grad af det foreliggende datagrundlag, som er til rådighed for hver enkelt storm til specifikation af randbetingelser og drivende kræfter. Generelt kan man sige, at modelleringen af ældre storme bygger på et ringere datagrundlag end de nyere storme og derfor må forventes at være mere fejlbehæftede.

En række af de mindre kraftige stormflodshændelser som ligger til grund i Kystdirektoratets officielle højvandsstatistik er ikke modelleret. Disse er i stedet korrigeret på baggrund af en trend etableret ud fra de simulerede storme. Endelig er nogle af de ældste hændelser fjernet, idet de udførte simuleringer ikke giver mulighed for en korrektion af disse.

14.1 *Modellerede storme*

Der er simuleret 31 højvandshændelser på den historiske 1958 batymetri, den nutidige 2005 batymetri og skønnede fremtidige 2060 batymetri. Stormene er udvalgt således, at man så vidt muligt får de 10 kraftigste registrerede hændelser fra de fire stationers højvandsstatistik med. Endvidere er der suppleret med en række nyere hændelser, som ligger i forlængelse af dataperioden for Kystdirektoratets officielle højvandsstatistik. Tabel 14-1 indeholder en oversigt over simuleringstidspunkterne for de 31 højvandshændelser. En indikation om, hvorvidt hændelsen indgår i datagrundlaget for den officielle højvandsstatistik, er også indikeret. Det bemærkes, at dataperioden for Skive er relativt kort, og at stationen derfor indeholder en række hændelser, som enten er rangeret meget lavt eller for svage til at indgå i de øvrige stationers højvandsstatistik.



Tabel 14-1 Oversigt over modellerede højvandshændelser.

Storm	Periode	Thyborøn Havn	Lemvig	Løgstør	Skive
1	7/1/2005 – 11/1/2005	X	X	X	X
2	11/1/2005 – 15/1/2005		X	X	
3	23/11/1981 – 27/11/1981	X	X	X	
4	19/1/1976 – 23/1/1976	X	X	X	
5	26/2/1990 – 2/3/1990	X		X	
6	28/1/2000 – 1/2/2000		X	X	X
7	5/11/1985 – 9/11/1985	X	X	X	
8	18/11/1982 – 22/11/1982	X	X	X	
9	5/11/1996 – 9/11/1996	X		X	X
10	19/12/1991 – 23/12/1991	X		X	
11	25/10/1998 – 31/10/1998	X ²	X ³	X ³	X ³
12	31/12/1983 – 5/1/1984	X		X	
13	12/1/1984 – 16/1/1984	X		X	
14	30/12/1980 – 3/1/1981		X	X	
15	27/1/2002 – 31/1/2002		X	X	X
16	10/1/1993 – 14/1/1993	X		X	
17	16/1/1983 – 20/1/1983	X	X		
18	1/12/1999 – 5/12/1999		X	X	X ³
19	21/2/2002 – 25/2/2002		X		X
20	12/11/1977 – 15/11/1977	X	X		
21	25/1/1990 – 29/1/1990	X		X	
22	12/12/2000 – 16/12/2000			X	X
23a	21/1/1993 – 24/1/1993	X		X	
23b	24/1/1993 – 27/1/1993	X		X	
24	3/2/1999 – 7/2/1999		X		X
25	10/1/2007 – 14/1/2007	X		X	X
26	30/10/2001 – 2/11/2001				X
27	14/1/1954 – 18/1/1954	X		X	
28	17/3/2007 – 21/3/2007	XX	XX	XX	XX
29	28/2/2008 – 3/3/2008	XX	XX	XX	XX
30	30/1/2008 – 3/2/2008		XX	XX	XX

² Indeholder 2 hændelser

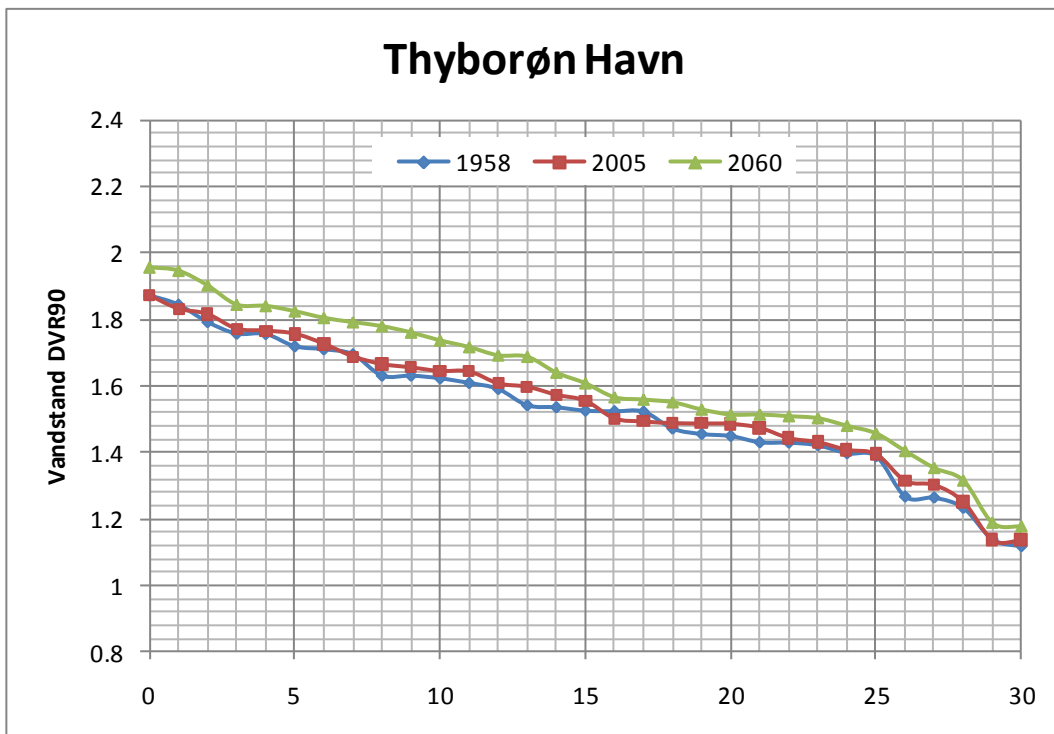
Vandspejlsændringer er inkluderet i beregningerne ved at reducere dybderne med 5 cm i 1958 batymetrien og forøge dybderne med 24 cm i 2060 batymetrien i forhold til 2005 batymetrien. Da formålet med denne undersøgelse er at belyse effekten af de morfologiske ændringer ved Thyborøn, er disse vandstandsvariationer trukket ud af resultaterne for 1958 og 2060. For at få de egentlige frem og tilbageskrivninger skal der således adderes 24 cm (for 2060) eller fratrækkes 5 cm (for 1958) fra resultaterne i det følgende.

14.2 Modellerede vandstande

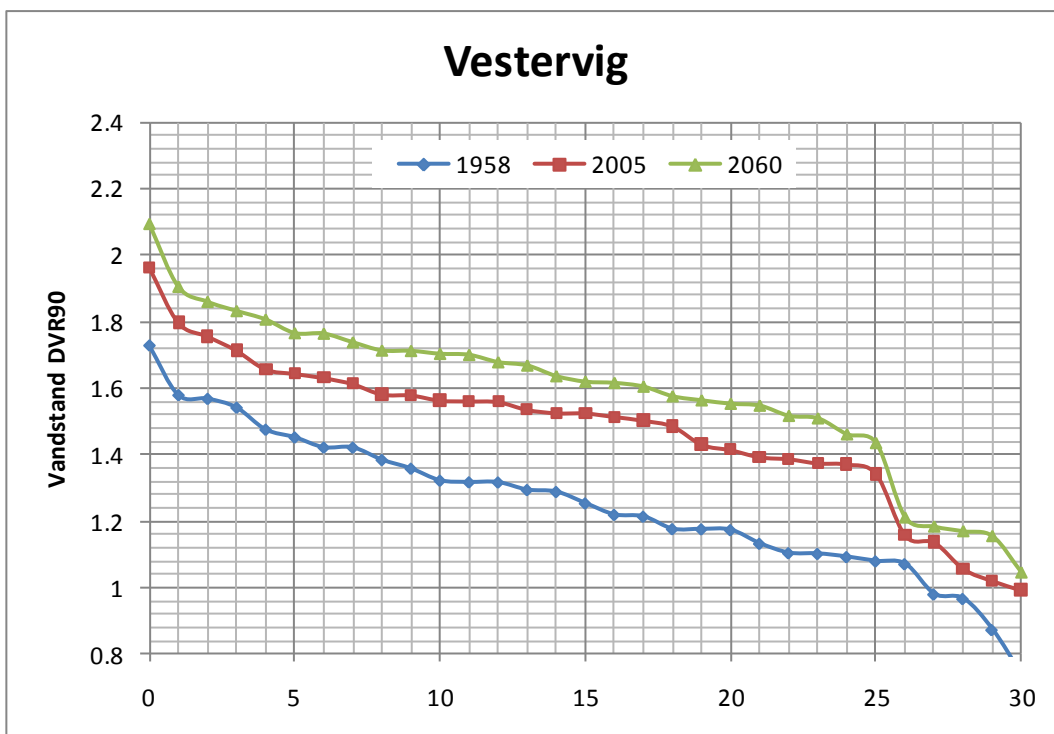
Maksimalvandstanden hørende til hver af de 30 stormhændelser er udtrukket i 20 stationer vist i Figur 14-1. Ved Oddesund optræder der relativt kraftige vandspejlsgradienter under stormflod. Denne station er derfor inddelt i Oddesund Vest og Oddesund Øst for bedre at kunne reflektere forholdene. De udtrukne maksimal vandstande er herefter rangeret og plottet for 1958, 2005 og 2060 forholdene. Resultatet af denne analyse er vist i Figur 14-2 til og med Figur 14-21. Heraf ses, at der har været en signifikant stigning i stormflodsniveauerne fra 1958 til 2005 som følge af udvidelse af Thyborøn Kanal, mens den fremtidige udvikling frem til 2060 vil slå mindre dramatisk igennem på stormflodsniveauerne i Limfjordssystemet.



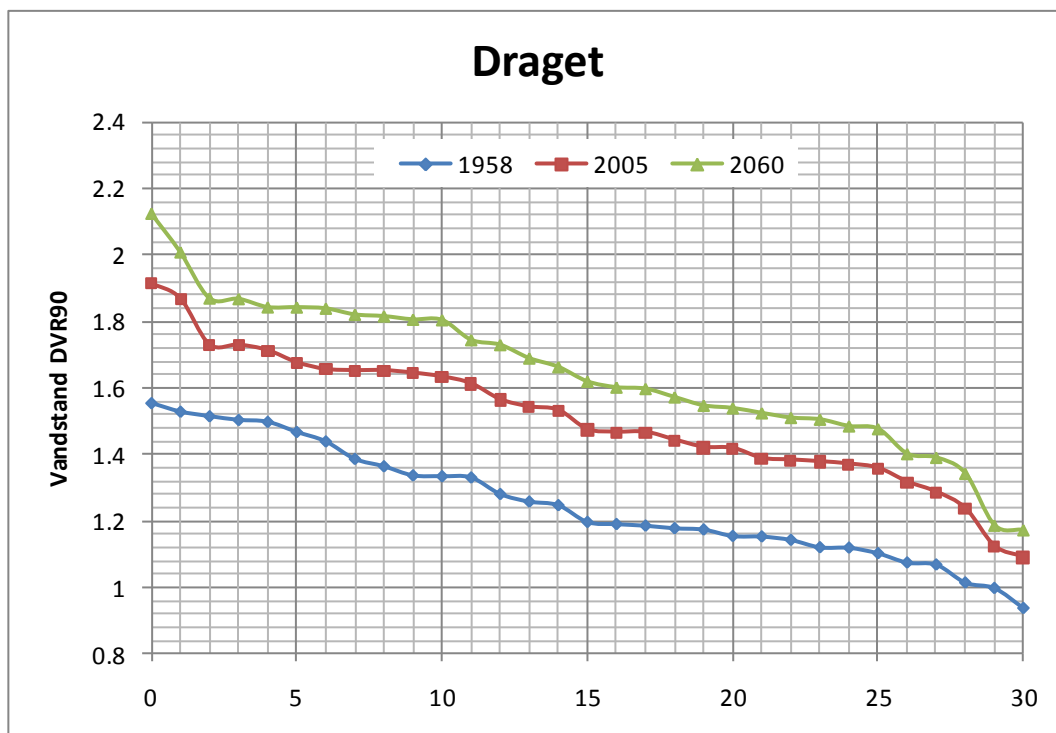
Figur 14-1 Oversigtskort over stationer hvor der er udarbejdet en højvandsstatistik. Blå prikker indikerer stationer, hvor højvandsstatistik er udarbejdet på baggrund af modellerede vandstande. Røde prikker indikerer stationer, hvor der er udarbejdet en højvandsstatistik på baggrund af korrigerede målte vandstande.



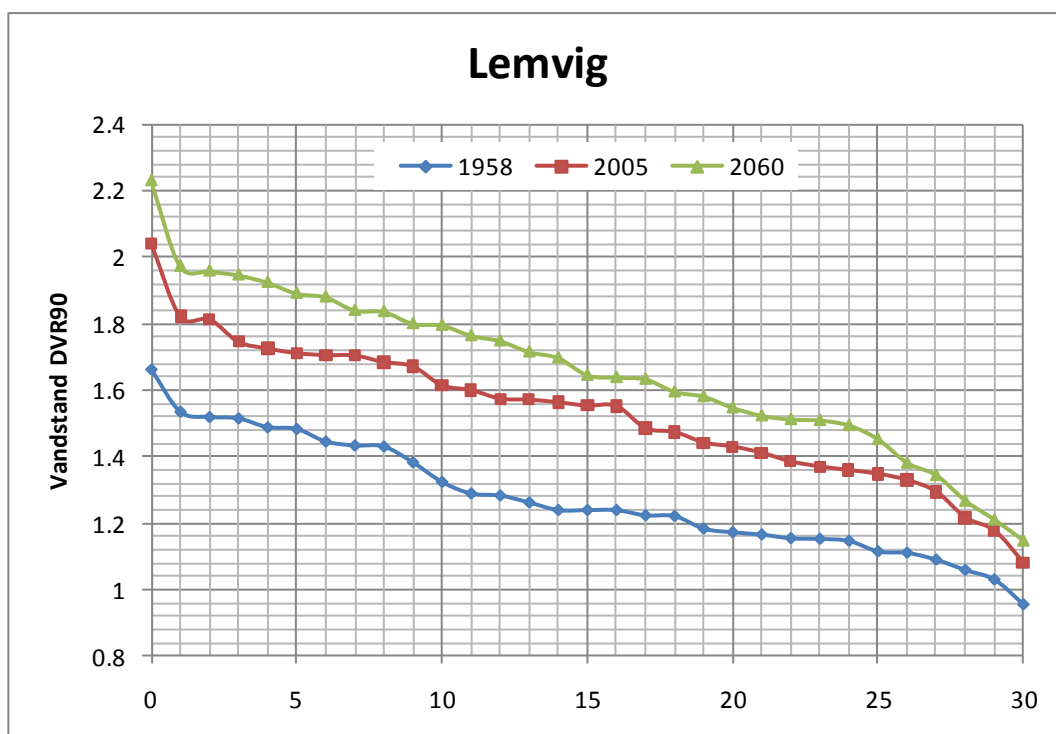
Figur 14-2 Trendfri rangerede modellerede vandstande i Thyborøn Havn med batymetrier svarende til forholdene i 1958, 2005 og 2060.



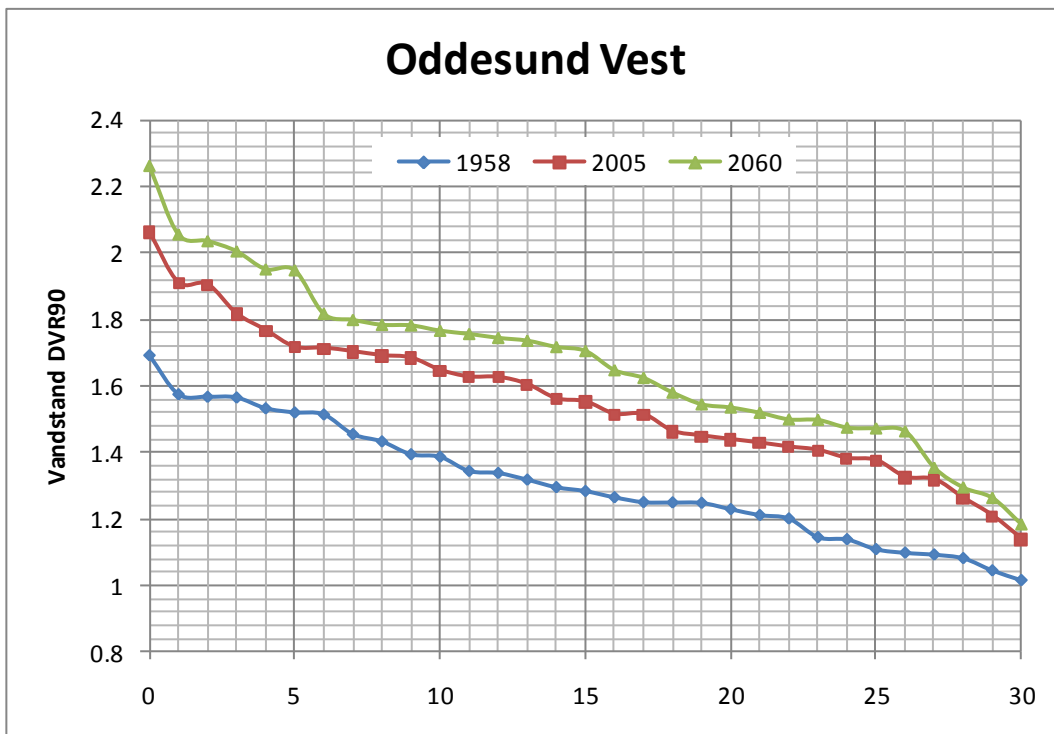
Figur 14-3 Trendfri rangerede modellerede vandstande ved Vestervig med batymetrier svarende til forholdene i 1958, 2005 og 2060.



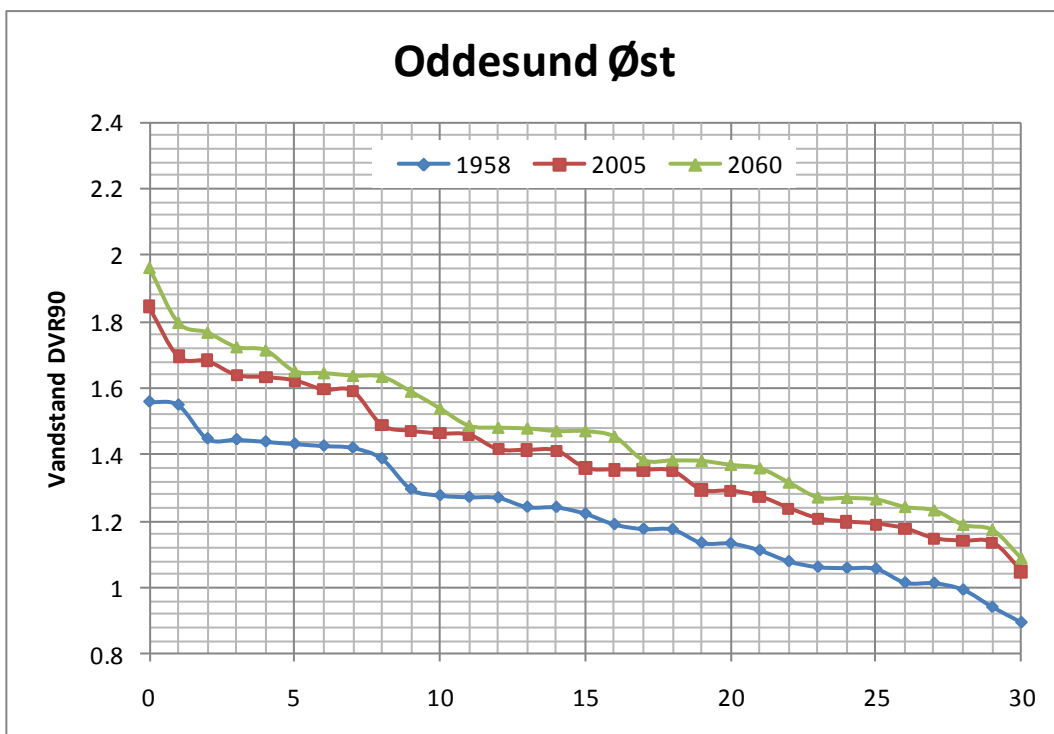
Figur 14-4 Trendfri rangerede modellerede vandstande ved Draget med batymetrier svarende til forholdene i 1958, 2005 og 2060.



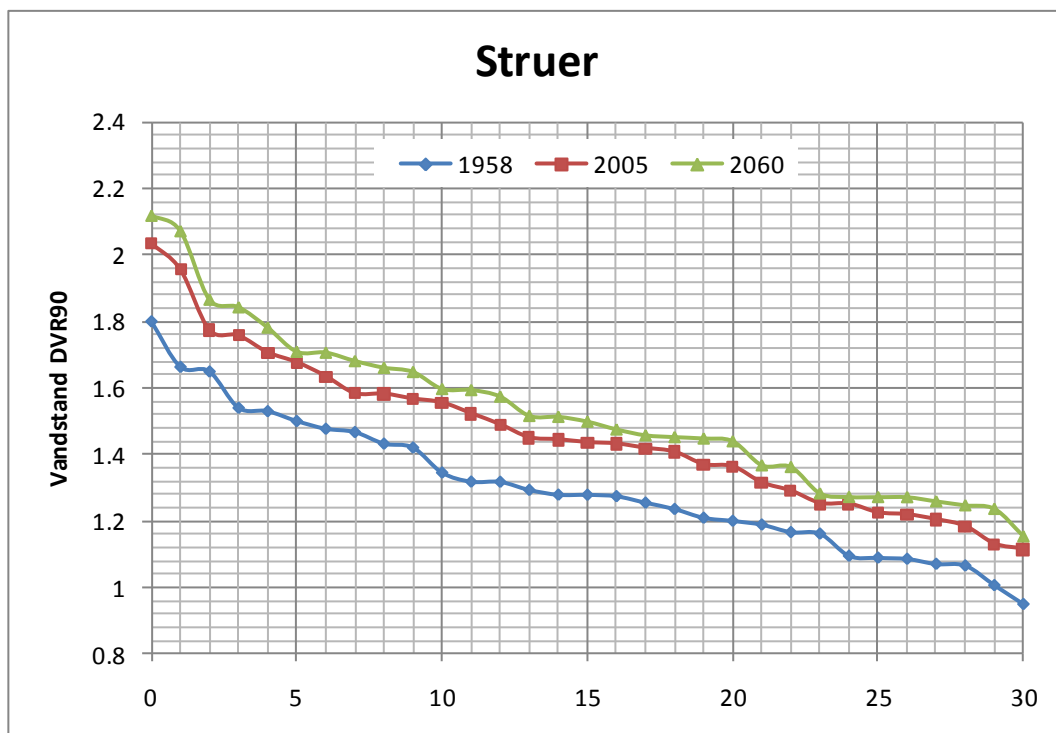
Figur 14-5 Trendfri rangerede modellerede vandstande ved Lemvig med batymetrier svarende til forholdene i 1958, 2005 og 2060.



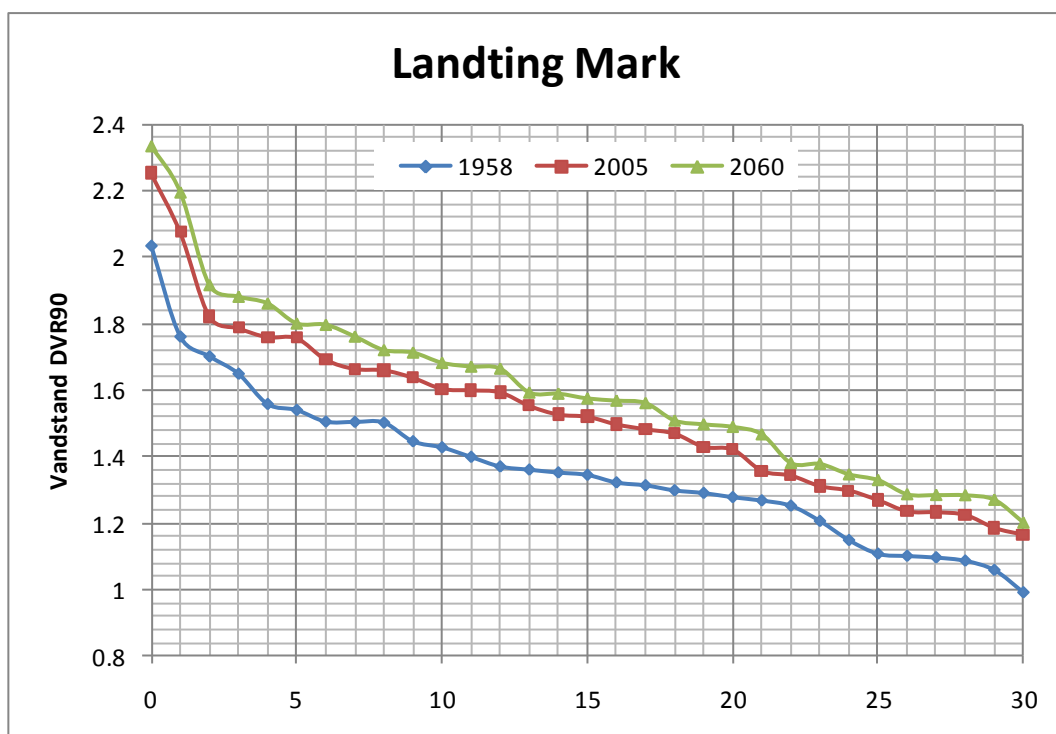
Figur 14-6 Trendfri rangerede modellerede vandstande vest for Oddesund med batymetrier svarende til forholdene i 1958, 2005 og 2060.



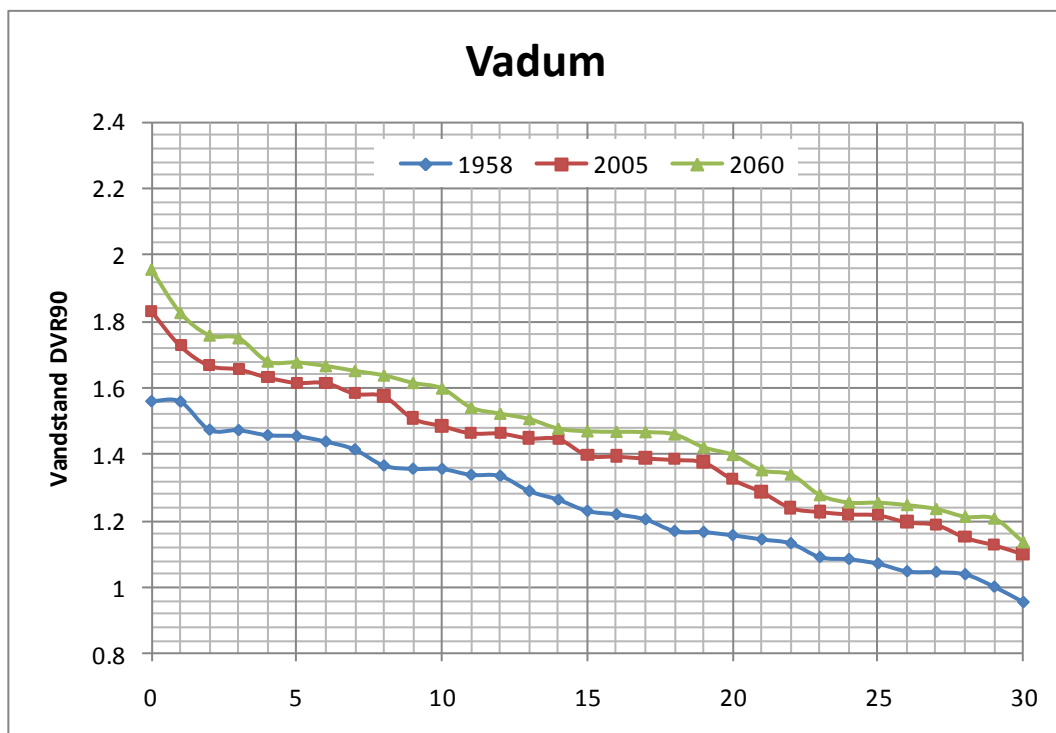
Figur 14-7 Trendfri rangerede modellerede vandstande øst for Oddesund med batymetrier svarende til forholdene i 1958, 2005 og 2060.



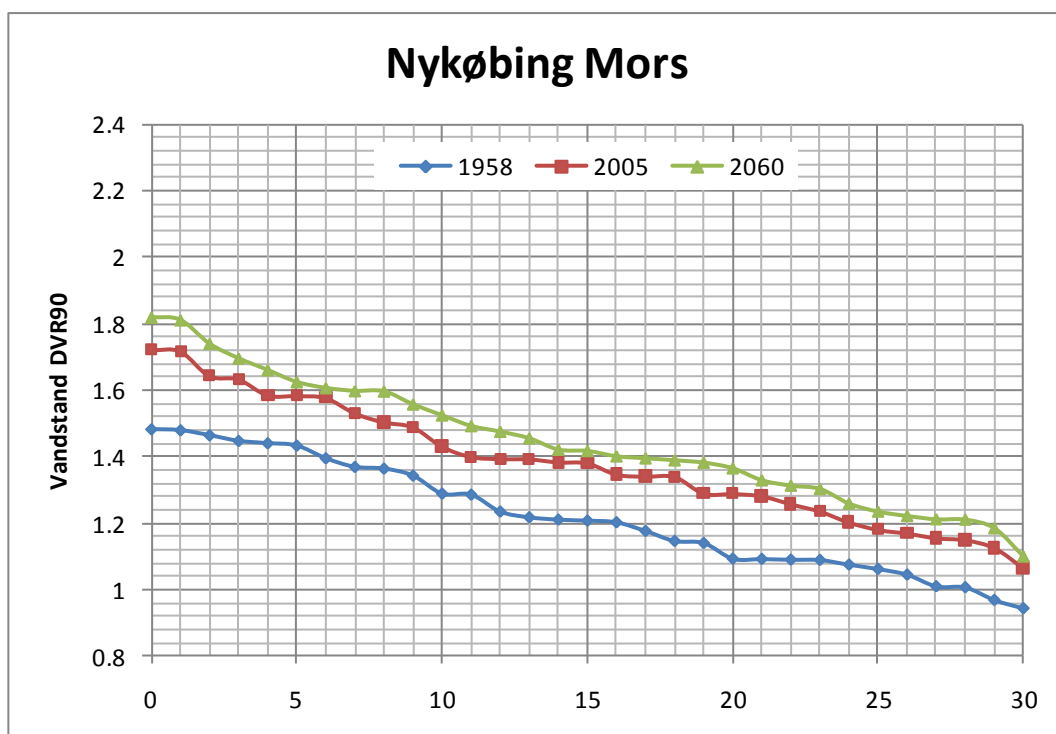
Figur 14-8 Trendfri rangerede modellerede vandstande ved Struer med batymetrier svarende til forholdene i 1958, 2005 og 2060.



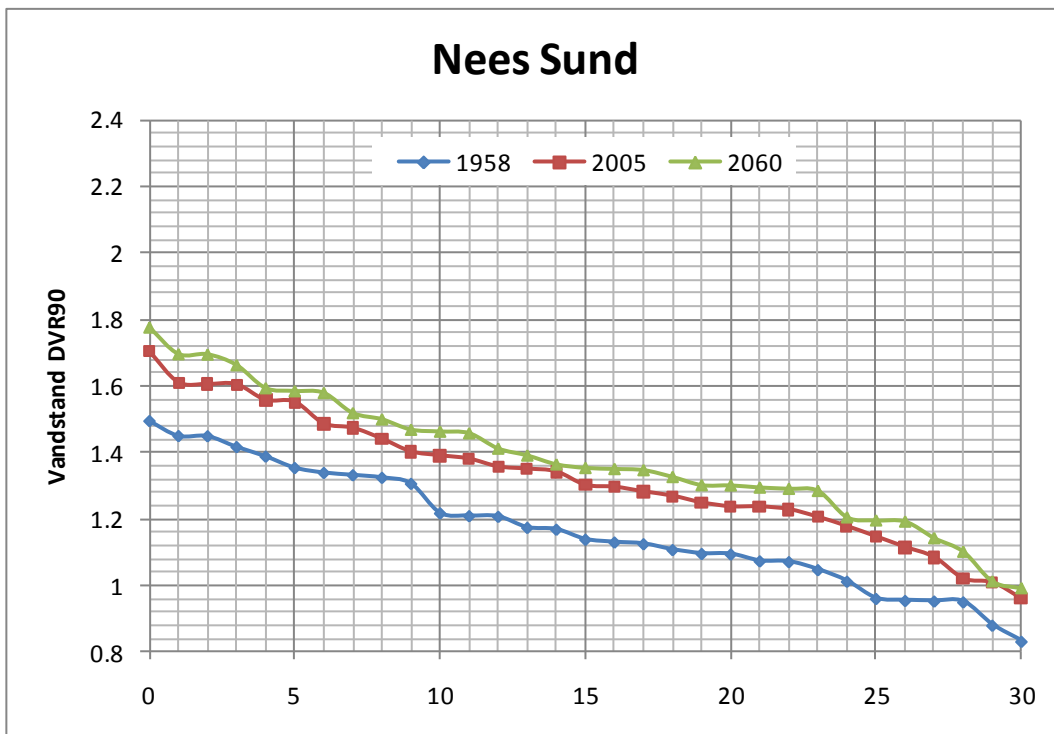
Figur 14-9 Trendfri rangerede modellerede vandstande ved Landting Mark med batymetrier svarende til forholdene i 1958, 2005 og 2060.



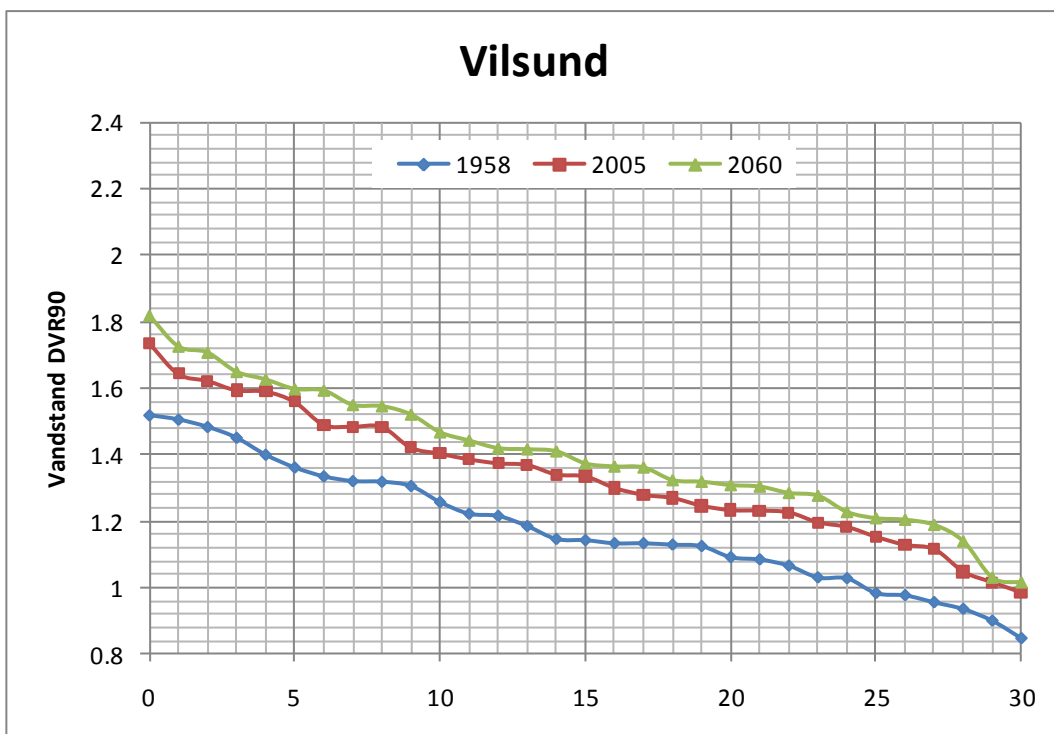
Figur 14-10 Trendfri rangerede modellerede vandstande ved Vadum med batymetrier svarende til forholdene i 1958, 2005 og 2060.



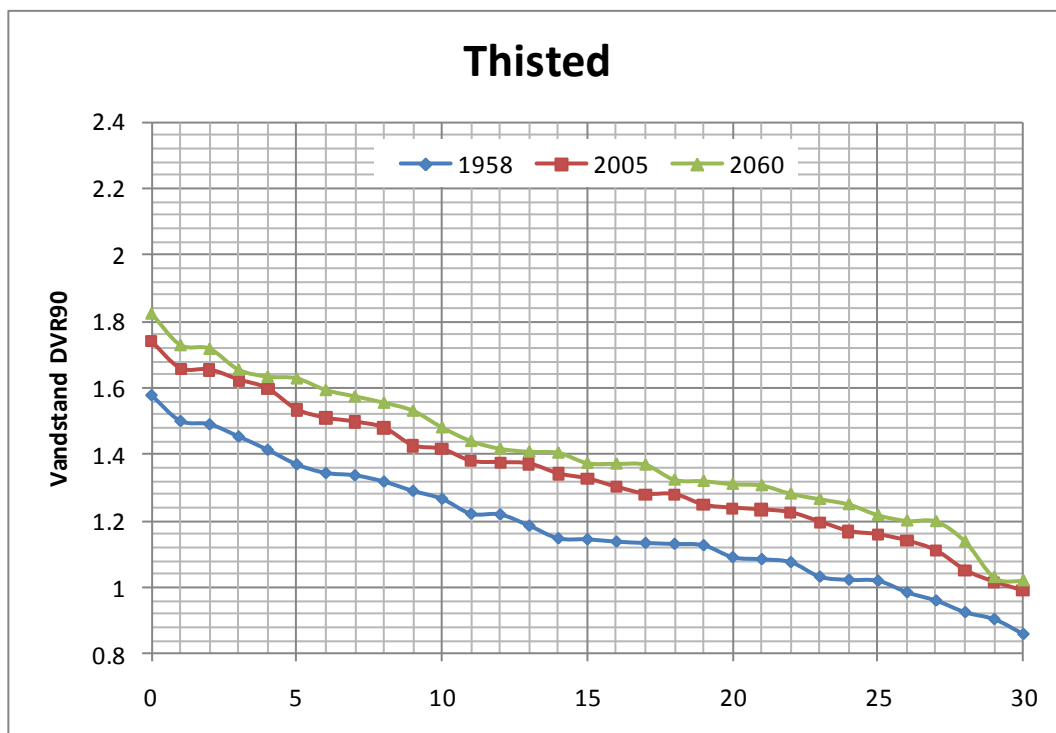
Figur 14-11 Trendfri rangerede modellerede vandstande ved Nykøbing Mors med batymetrier svarende til forholdene i 1958, 2005 og 2060.



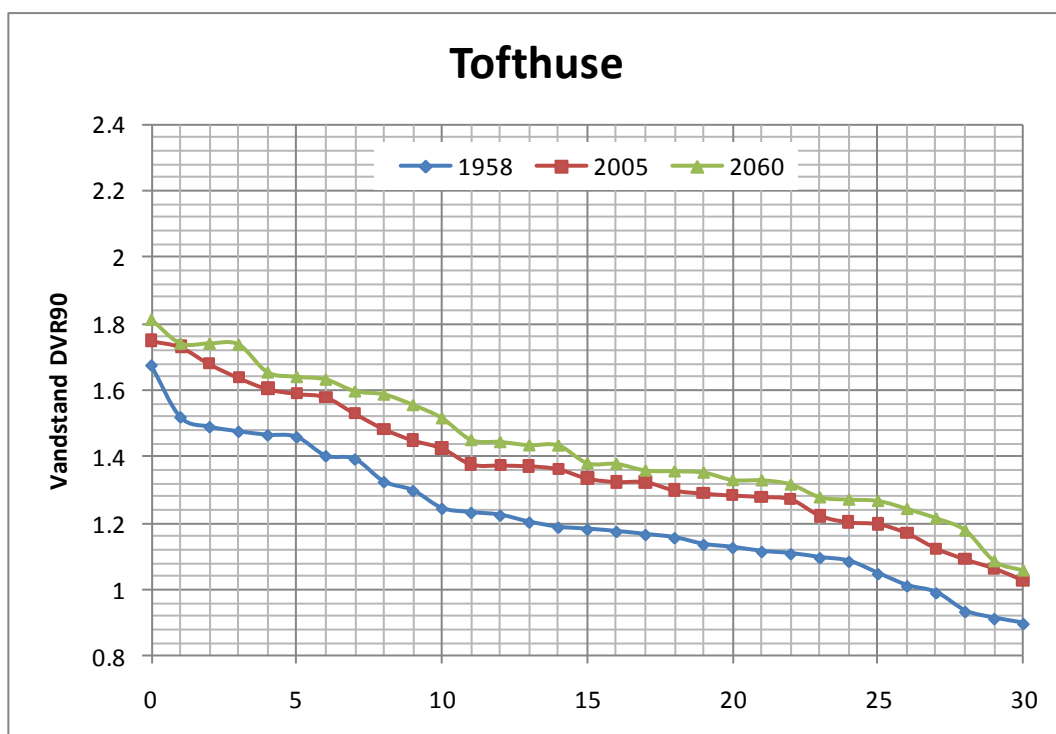
Figur 14-12 Trend fri rangerede modellerede vandstande ved Nees Sund med batymetrier svarende til forholdene i 1958, 2005 og 2060.



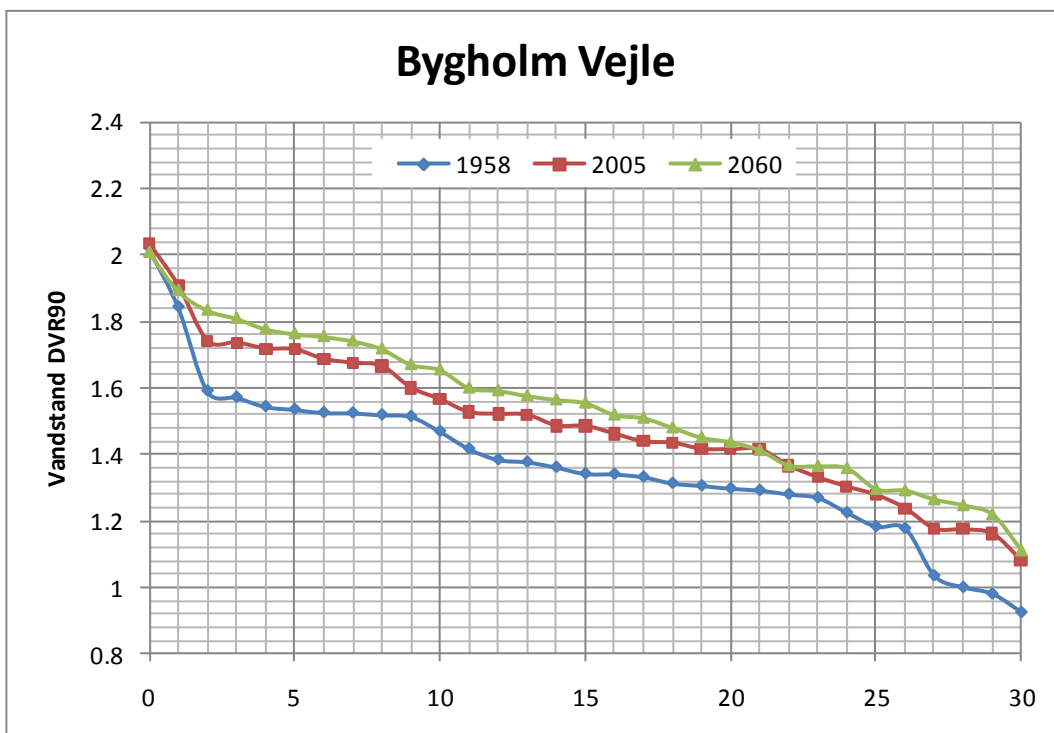
Figur 14-13 Trendfri rangerede modellerede vandstande ved Vilsund med batymetrier svarende til forholdene i 1958, 2005 og 2060.



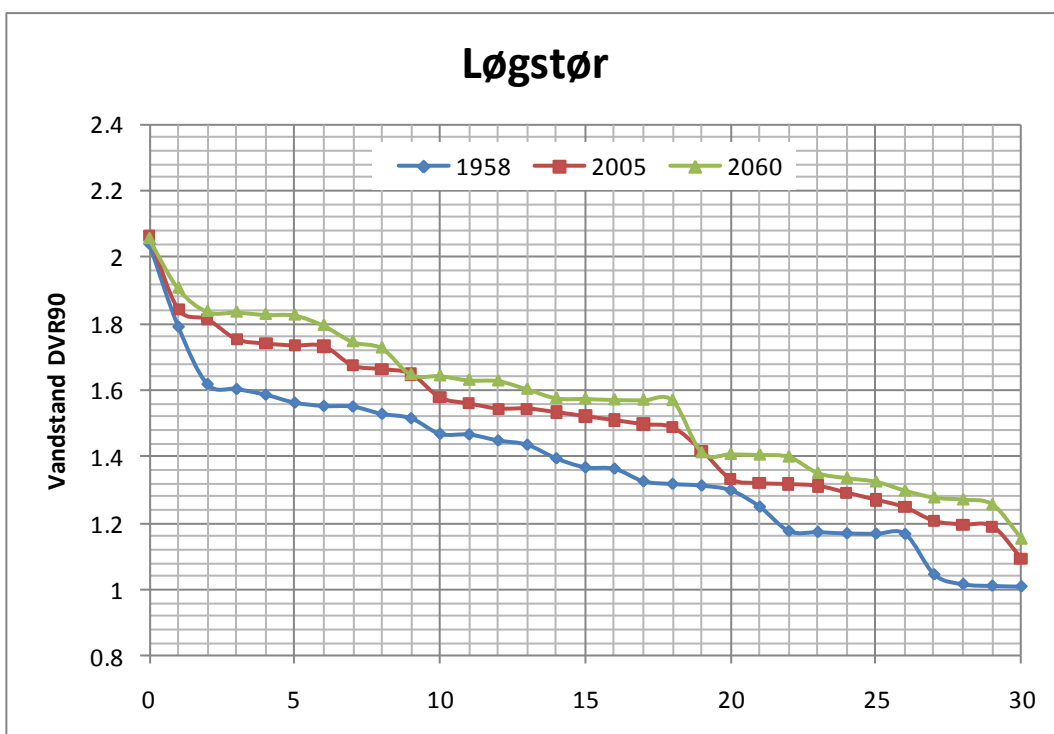
Figur 14-14 Trendfri rangerede modellerede vandstande ved Thisted med batymetrier svarende til forholdene i 1958, 2005 og 2060.



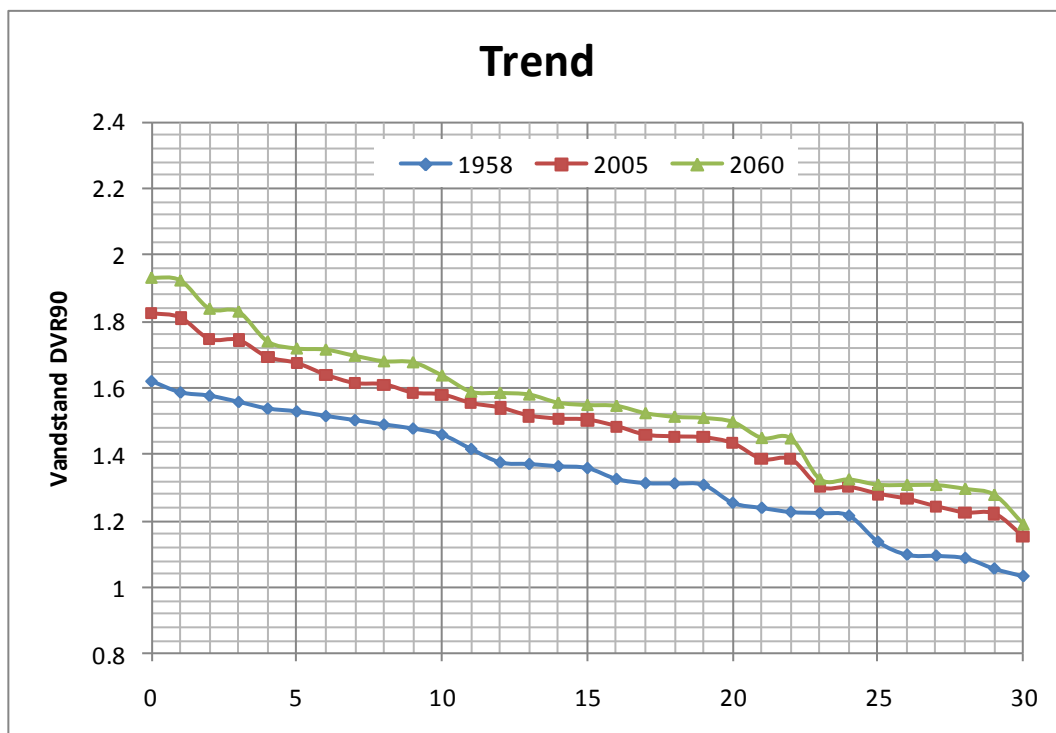
Figur 14-15 Trendfri rangerede modellerede vandstande ved Tofthuse med batymetrier svarende til forholdene i 1958, 2005 og 2060.



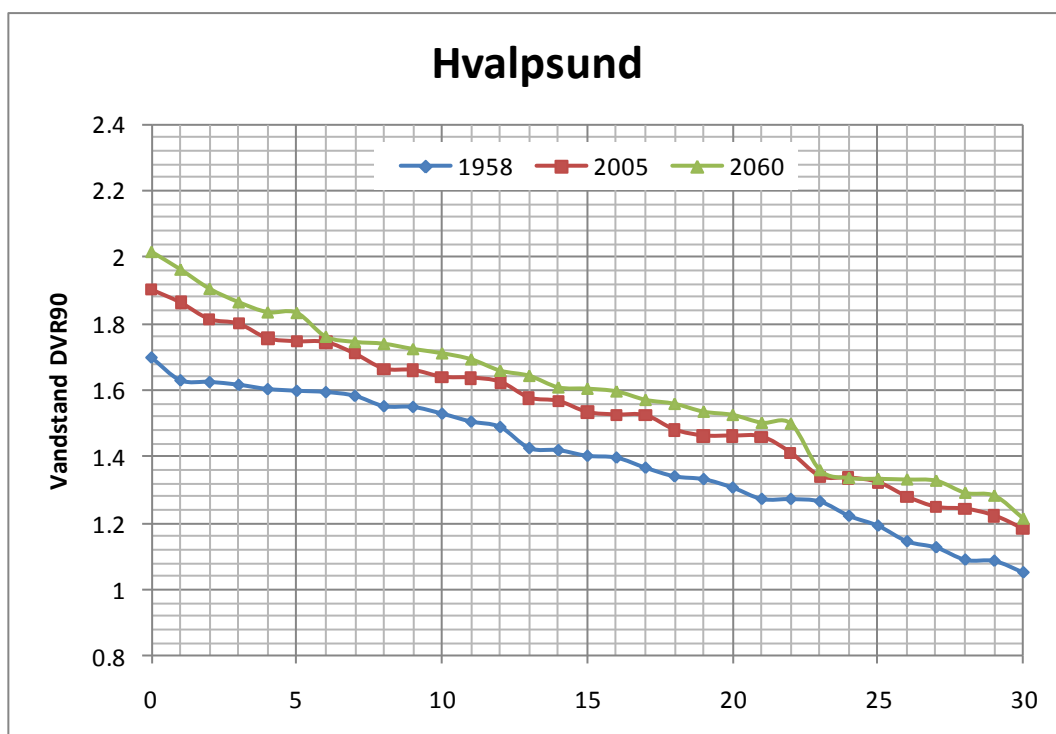
Figur 14-16 Trendfri rangerede modellerede vandstande ved Bygholm Vejle med batymetrier svarende til forholdene i 1958, 2005 og 2060.



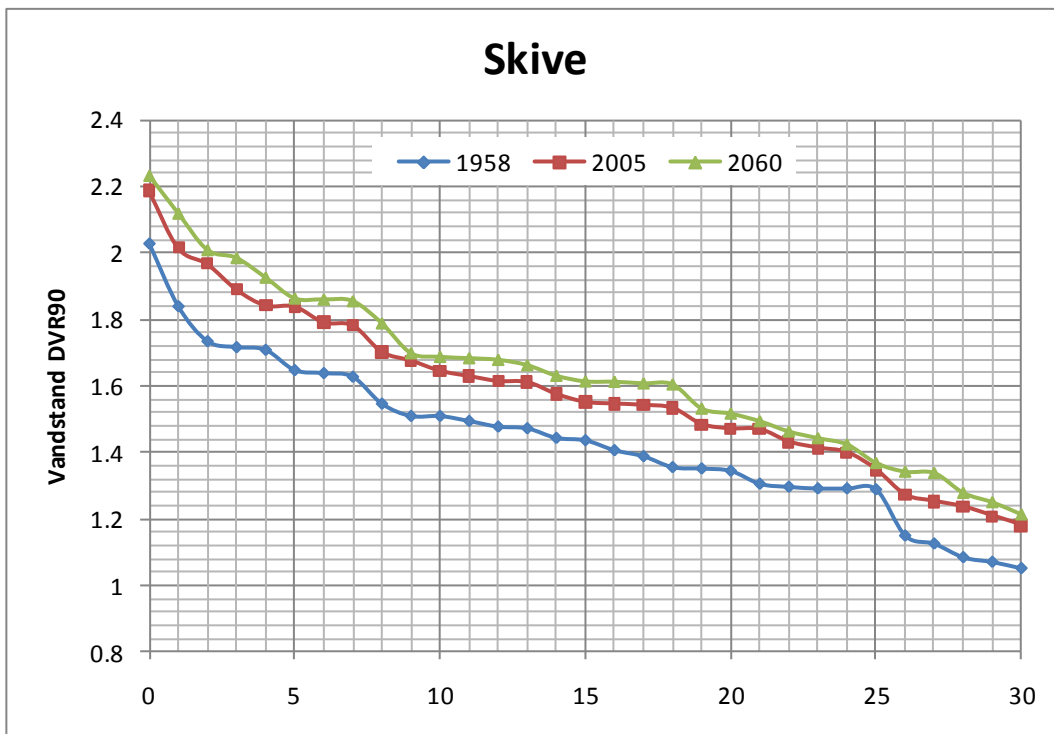
Figur 14-17 Trendfri rangerede modellerede vandstande ved Løgstør med batymetrier svarende til forholdene i 1958, 2005 og 2060.



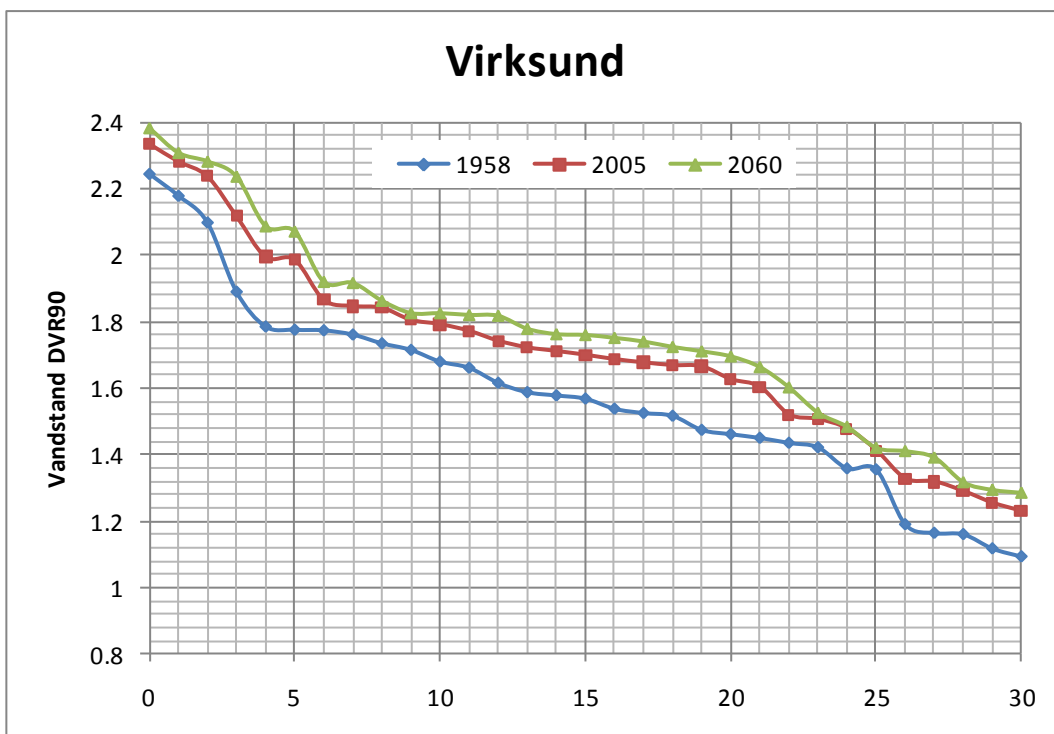
Figur 14-18 Trendfri rangerede modellerede vandstande ved Trend med batymetrier svarende til forholdene i 1958, 2005 og 2060.



Figur 14-19 Trendfri rangerede modellerede vandstande ved Hvalpsund med batymetrier svarende til forholdene i 1958, 2005 og 2060.



Figur 14-20 Trendfri rangerede modellerede vandstande ved Skive med batymetrier svarende til forholdene i 1958, 2005 og 2060.



Figur 14-21 Trendfri rangerede modellerede vandstande ved Virksund med batymetrier svarende til forholdene i 1958, 2005 og 2060.



Stormflodsforløbet udført med 2005 og 2060 forhold er plottet for samtlige 30 storme og 20 stationer i et separat Appendiks.

14.3 Højvandsstatistik baseret på modellerede vandstande

På baggrund af de modellerede højvandshændelser er der udarbejdet højvandsstatistikker for de 20 stationer vist i Figur 14-1. Dataperioden som ligger til grund for højvandsstatistikken er i denne analyse sat til 33 år, idet 1954 stormen ikke er medtaget. I analysen er der anvendt antagelse om, at de 20 højeste maksimal vandstande kan beskrives ved hjælp af en logaritmisk normalfordelingsfunktion. De herved fundne statistiske middeltidsvandstande er angivet for de enkelte stationer i tabellerne nedenfor. Alle værdier er angivet i centimeter. Endvidere er de statistiske parametre angivet.

Tabel 14-2 Modelberegnete statistiske middeltidsvandstande angivet i DVR90 for Thyborøn Havn.

Thyborøn Havn	20 år	50 år	100 år
1958 batymetri	181	189	195
2005 batymetri	182	190	195
2060 batymetri	192	200	205

Som ankomstfordeling er der i alle tilfælde anvendt en Poissonproces med intensitet $\lambda = 0,606$ hændelser pr. år. Som højdefordeling for Thyborøn Havn er der benyttet en trunkeret Log-Normal fordeling med afskæringsniveau $\gamma = 144$ cm, parameter $\alpha = 5,055$ og parameter $\beta = 0,097$ for år 1958, afskæringsniveau $\gamma = 148$ cm, parameter $\alpha = 5,049$ og parameter $\beta = 0,099$ for år 2005 og afskæringsniveau $\gamma = 151$ cm, parameter $\alpha = 5,121$ og parameter $\beta = 0,093$ for år 2060.

Tabel 14-3 Modelberegnete statistiske middeltidsvandstande angivet i DVR90 for Vestervig.

Vestervig	20 år	50 år	100 år
1958 batymetri	161	171	179
2005 batymetri	178	185	190
2060 batymetri	190	205	211

Som højdefordeling for Vestervig er der benyttet en trunkeret Log-Normal fordeling med afskæringsniveau $\gamma = 116$ cm, parameter $\alpha = 4,825$ og parameter $\beta = 0,158$ for år 1958, afskæringsniveau $\gamma = 141$ cm, parameter $\alpha = 5,040$ og parameter $\beta = 0,095$ for år 2005 og afskæringsniveau $\gamma = 155$ cm, parameter $\alpha = 5,086$ og parameter $\beta = 0,103$ for år 2060.

Tabel 14-4 Modelberegnete statistiske middeltidsvandstande angivet i DVR90 for Draget.

Draget	20 år	50 år	100 år
1958 batymetri	153	162	168
2005 batymetri	179	187	192
2060 batymetri	196	205	211

Som højdefordeling for Draget er der benyttet en trunkeeret Log-Normal fordeling med afskæringsniveau $\gamma = 114$ cm, parameter $\alpha = 4,831$ og parameter $\beta = 0,131$ for år 1958, afskæringsniveau $\gamma = 141$ cm, parameter $\alpha = 5,038$ og parameter $\beta = 0,099$ for år 2005 og afskæringsniveau $\gamma = 153$ cm, parameter $\alpha = 5,130$ og parameter $\beta = 0,101$ for år 2060.

Tabel 14-5 Modelberegnete statistiske middeltidsvandstande angivet i DVR90 for Lemvig.

Lemvig	20 år	50 år	100 år
1958 batymetri	157	166	173
2005 batymetri	184	193	199
2060 batymetri	203	213	219

Som højdefordeling for Lemvig er der benyttet en trunkeeret Log-Normal fordeling med afskæringsniveau $\gamma = 116$ cm, parameter $\alpha = 4,842$ og parameter $\beta = 0,138$ for år 1958, afskæringsniveau $\gamma = 142$ cm, parameter $\alpha = 5,063$ og parameter $\beta = 0,104$ for år 2005 og afskæringsniveau $\gamma = 154$ cm, parameter $\alpha = 5,151$ og parameter $\beta = 0,109$ for år 2060.

Tabel 14-6 Modelberegnete statistiske middeltidsvandstande angivet i DVR90 for Oddesund Vest.

Oddesund Vest	20 år	50 år	100 år
1958 batymetri	160	169	176
2005 batymetri	189	198	205
2060 batymetri	206	217	224

Som højdefordeling for Oddesund Vest er der benyttet en trunkeeret Log-Normal fordeling med afskæringsniveau $\gamma = 122$ cm, parameter $\alpha = 4,852$ og parameter $\beta = 0,138$ for år 1958, afskæringsniveau $\gamma = 143$ cm, parameter $\alpha = 5,063$ og parameter $\beta = 0,118$ for år 2005 og afskæringsniveau $\gamma = 153$ cm, parameter $\alpha = 5,144$ og parameter $\beta = 0,122$ for år 2060.



Tabel 14-7 Modelberegnete statistiske middeltidsvandstande angivet i DVR90 for Oddesund Øst.

Oddesund Øst	20 år	50 år	100 år
1958 batymetri	152	160	176
2005 batymetri	171	181	188
2060 batymetri	180	191	199

Som højdefordeling for Odde-sund Øst er der benyttet en trun-keret Log-Normal forde-ling med afskæringsniveau $\gamma = 112$ cm, parameter $\alpha = 4,830$ og parameter $\beta = 0,127$ for år 1958, afskæringsniveau $\gamma = 129$ cm, parameter $\alpha = 4,947$ og parameter $\beta = 0,129$ for år 2005 og afskæringsniveau $\gamma = 136$ cm, parameter $\alpha = 4,964$ og parameter $\beta = 0,142$ for år 2060.

Tabel 14-8 Modelberegnete statistiske middeltidsvandstande angivet i DVR90 for Struer.

Struer	20 år	50 år	100 år
1958 batymetri	165	178	186
2005 batymetri	185	199	209
2060 batymetri	194	211	223

Som højdefordeling for Struer er der benyttet en trun-keret Log-Normal forde-ling med afskæringsniveau $\gamma = 119$ cm, parameter $\alpha = 4,819$ og parameter $\beta = 0,175$ for år 1958, afskæringsniveau $\gamma = 136$ cm, parameter $\alpha = 4,894$ og parameter $\beta = 0,185$ for år 2005 og afskæringsniveau $\gamma = 144$ cm, parameter $\alpha = 4,752$ og parameter $\beta = 0,239$ for år 2060.

Tabel 14-9 Modelberegnete statistiske middeltidsvandstande angivet i DVR90 for Landting Mark.

Landting Mark	20 år	50 år	100 år
1958 batymetri	176	192	204
2005 batymetri	196	211	222
2060 batymetri	205	222	235

Som højdefordeling for Landting Mark er der benyttet en trun-keret Log-Normal forde-ling med afskæringsniveau $\gamma = 127$ cm, parameter $\alpha = 4,608$ og parameter $\beta = 0,258$ for år 1958, afskæringsniveau $\gamma = 142$ cm, parameter $\alpha = 4,932$ og parameter $\beta = 0,138$ for år 2005 og afskæringsniveau $\gamma = 148$ cm, parameter $\alpha = 4,915$ og parameter $\beta = 0,215$ for år 2060.



Tabel 14-10 Modelberegnete statistiske middeltidsvandstande angivet i DVR90 for Vadum.

Vadum	20 år	50 år	100 år
1958 batymetri	153	161	166
2005 batymetri	170	178	183
2060 batymetri	179	188	194

Som højdefordeling for Vadum er der benyttet en trunkeket Log-Normal fordeling med afskæringsniveau $\gamma = 115$ cm, parameter $\alpha = 4,864$ og parameter $\beta = 0,114$ for år 1958, afskæringsniveau $\gamma = 132$ cm, parameter $\alpha = 4,992$ og parameter $\beta = 0,100$ for år 2005 og afskæringsniveau $\gamma = 139$ cm, parameter $\alpha = 5,023$ og parameter $\beta = 0,109$ for år 2060.

Tabel 14-11 Modelberegnete statistiske middeltidsvandstande angivet i DVR90 for Nykøbing Mors.

Nykøbing Mors	20 år	50 år	100 år
1958 batymetri	148	154	159
2005 batymetri	165	173	179
2060 batymetri	173	182	189

Som højdefordeling for Nykøbing Mors er der benyttet en trunkeket Log-Normal fordeling med afskæringsniveau $\gamma = 109$ cm, parameter $\alpha = 4,848$ og parameter $\beta = 0,103$ for år 1958, afskæringsniveau $\gamma = 128$ cm, parameter $\alpha = 4,944$ og parameter $\beta = 0,109$ for år 2005 og afskæringsniveau $\gamma = 136$ cm, parameter $\alpha = 4,960$ og parameter $\beta = 0,122$ for år 2060.

Tabel 14-12 Modelberegnete statistiske middeltidsvandstande angivet i DVR90 for Nees Sund.

Nees Sund	20 år	50 år	100 år
1958 batymetri	144	153	158
2005 batymetri	160	168	173
2060 batymetri	167	175	181

Som højdefordeling for Nees Sund er der benyttet en trunkeket Log-Normal fordeling med afskæringsniveau $\gamma = 109$ cm, parameter $\alpha = 4,757$ og parameter $\beta = 0,136$ for år 1958, afskæringsniveau $\gamma = 123$ cm, parameter $\alpha = 4,906$ og parameter $\beta = 0,112$ for år 2005 og afskæringsniveau $\gamma = 130$ cm, parameter $\alpha = 4,923$ og parameter $\beta = 0,121$ for år 2060.

Tabel 14-13 Modelberegnete statistiske middeltidsvandstande angivet i DVR90 for Vildsund.

Vilsund	20 år	50 år	100 år
1958 batymetri	146	155	161
2005 batymetri	162	170	175
2060 batymetri	168	177	183

Som højdefordeling for Vildsund er der benyttet en trunkeket Log-Normal fordeling med afskæringsniveau $\gamma = 109$ cm, parameter $\alpha = 4,778$ og parameter $\beta = 0,135$ for år 1958, afskæringsniveau $\gamma = 123$ cm, parameter $\alpha = 4,922$ og parameter $\beta = 0,111$ for år 2005 og afskæringsniveau $\gamma = 130$ cm, parameter $\alpha = 4,951$ og parameter $\beta = 0,115$ for år 2060.

Tabel 14-14 Modelberegnete statistiske middeltidsvandstande angivet i DVR90 for Thisted.

Thisted	20 år	50 år	100 år
1958 batymetri	148	158	164
2005 batymetri	163	172	178
2060 batymetri	170	179	185

Som højdefordeling for Thisted er der benyttet en trunkeket Log-Normal fordeling med afskæringsniveau $\gamma = 109$ cm, parameter $\alpha = 4,774$ og parameter $\beta = 0,146$ for år 1958, afskæringsniveau $\gamma = 123$ cm, parameter $\alpha = 4,917$ og parameter $\beta = 0,119$ for år 2005 og afskæringsniveau $\gamma = 130$ cm, parameter $\alpha = 4,951$ og parameter $\beta = 0,120$ for år 2060.

Tabel 14-15 Modelberegnete statistiske middeltidsvandstande angivet i DVR90 for Tofthuse.

Tofthuse	20 år	50 år	100 år
1958 batymetri	154	165	174
2005 batymetri	168	178	185
2060 batymetri	174	183	190

Som højdefordeling for Tofthuse er der benyttet en trunkeket Log-Normal fordeling med afskæringsniveau $\gamma = 112$ cm, parameter $\alpha = 4,712$ og parameter $\beta = 0,186$ for år 1958, afskæringsniveau $\gamma = 128$ cm, parameter $\alpha = 4,868$ og parameter $\beta = 0,150$ for år 2005 og afskæringsniveau $\gamma = 133$ cm, parameter $\alpha = 4,962$ og parameter $\beta = 0,126$ for år 2060.



Tabel 14-16 Modelberegnete statistiske middeltidsvandstande angivet i DVR90 for Bygholm Vejle.

Bygholm Vejle	20 år	50 år	100 år
1958 batymetri	175	191	203
2005 batymetri	186	198	207
2060 batymetri	188	197	204

Som højdefordeling for Bygholm Vejle er der benyttet en trunkeret Log-Normal fordeling med afskæringsniveau $\gamma = 129$ cm, parameter $\alpha = 4,612$ og parameter $\beta = 0,251$ for år 1958, afskæringsniveau $\gamma = 141$ cm, parameter $\alpha = 4,905$ og parameter $\beta = 0,174$ for år 2005 og afskæringsniveau $\gamma = 143$ cm, parameter $\alpha = 5,072$ og parameter $\beta = 0,112$ for år 2060.

Tabel 14-17 Modelberegnete statistiske middeltidsvandstande angivet i DVR90 for Løgstør.

Løgstør	20 år	50 år	100 år
1958 batymetri	176	190	199
2005 batymetri	185	194	200
2060 batymetri	203	213	219

Som højdefordeling for Løgstør er der benyttet en trunkeret Log-Normal fordeling med afskæringsniveau $\gamma = 129$ cm, parameter $\alpha = 4,860$ og parameter $\beta = 0,180$ for år 1958, afskæringsniveau $\gamma = 133$ cm, parameter $\alpha = 5,073$ og parameter $\beta = 0,104$ for år 2005 og afskæringsniveau $\gamma = 140$ cm, parameter $\alpha = 5,105$ og parameter $\beta = 0,101$ for år 2060.

Tabel 14-18 Modelberegnete statistiske middeltidsvandstande angivet i DVR90 for Trend.

Trend	20 år	50 år	100 år
1958 batymetri	159	164	168
2005 batymetri	174	181	186
2060 batymetri	183	191	197

Som højdefordeling for Trend er der benyttet en trunkeret Log-Normal fordeling med afskæringsniveau $\gamma = 125$ cm, parameter $\alpha = 4,952$ og parameter $\beta = 0,081$ for år 1958, afskæringsniveau $\gamma = 143$ cm, parameter $\alpha = 5,025$ og parameter $\beta = 0,090$ for år 2005 og afskæringsniveau $\gamma = 149$ cm, parameter $\alpha = 5,028$ og parameter $\beta = 0,110$ for år 2060.



Tabel 14-19 Modelberegnete statistiske middeltidsvandstande angivet i DVR90 for Hvalpsund.

Hvalpsund	20 år	50 år	100 år
1958 batymetri	167	173	177
2005 batymetri	183	191	196
2060 batymetri	190	199	204

Som højdefordeling for Hvalpsund er der benyttet en trunkeket Log-Normal fordeling med afskæringsniveau $\gamma = 130$ cm, parameter $\alpha = 4,992$ og parameter $\beta = 0,086$ for år 1958, afskæringsniveau $\gamma = 146$ cm, parameter $\alpha = 5,069$ og parameter $\beta = 0,095$ for år 2005 og afskæringsniveau $\gamma = 152$ cm, parameter $\alpha = 5,098$ og parameter $\beta = 0,100$ for år 2060.

Tabel 14-20 Modelberegnete statistiske middeltidsvandstande angivet i DVR90 for Skive.

Skive	20 år	50 år	100 år
1958 batymetri	183	196	206
2005 batymetri	199	213	222
2060 batymetri	205	219	228

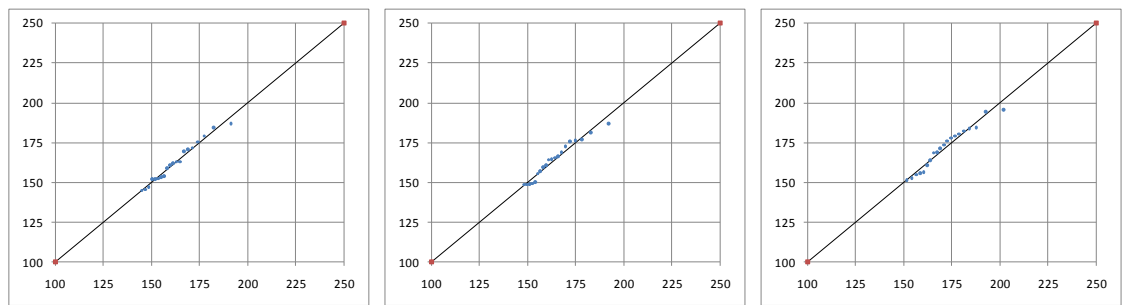
Som højdefordeling for Skive er der benyttet en trunkeket Log-Normal fordeling med afskæringsniveau $\gamma = 134$ cm, parameter $\alpha = 4,899$ og parameter $\beta = 0,179$ for år 1958, afskæringsniveau $\gamma = 147$ cm, parameter $\alpha = 5,027$ og parameter $\beta = 0,162$ for år 2005 og afskæringsniveau $\gamma = 151$ cm, parameter $\alpha = 5,087$ og parameter $\beta = 0,150$ for år 2060.

Tabel 14-21 Modelberegnete statistiske middeltidsvandstande angivet i DVR90 for Virksund.

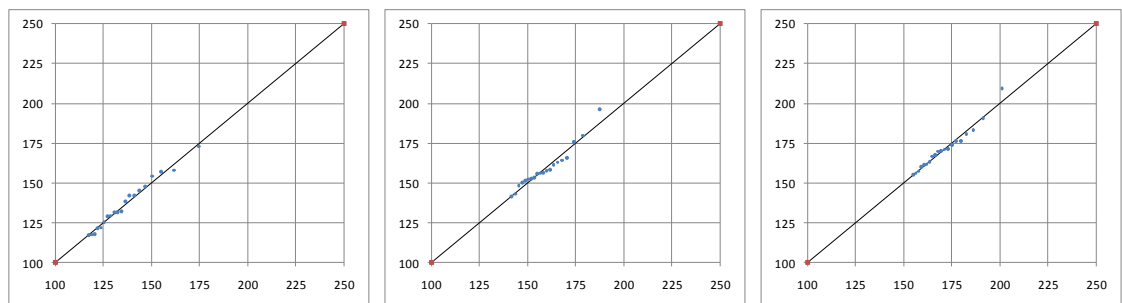
Virksund	20 år	50 år	100 år
1958 batymetri	206	223	236
2005 batymetri	219	237	251
2060 batymetri	224	244	260

Som højdefordeling for Virksund er der benyttet en trunkeket Log-Normal fordeling med afskæringsniveau $\gamma = 146$ cm, parameter $\alpha = 4,980$ og parameter $\beta = 0,202$ for år 1958, afskæringsniveau $\gamma = 162$ cm, parameter $\alpha = 4,897$ og parameter $\beta = 0,232$ for år 2005 og afskæringsniveau $\gamma = 169$ cm, parameter $\alpha = 4,576$ og parameter $\beta = 0,302$ for år 2060.

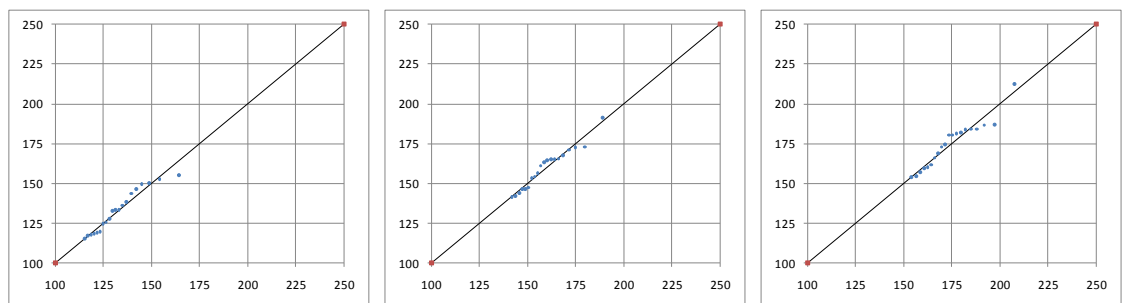
Tilsvarende er der i de følgende figurer plottet en sammenligning mellem de teoretiske kvantiler (x-akse) og de faktiske hændeskvanter (y-akse) for den historiske batymetri, nutidige batymetri og fremtidige batymetri.



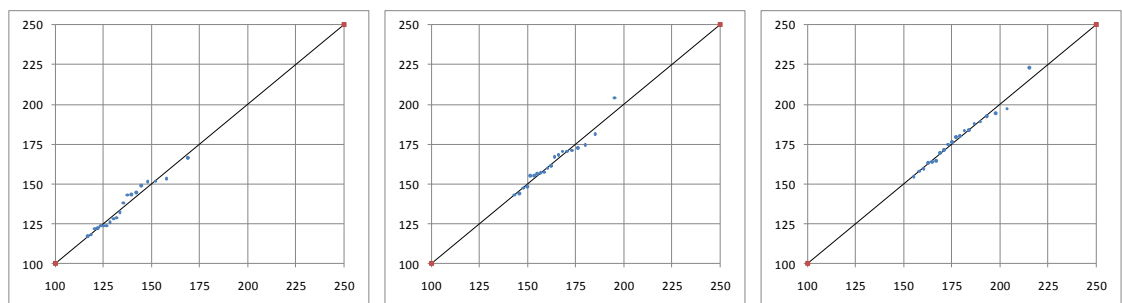
Figur 14-22 Thyborøn Havn 1958, 2005 og 2060: Sammenligning mellem hændelseskvantiler og teoretiske kvantiler.



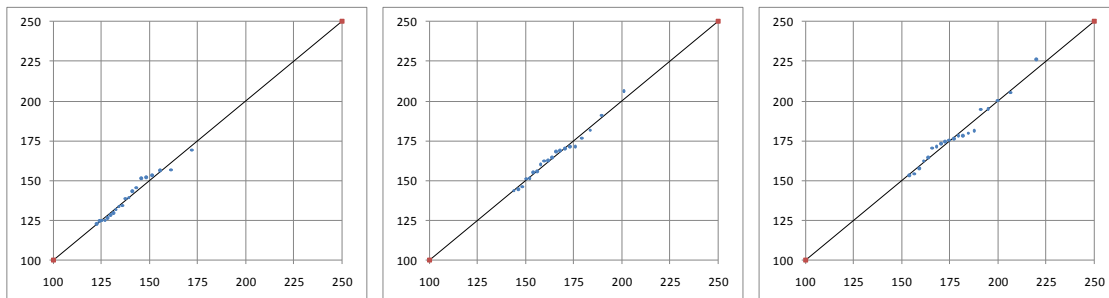
Figur 14-23 Vestervig 1958, 2005 og 2060: Sammenligning mellem hændelseskvantiler og teoretiske kvantiler.



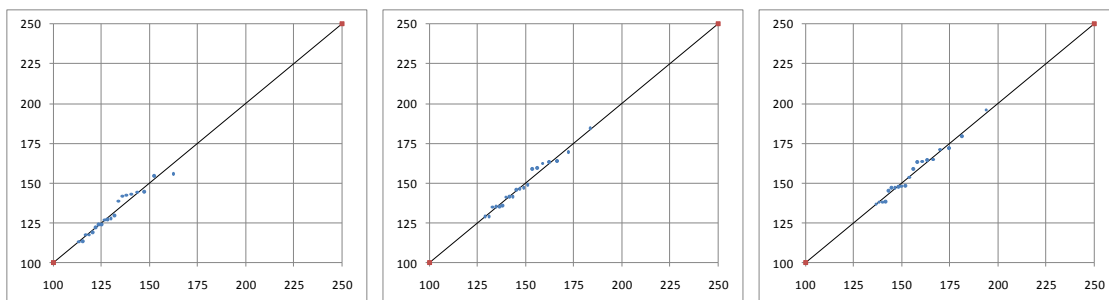
Figur 14-24 Draget 1958, 2005 og 2060: Sammenligning mellem hændelseskvantiler og teoretiske kvantiler.



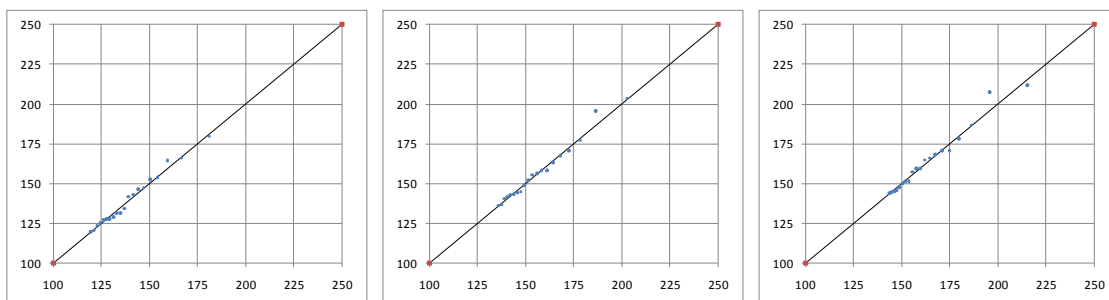
Figur 14-25 Lemvig 1958, 2005 og 2060: Sammenligning mellem hændelseskvantiler og teoretiske kvantiler.



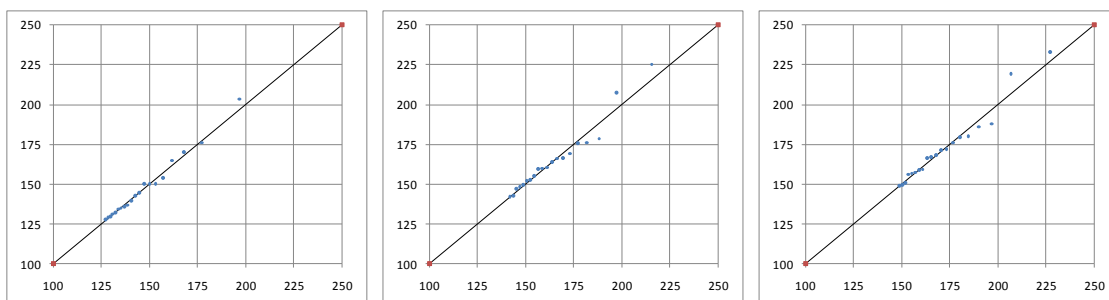
Figur 14-26 Oddesund Vest 1958, 2005 og 2060: Sammenligning mellem hændelseskvan-
tiller og teoreti-
ske kvantiler.



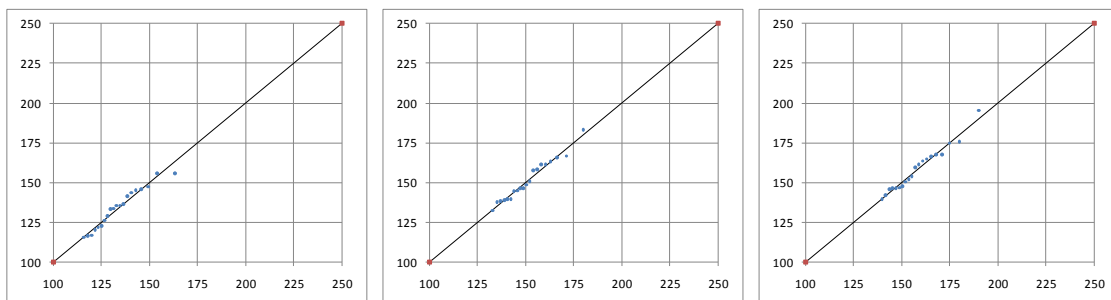
Figur 14-27 Oddesund Øst 1958, 2005 og 2060: Sammenligning mellem hændelseskvan-
tiller og teoreti-
ske kvantiler.



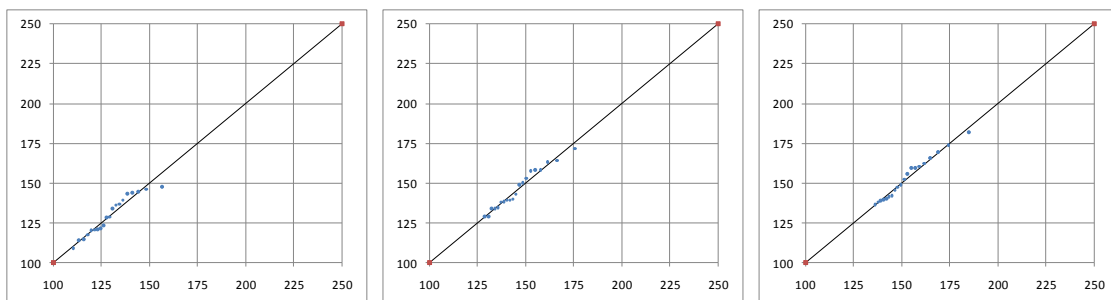
Figur 14-28 Struer 1958, 2005 og 2060: Sammenligning mellem hændelseskvan-
tiller og teoretiske kvan-
tiller.



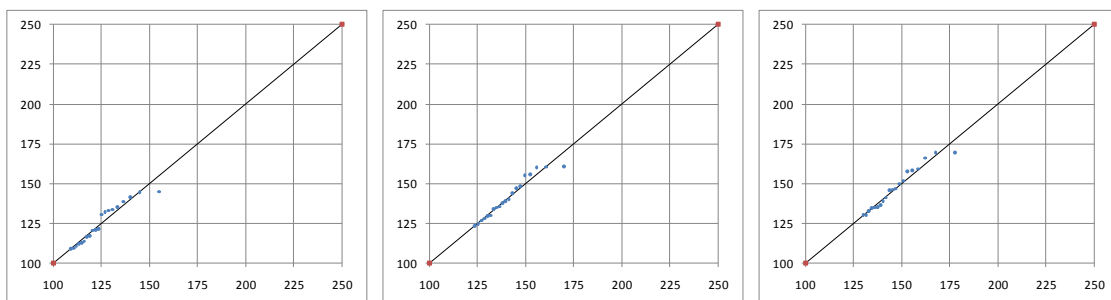
Figur 14-29 Landting Mark 1958, 2005 og 2060: Sammenligning mellem hændelseskvan-
tiller og teoreti-
ske kvantiler.



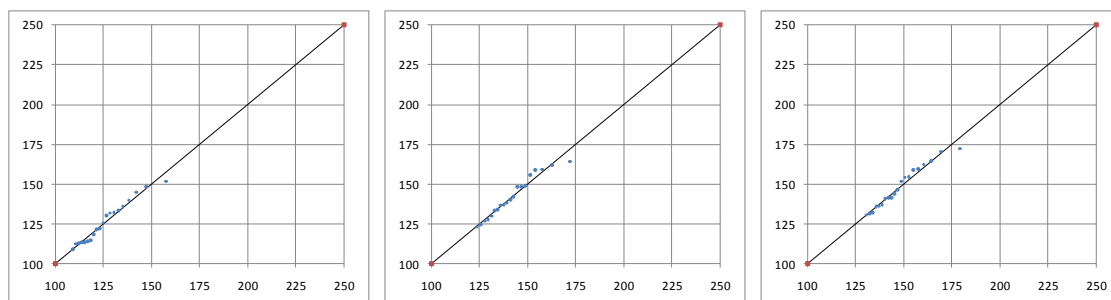
Figur 14-30 Vadum 1958, 2005 og 2060: Sammenligning mellem hændelseskvantiler og teoretiske kvantiler.



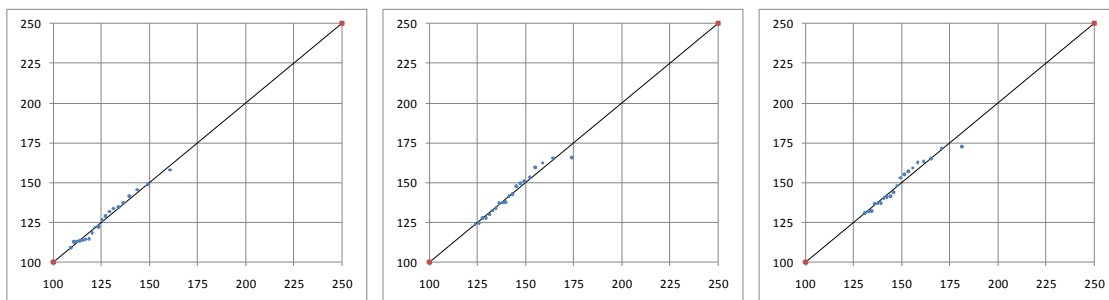
Figur 14-31 Nykøbing Mors 1958, 2005 og 2060: Sammenligning mellem hændelseskvantiler og teoretiske kvantiler.



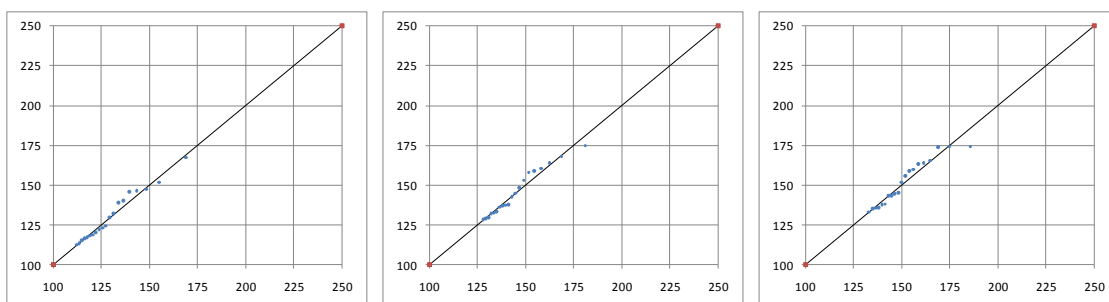
Figur 14-32 Nees Sund 1958, 2005 og 2060: Sammenligning mellem hændelseskvantiler og teoretiske kvantiler.



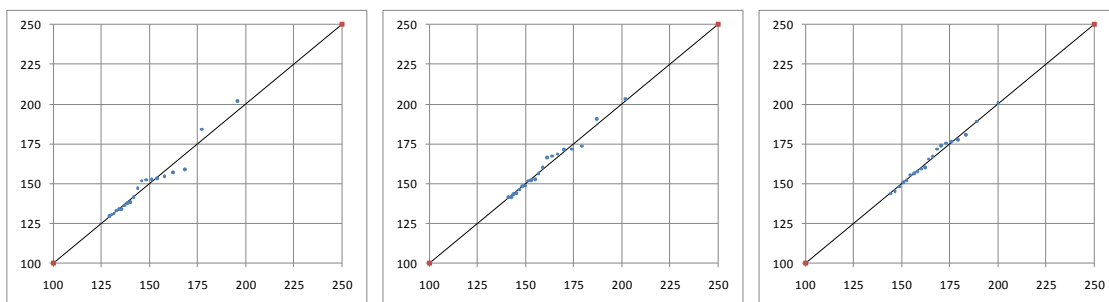
Figur 14-33 Vilsund 1958, 2005 og 2060: Sammenligning mellem hændelseskvantiler og teoretiske kvantiler.



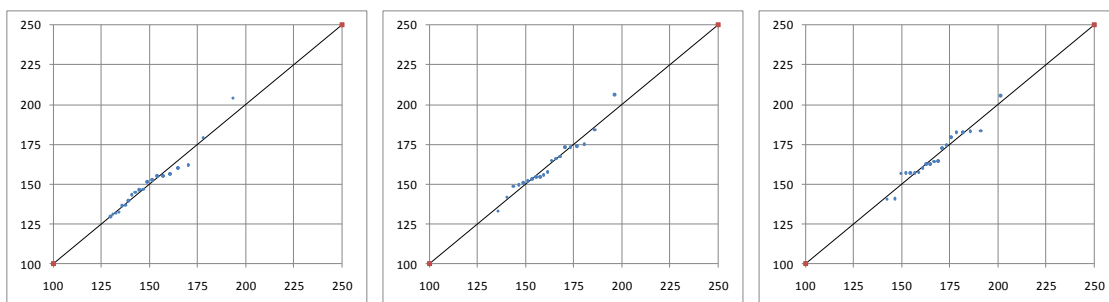
Figur 14-34 Thisted 1958, 2005 og 2060: Sammenligning mellem hændelseskvantiler og teoretiske kvantiler.



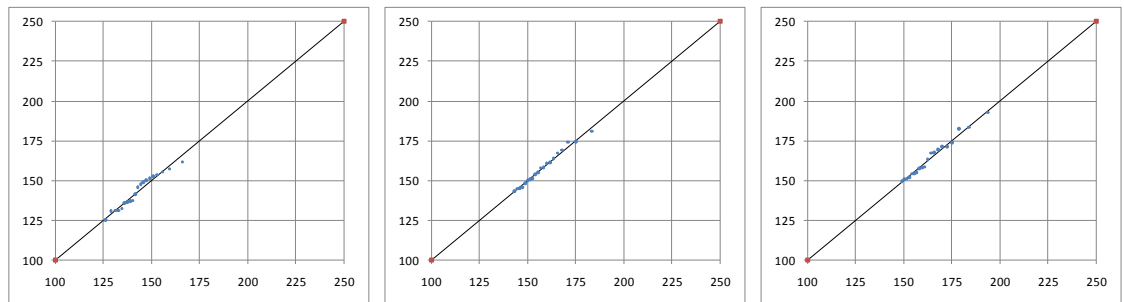
Figur 14-35 Tofthuse 1958, 2005 og 2060: Sammenligning mellem hændelseskvantiler og teoretiske kvantiler.



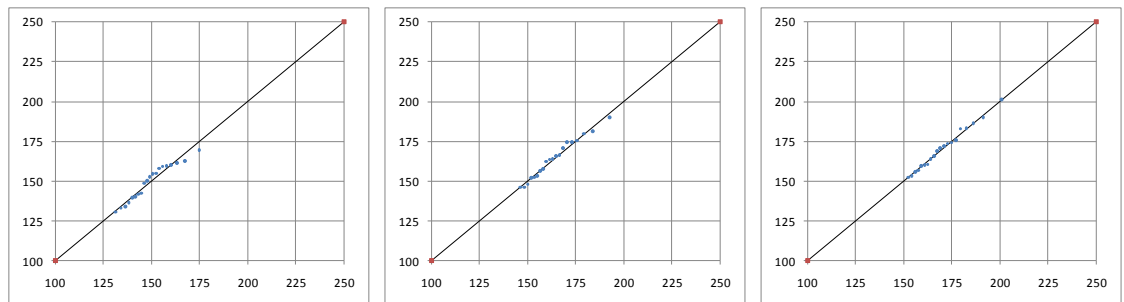
Figur 14-36 Bygholm Vejle 1958, 2005 og 2060: Sammenligning mellem hændelseskvantiler og teoretiske kvantiler.



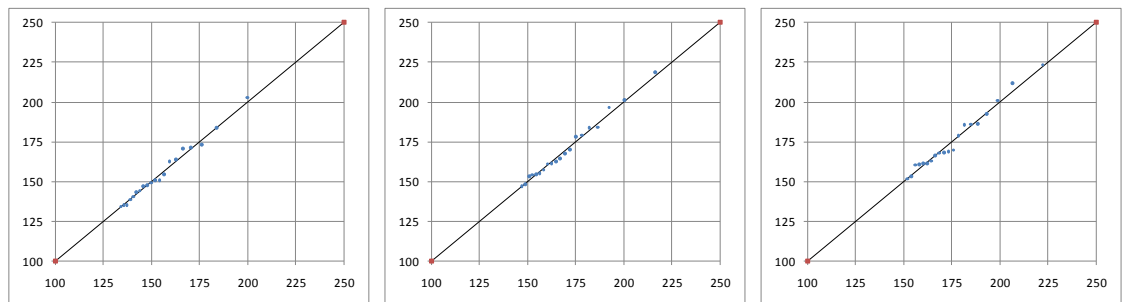
Figur 14-37 Løgstør 1958, 2005 og 2060: Sammenligning mellem hændelseskvantiler og teoretiske kvantiler.



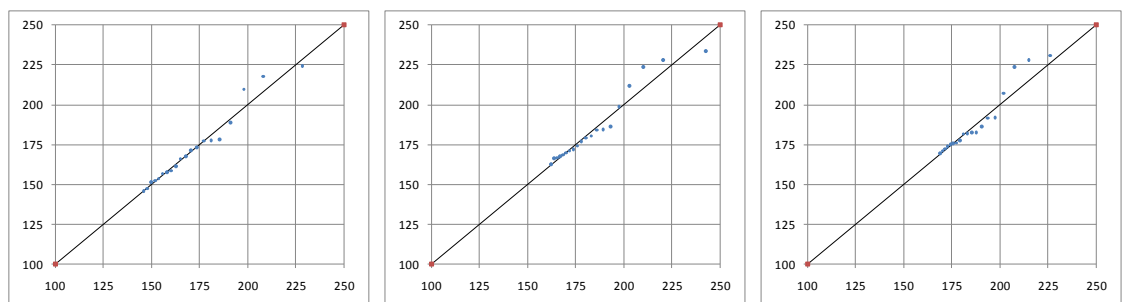
Figur 14-38 Trend 1958, 2005 og 2060: Sammenligning mellem hændelseskvantiler og teoretiske kvantiler.



Figur 14-39 Hvalpsund 1958, 2005 og 2060: Sammenligning mellem hændelseskvantiler og teoretiske kvantiler.



Figur 14-40 Skive 1958, 2005 og 2060: Sammenligning mellem hændelseskvantiler og teoretiske kvantiler.



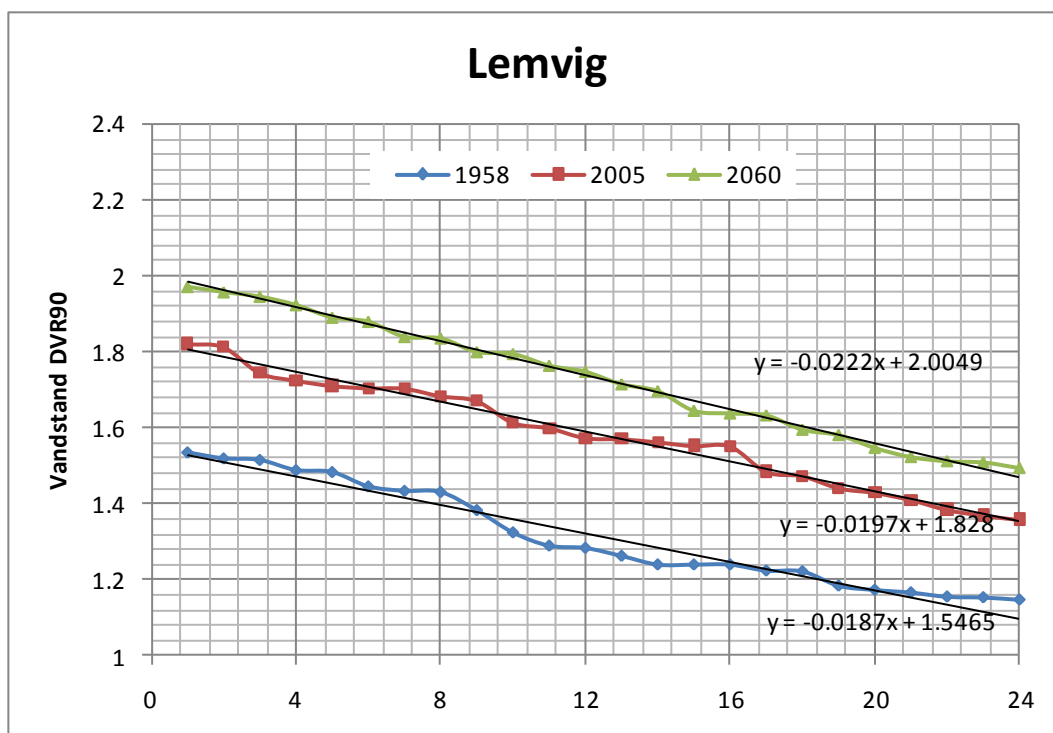
Figur 14-41 Virksund 1958, 2005 og 2060: Sammenligning mellem hændelseskvantiler og teoretiske kvantiler.

14.4 Højvandsstatistik baseret på korrektion af målinger

Højvandsstatistikkerne for Thyborøn Havn, Lemvig, Løgstør og Skive er i dette afsnit blevet opdateret med en modelberegnet korrektion, der inkluderer effekten af en ændret batymetri ved Thyborøn. Endvidere er der blevet tilføjet nye stormhændelser, som ville

indgå naturligt, såfremt statistikken fra 2007 blev opdateret til i dag. Stormhændelser fra før 1954 er ikke inkluderet i statistikkerne, da disse ikke kan korrigeres. Endvidere er hændelser, som er dobbeltrepræsenteret fjernet. Hændelser som ikke er modelleret er blevet korrigeret baseret på den generelle trend i simuleringerne.

Et eksempel på dette er i det følgende givet for stormhændelsen 17. februar 1962 ved Lemvig, hvor der blev registreret en vandstand på 1,53 m DVR90. For alle de modellerede og rangerede storme er der fundet trendrelationer for forholdene i 1958, 2005 og 2060, som angivet i Figur 14-42.



Figur 14-42 Trendrelationer for rangerede modellerede stormflodsvandstande.

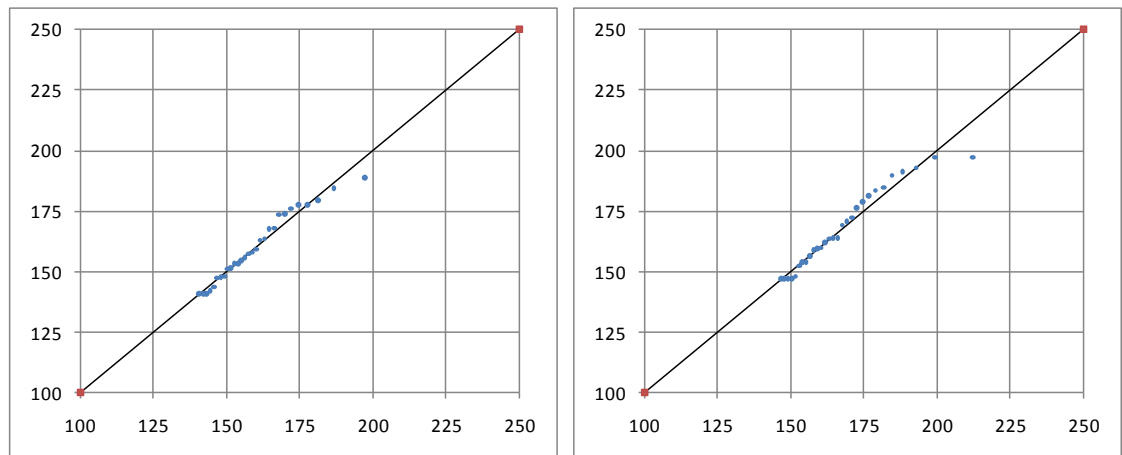
En tilsvarende relation for 1962 findes ved at vægte relationerne for 1958 og 2005 med henholdsvis 43/47 og 4/47 dele. Herved findes relationen:

$$y = 0,0188x + 1,5705$$

Hvor x angiver hændelsestypen. Ved at indsætte $y = 1,53$ m kan hændelsestypen findes som $x = 2,15$. Hændelsestypen $x = 2,15$ indsættes herefter i hver af de tre trendrelationer. Herved findes 1,51 m for 1958, 1,79 m for 2005 og 1,96 m for 2060.

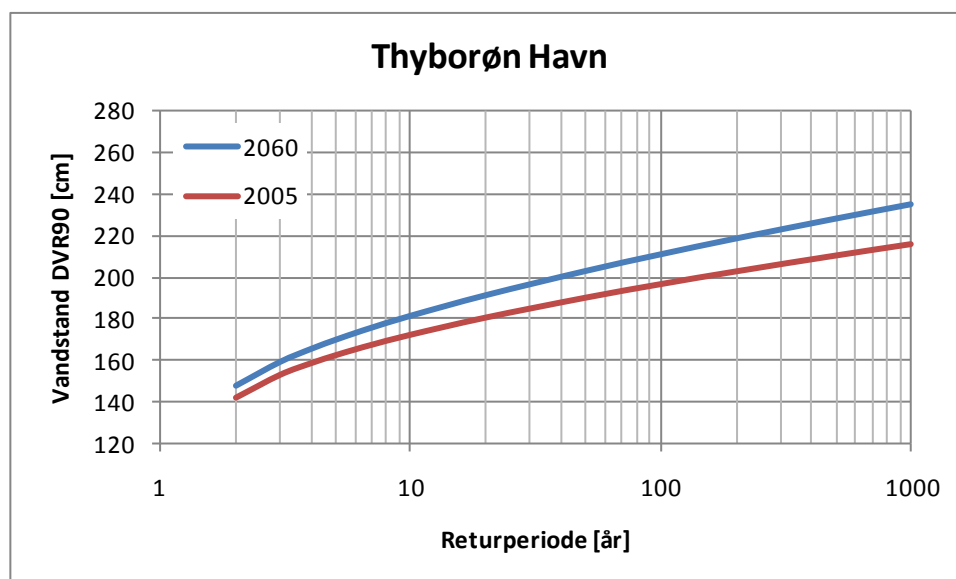
14.4.1 Thyborøn Havn

Statistikken for Thyborøn Havn baserer sig på en dataperiode på 55 år. Der indgår 29 hændelser i analysen. For 2005 statistikken er der valgt et afskæringsniveau på 140 cm, mens den for 2060 analysen er valgt til 146 cm. Resultatet af analysen er vist i Figur 14-43, hvor teoretiske kvantiler er plottet (x-akse) mod de faktiske hændelseskvantiler (y-akse).



Figur 14-43 Sammenligning mellem hændelseskvantiler og teoretiske kvantiler. Venstre side: 2005. Højre side: 2060.

I Figur 14-44 er de statistiske frekvensfunktioner for højvande i Thyborøn Havn som følge af ændrede batymetriske forhold angivet for år 2005 og år 2060. Som ankomstfordeling er i begge tilfælde anvendt en Poissonproces med intensitet $\lambda = 0,527$ hændelser pr. år. Som højdefordeling er der benyttet en trunkeret Log-Normal fordeling med afskæringsniveau $\gamma = 140$ cm, parameter $\alpha = 5,024$ og parameter $\beta = 0,117$ for år 2005 og afskæringsniveau $\gamma = 146$ cm, parameter $\alpha = 5,045$ og parameter $\beta = 0,138$ for år 2060.



Figur 14-44 Frekvensfunktionen for højvande i Thyborøn Havn i 2005 og 2060.

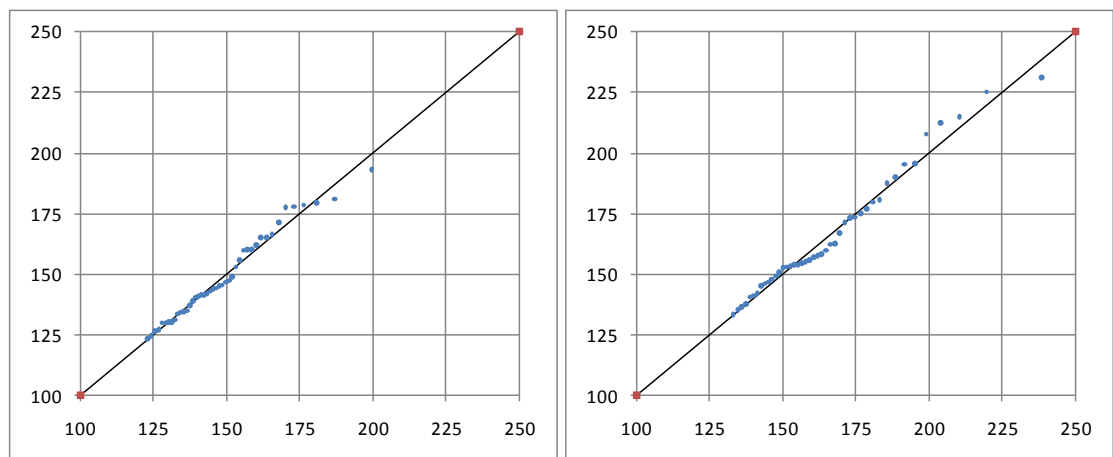
Endvidere er der i Tabel 14-22 angivet en række beregnede statistiske middeltidsvandstande for Thyborøn Havn i 2005 og 2060. For at få den fulde effekt i 2060 skal der adderes et bidrag fra de klimaskabte havspejlsstigninger, som på nuværende tidspunkt vurderes til 24 cm.

Tabel 14-22 Beregnede statistiske middeltidsvandstande angivet i DVR90 for Thyborøn Havn.

Thyborøn Havn	20 år	50 år	100 år
2005 batymetri	180	190	196
2060 batymetri	192	203	211

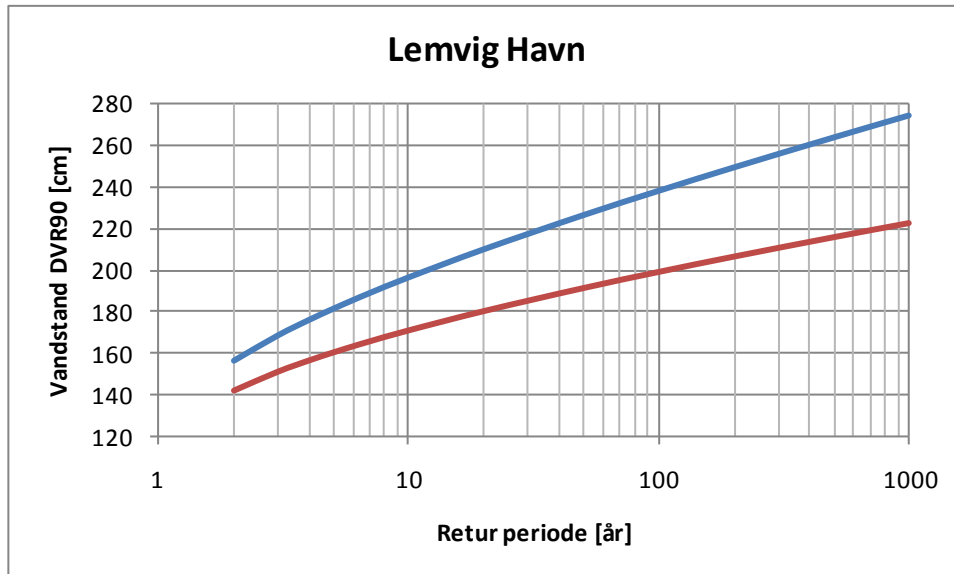
14.4.2 Lemvig

Statistikken for Lemvig baserer sig på en dataperiode på 51 år. Der indgår 44 hændelser i analysen. For 2005 statistikken er der valgt et afskæringsniveau på 122 cm, mens den for 2060 analysen er valgt til 132 cm. Resultatet af analysen er vist i Figur 14-45, hvor teoretiske kvantiler er plottet (x-akse) mod de faktiske hændeskvantiler (y-akse).



Figur 14-45 Sammenligning mellem hændeskvantiler og teoretiske kvantiler. Venstre side: 2005. Højre side: 2060.

I Figur 14-46 er de statistiske frekvensfunktioner for højvande i Lemvig Havn som følge af ændrede batymetriske forhold ved Thyborøn angivet for år 2005 og år 2060. Som ankomstfordeling er i begge tilfælde anvendt en Poissonproces med intensitet $\lambda = 0,863$ hændelser pr. år. Som højdefordeling er der benyttet en trunkeret Log-Normal fordeling med afskæringsniveau $\gamma = 122$ cm, parameter $\alpha = 4,955$ og parameter $\beta = 0,146$ for år 2005 og afskæringsniveau $\gamma = 132$ cm, parameter $\alpha = 5,031$ og parameter $\beta = 0,187$ for år 2060.



Figur 14-46 Frekvensfunktionen for højvande i Lemvig Havn i 2005 og 2060.

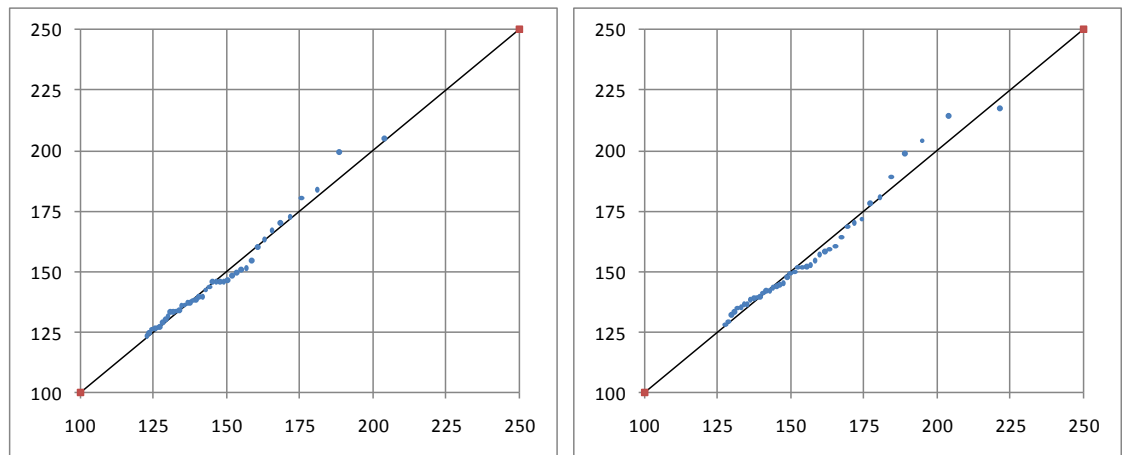
Endvidere er der i Tabel 14-23 angivet en række beregnede statistiske middeltidsvandstande for Lemvig i 2005 og 2060. For at få den fulde effekt i 2060, skal der adderes et bidrag fra de klimaskabte havspejlsstigninger, som på nuværende tidspunkt vurderes til 24 cm.

Tabel 14-23 Beregnede statistiske middeltidsvandstande angivet i DVR90 for Lemvig.

Lemvig	20 år	50 år	100 år
2005 batymetri	181	192	199
2060 batymetri	210	227	238

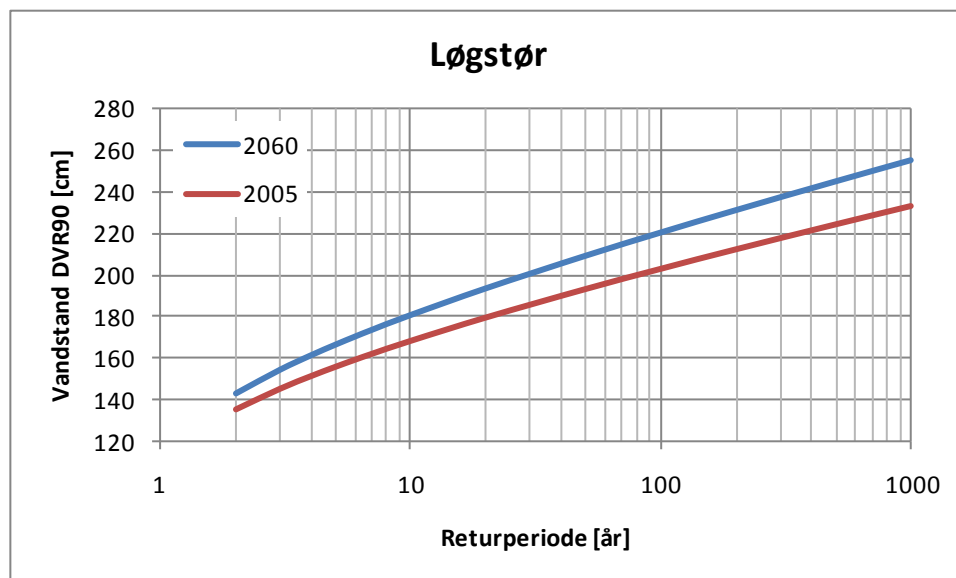
14.4.3 Løgstør

Statistikken for Løgstør baserer sig på en dataperiode på 55 år. Der indgår 42 hændelser i analysen. For 2005 statistikken er der valgt et afskæringsniveau på 122 cm, mens den for 2060 analysen er valgt til 127 cm. Resultatet af analysen er vist i Figur 14-47, hvor teoretiske kvantiler er plottet (x-akse) mod de faktiske hændeskvanter (y-akse).



Figur 14-47 Sammenligning mellem hændelseskvantiler og teoretiske kvantiler. Venstre side: 2005. Højre side: 2060.

I Figur 14-48 er de statistiske frekvensfunktioner for højvande ved Løgstør som følge af ændrede batymetriske forhold ved Thyborøn angivet for år 2005 og år 2060. Som ankomstfordeling er i begge tilfælde anvendt en Poissonproces med intensitet $\lambda = 0,764$ hændelser pr. år. Som højdefordeling er der benyttet en trunkeret Log-Normal fordeling med afskæringsniveau $\gamma = 122$ cm, parameter $\alpha = 4,873$ og parameter $\beta = 0,184$ for år 2005 og afskæringsniveau $\gamma = 127$ cm, parameter $\alpha = 4,934$ og parameter $\beta = 0,194$ for år 2060.



Figur 14-48 Frekvensfunktionen for højvande ved Løgstør i 2005 og 2060.

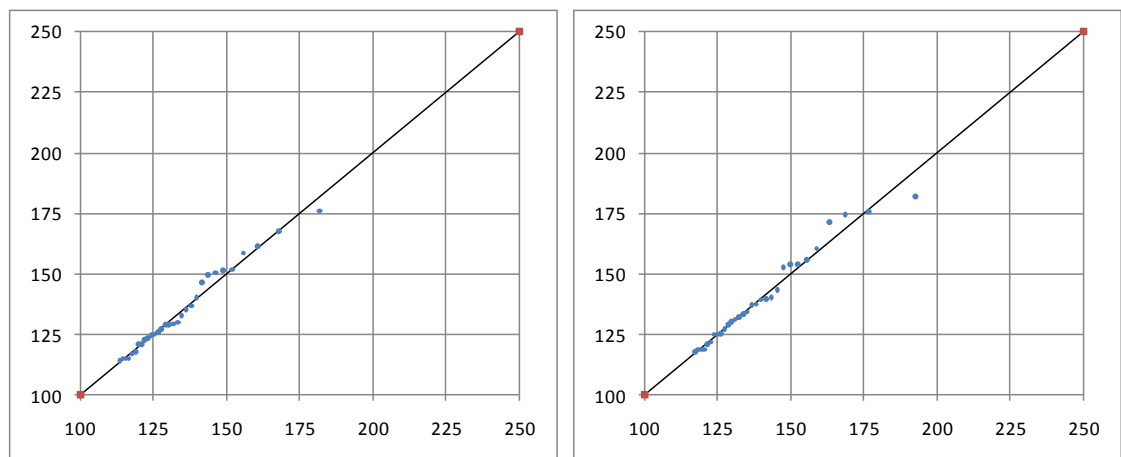
Endvidere er der i Tabel 14-24 angivet en række beregnede statistiske middeltidsvandstande for Løgstør i 2005 og 2060. For at få den fulde effekt i 2060, skal der adderes et bidrag fra de klimaskabte havspejlsstigninger, som på nuværende tidspunkt vurderes til 24 cm.

Tabel 14-24 Beregnede statistiske middeltidsvandstande angivet i DVR90 for Løgstør.

Løgstør	20 år	50 år	100 år
2005 batymetri	180	193	203
2060 batymetri	193	209	220

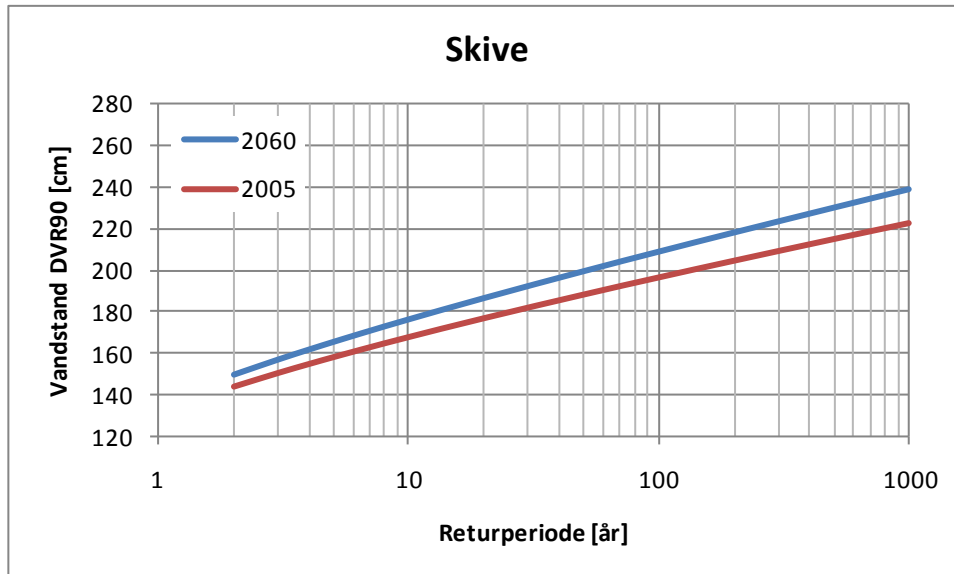
14.4.4 Skive

Statistikken for Skive baserer sig på en dataperiode på 15 år. Der indgår 31 hændelser i analysen. For 2005 statistikken er der valgt et afskæringsniveau på 113 cm, mens den for 2060 analysen er valgt til 117 cm. Resultatet af analysen er vist i Figur 14-49, hvor teoretiske kvantiler er plottet (x-akse) mod de faktiske hændeskvantiler (y-akse).



Figur 14-49 Sammenligning mellem hændeskvantiler og teoretiske kvantiler. Venstre side: 2005. Højre side: 2060.

I Figur 14-50 er de statistiske frekvensfunktioner for højvande ved Skive som følge af ændrede batymetriske forhold ved Thyborøn angivet for år 2005 og år 2060. Som ankomstfordeling er i begge tilfælde anvendt en Poissonproces med intensitet $\lambda = 2,067$ hændelser pr. år. Som højdefordeling er der benyttet en trunkeret Log-Normal fordeling med afskæringsniveau $\gamma = 113$ cm, parameter $\alpha = 4,775$ og parameter $\beta = 0,184$ for år 2005 og afskæringsniveau $\gamma = 116$ cm, parameter $\alpha = 4,793$ og parameter $\beta = 0,198$ for år 2060.



Figur 14-50 Frekvensfunktionen for højvande ved Skive i 2005 og 2060.

Endvidere er der i Tabel 14-25 angivet en række beregnede statistiske middeltidsvandstande for Løgstør i 2005 og 2060. For at få den fulde effekt i 2060, skal der adderes et bidrag fra de klimaskabte havspejlsstigninger, som på nuværende tidspunkt vurderes til 24 cm.

Tabel 14-25 Beregnede statistiske middeltidsvandstande angivet i DVR90 for Skive.

Skive	20 år	50 år	100 år
2005 batymetri	177	188	197
2060 batymetri	187	200	209



15 **REFERENCER**

- /1/ Kystdirektoratet, Højvandsstatistikker 2007.
- /2/ Thyborønudvalget af 1957, *Stormflodsvandstande i Limfjorden med åben Thyborøn Kanal.*

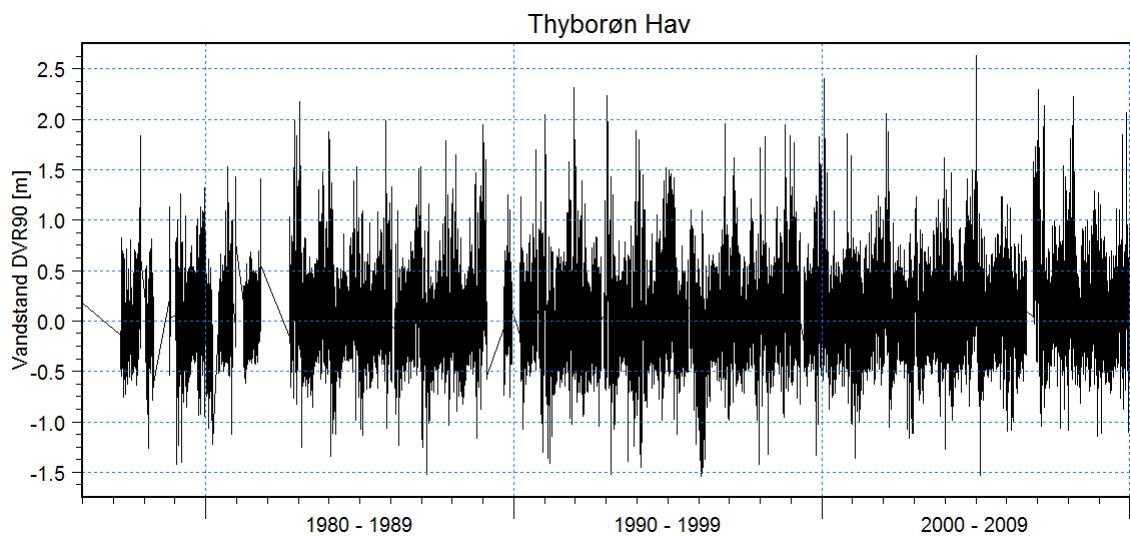


B I L A G

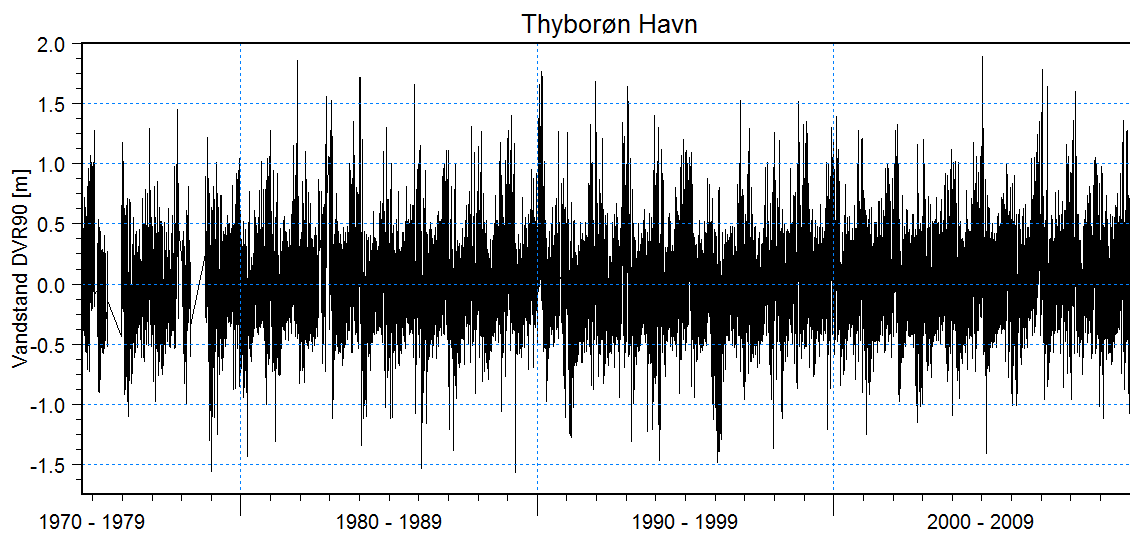


B I L A G A

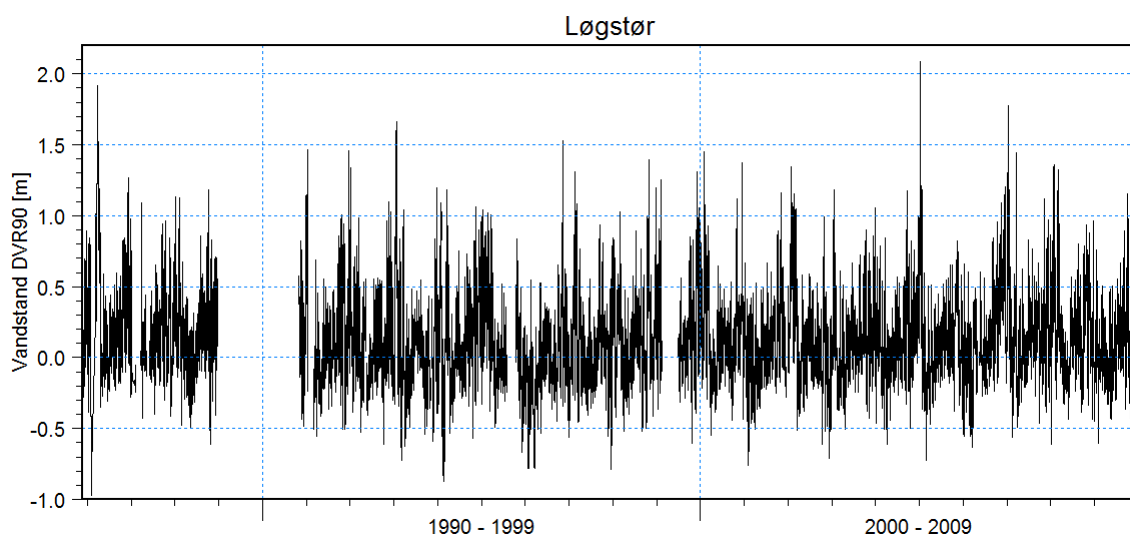
Vandstandsdata



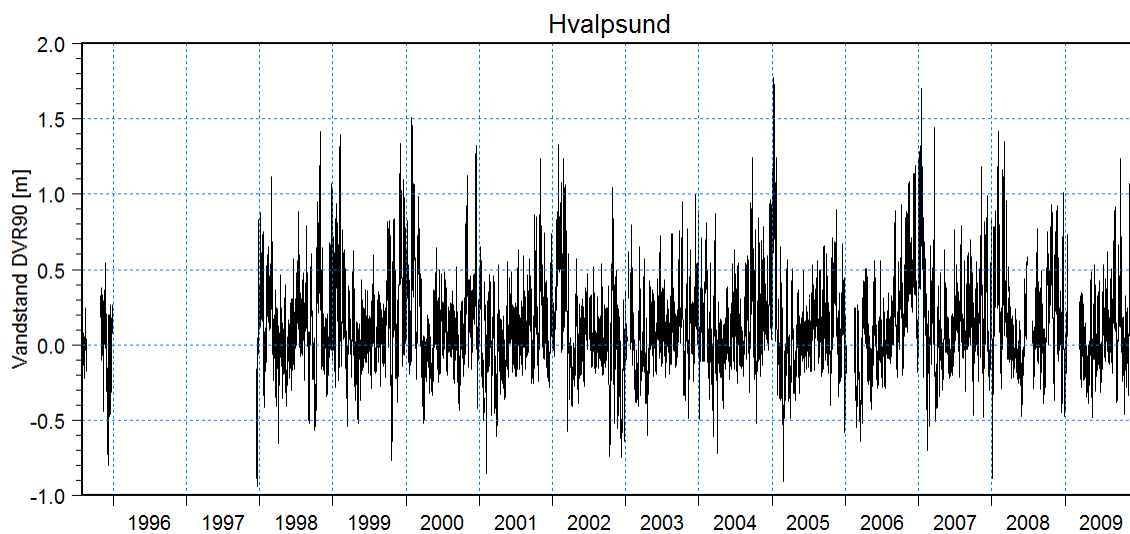
Figur A-15-1 Målte vandstande ved Thyborøn Kyst i perioden 1975-2010.



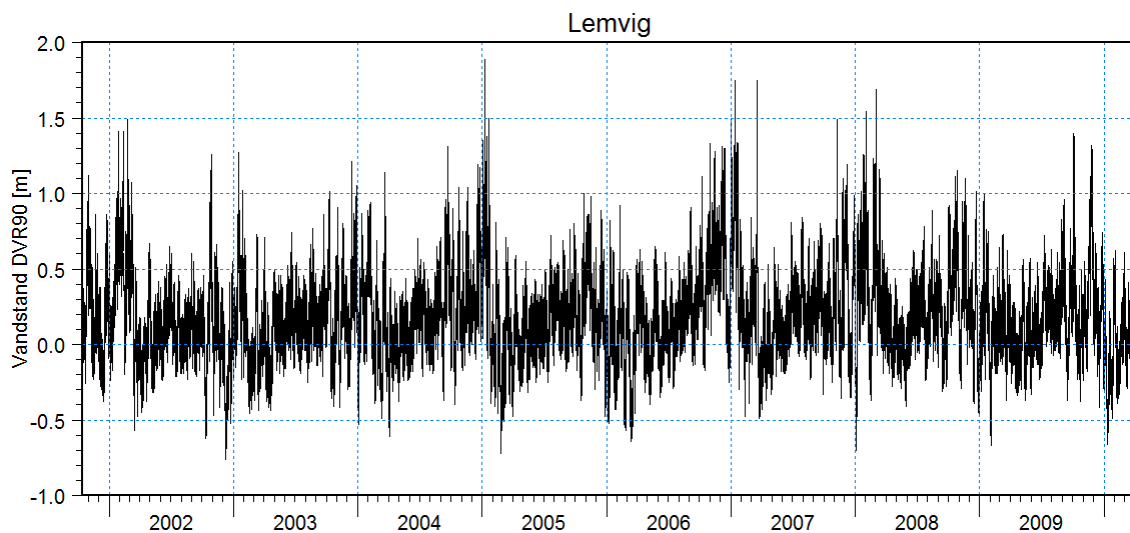
Figur A-15-2 Målte vandstande ved Thyborøn Havn i perioden 1974-2010.



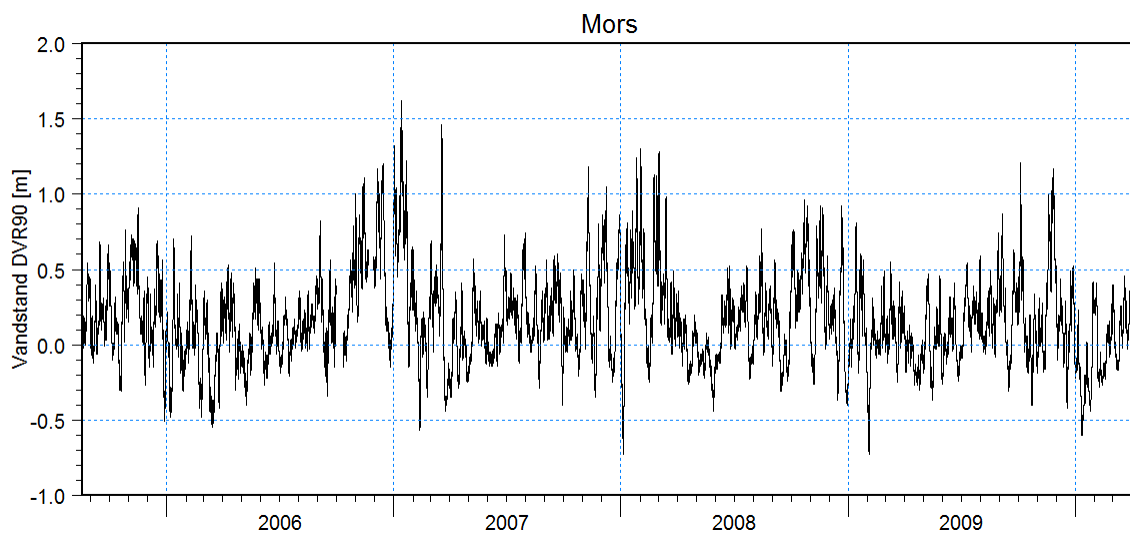
Figur A-15-3 Målte vandstande ved Løgstør i perioden 1985-2009.



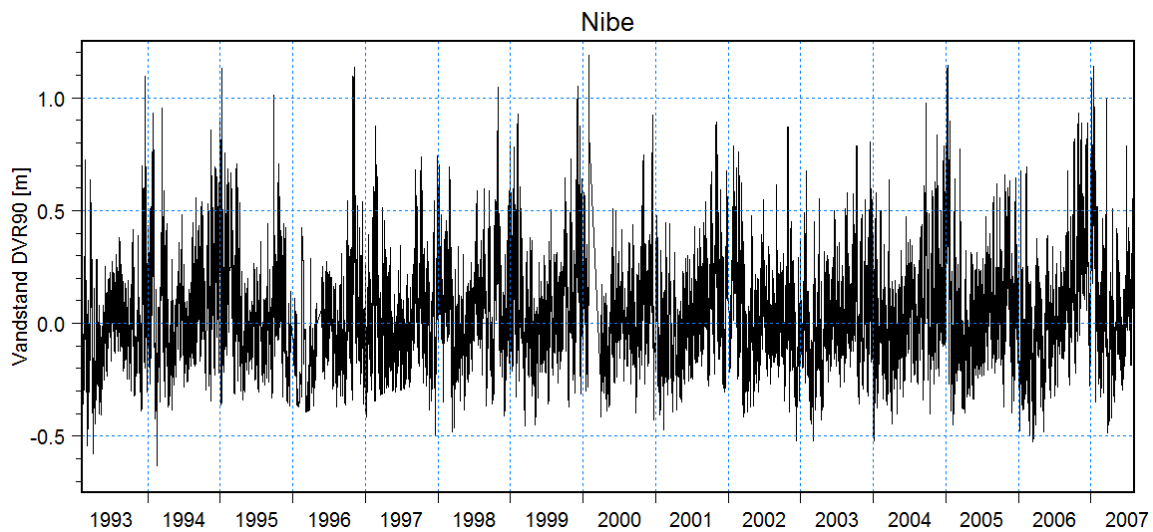
Figur A-15-4 Målte vandstande ved Hvalpsund i perioden 1995-2009.



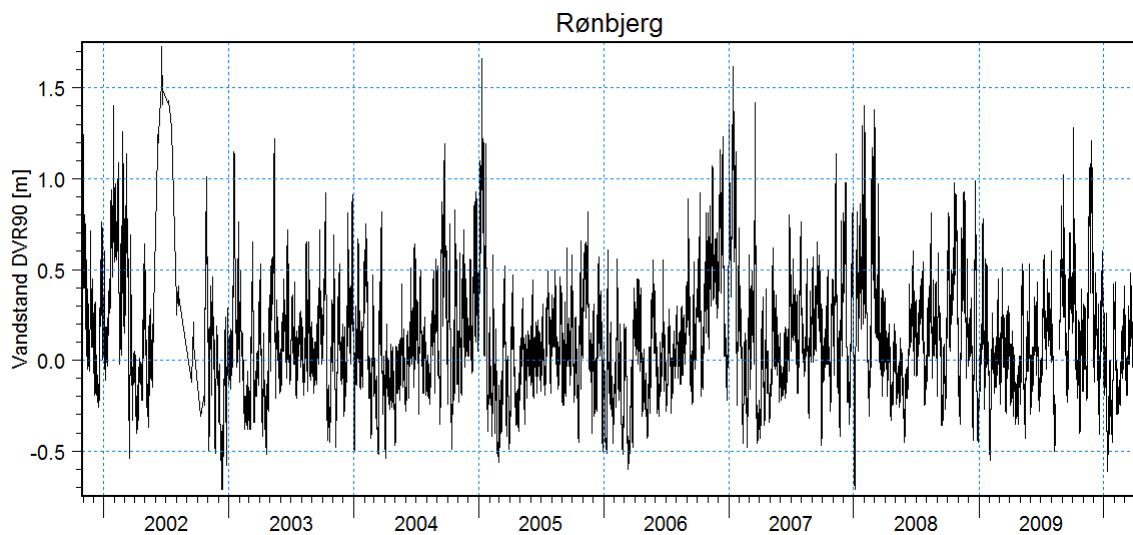
Figur A-15-5 Målte vandstande ved Lemvig i perioden 2001-2010.



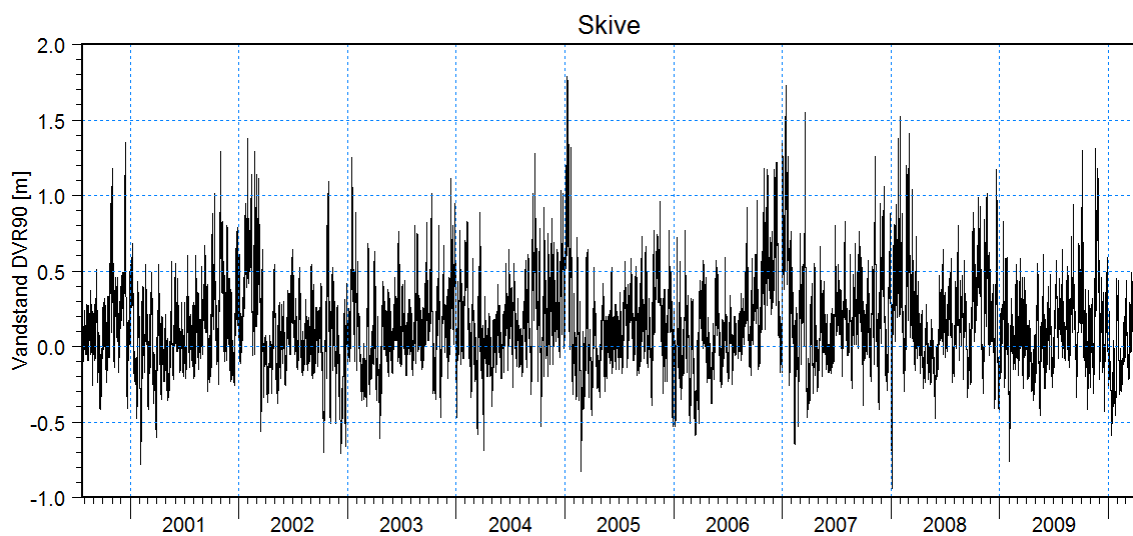
Figur A-15-6 Målte vandstande ved Mors i perioden 2005-2010.



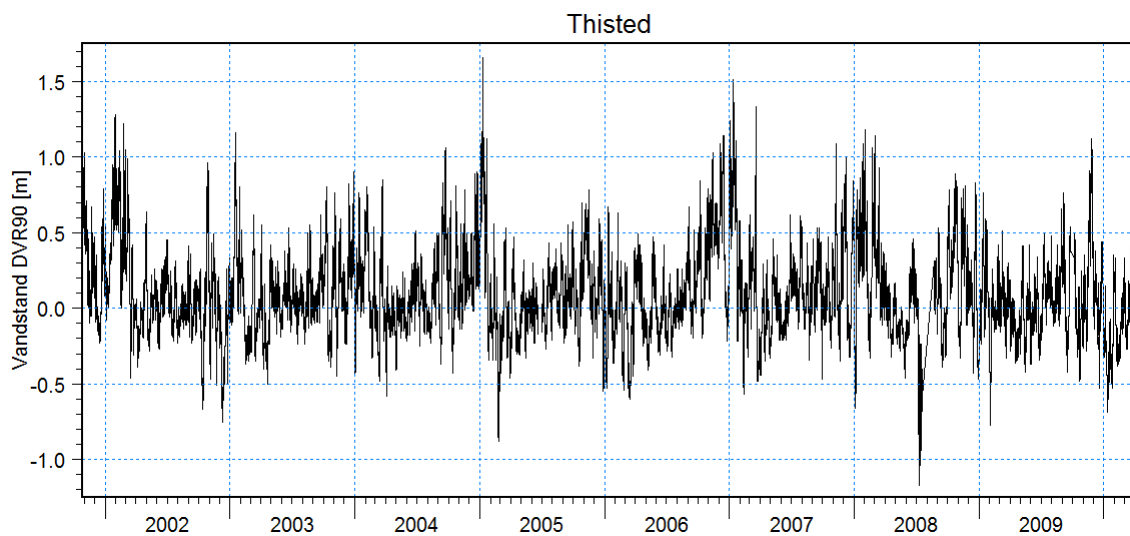
Figur A-15-7 Målte vandstande ved Nibe i perioden 1993-2007.



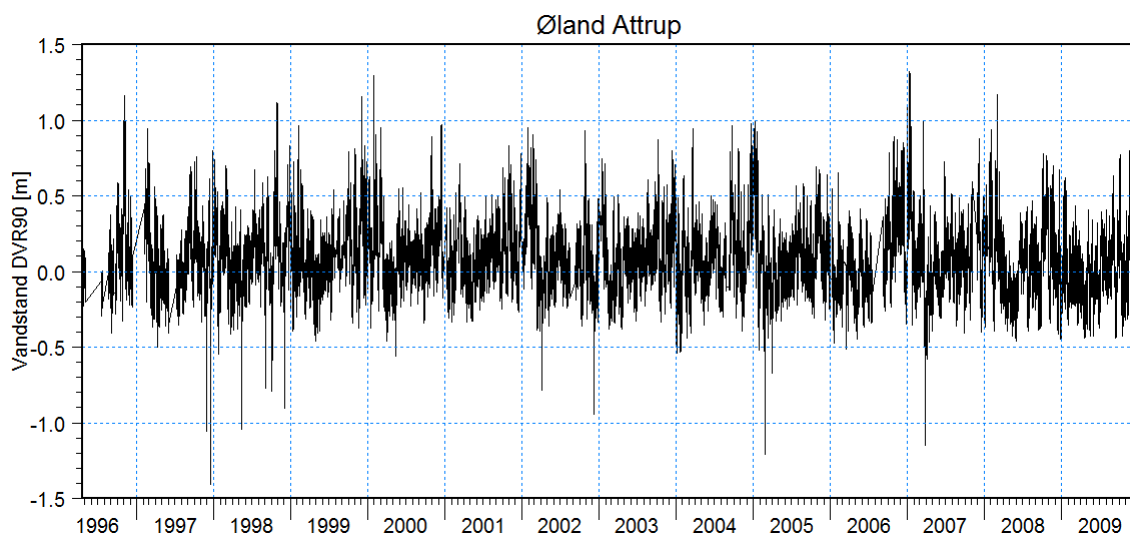
Figur A-15-8 Målte vandstande ved Rønbjerg i perioden 2001-2010.



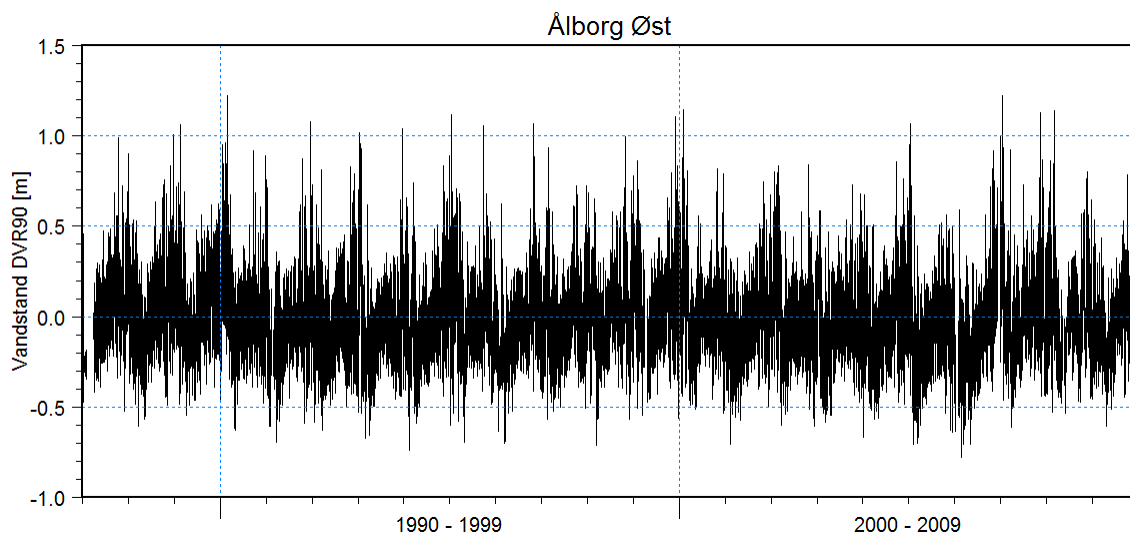
Figur A-15-9 Målte vandstande ved Skive i perioden 2000-2010.



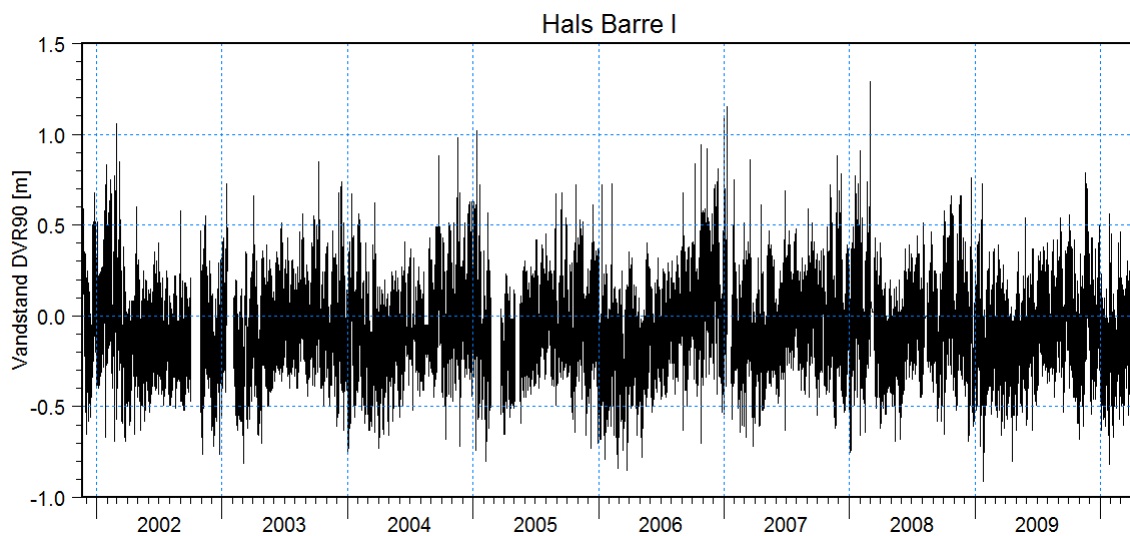
Figur A-15-10 Målte vandstande ved Thisted i perioden 2001-2010.



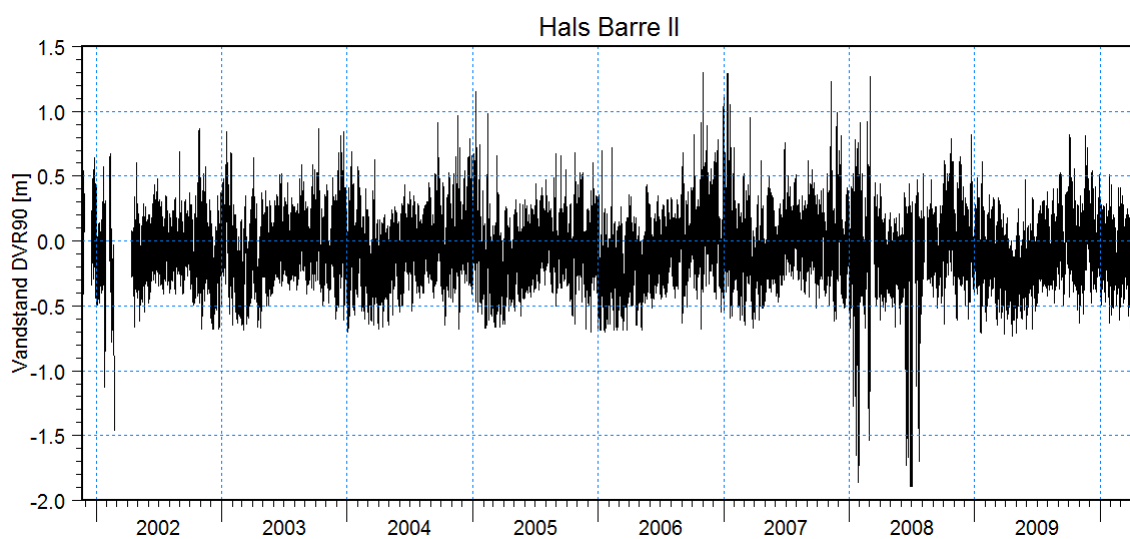
Figur A-15-11 Målte vandstande ved Øland Attrup i perioden 1996-2009.



Figur A-15-12 Målte vandstande ved Ålborg Øst i perioden 1987-2009.



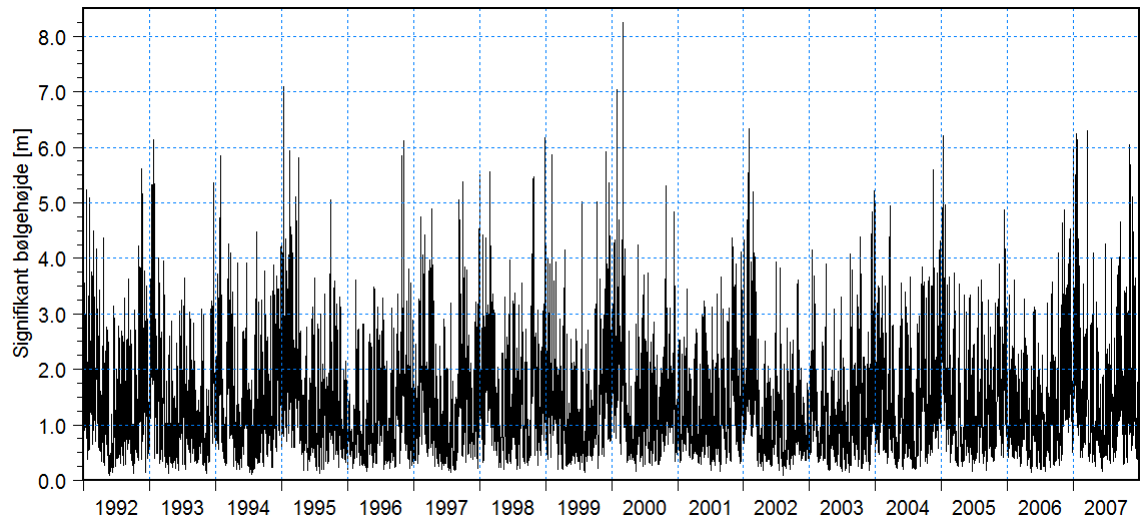
Figur A-15-13 Målte vandstande ved Hals Barre Fyr I, i perioden 2001-2010.



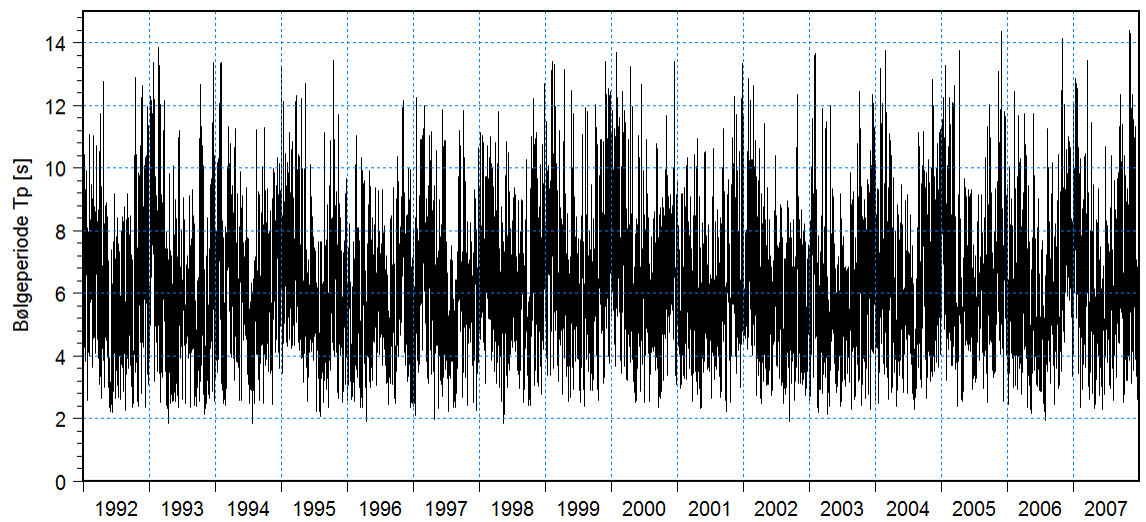
Figur A-15-14 Målte vandstande ved Hals Barre Fyr II, i perioden 2001-2010. Bemærk der er markante fejlmålinger i 2002 og 2008.

B I L A G B

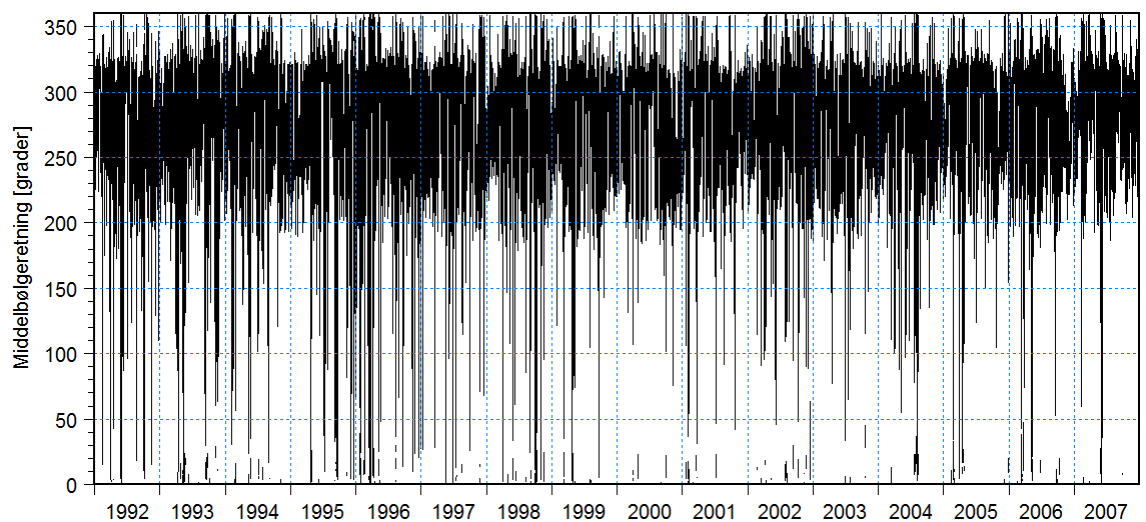
Bølgedata



Figur B-15-15 Målte og modellerede bølgehøjder ved Fjaltring.



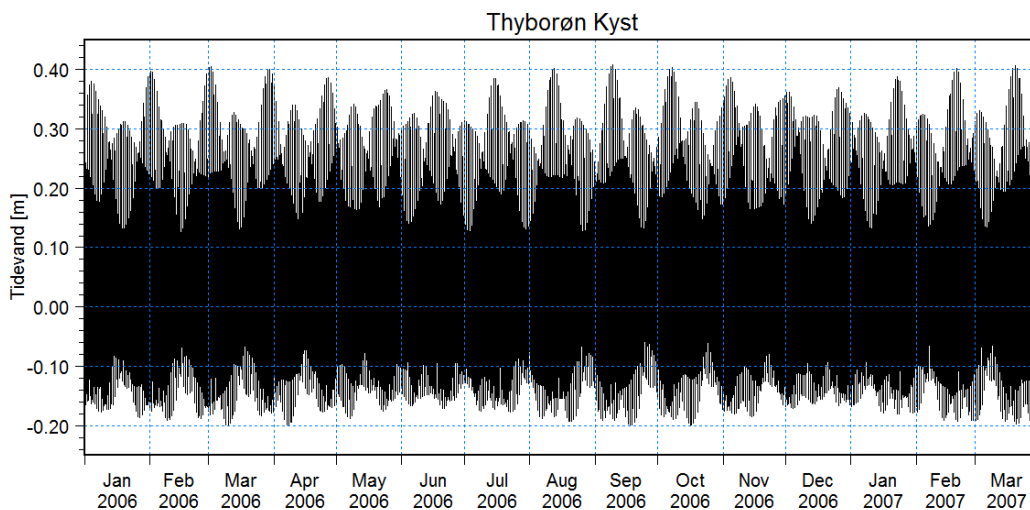
Figur B-15-16 Målte og modellerede bølgeperioder T_p ved Fjaltring.



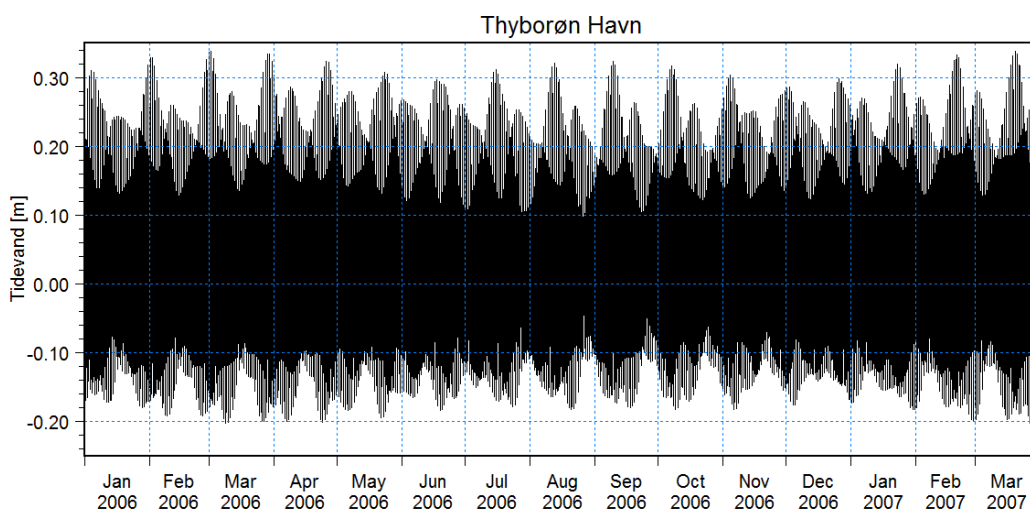
Figur B-15-17 Målte og modellerede middelbølgeretninger ved Fjaltring.

B I L A G C

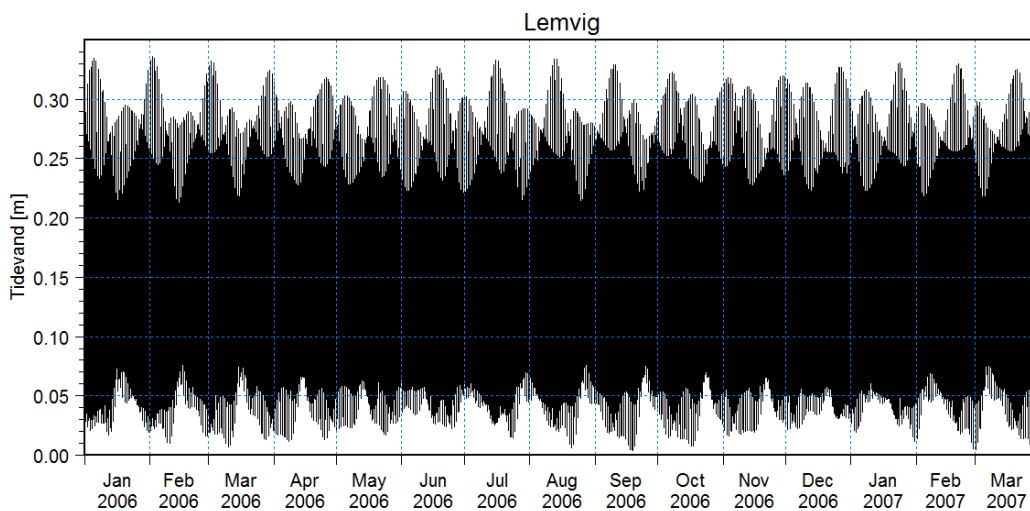
Tidevandsdata



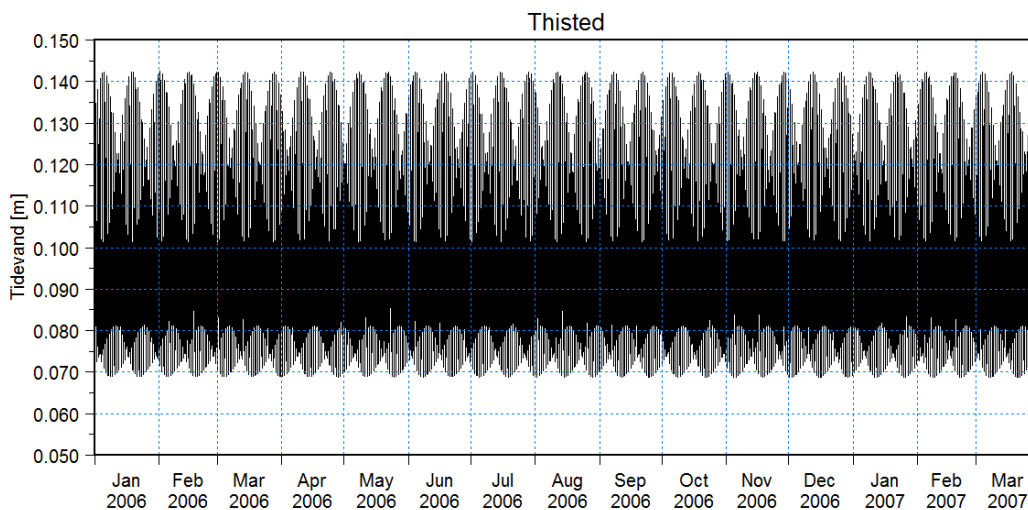
Figur C-15-18 Konstituentberegnet tidevand for Thyborøn Kyst i perioden januar 2006 til og med marts 2007.



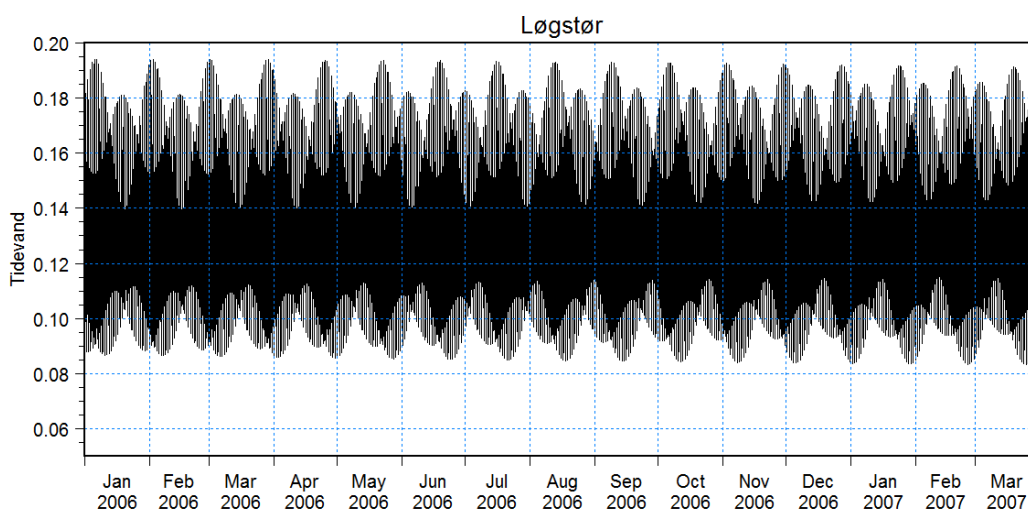
Figur C-15-19 Konstituentberegnet tidevand for Thyborøn Havn i perioden januar 2006 til og med marts 2007.



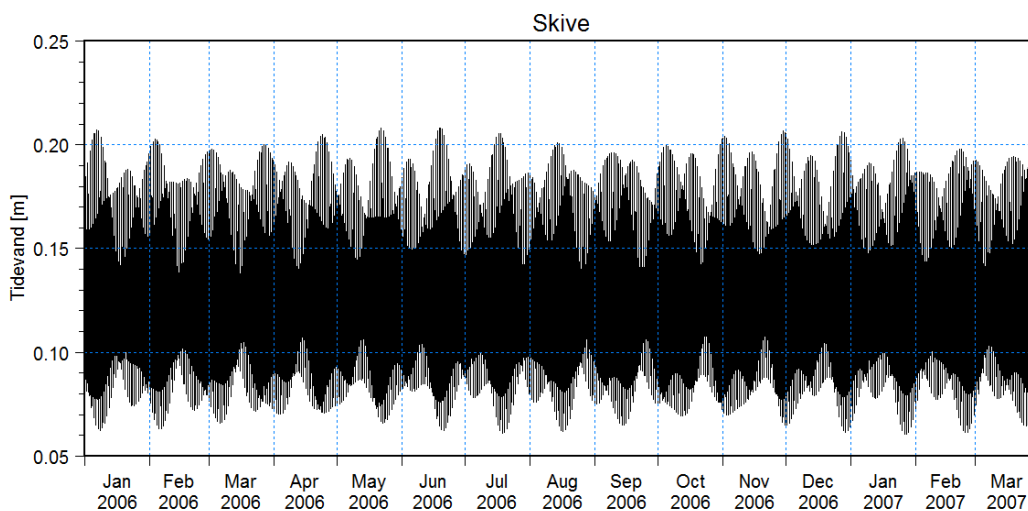
Figur C-15-20 Konstituentberegnet tidevand for Lemvig i perioden januar 2006 til og med marts 2007.



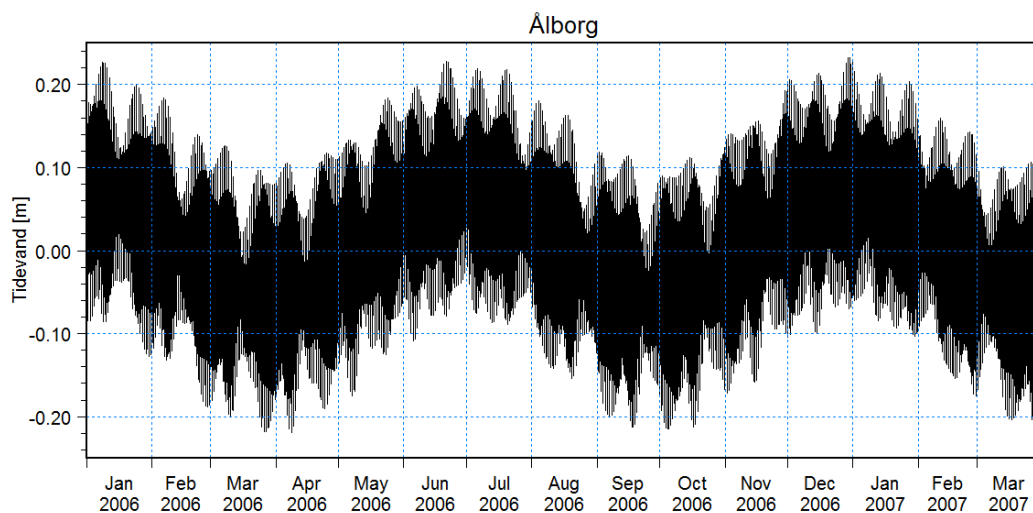
Figur C-15-21 Konstituentberegnet tidevand for Thisted i perioden januar 2006 til og med marts 2007.



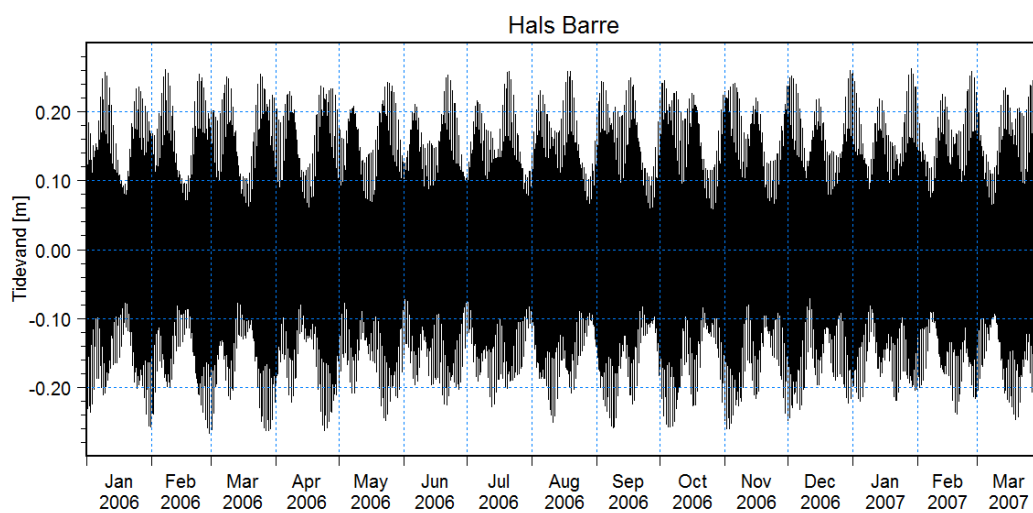
Figur C-15-22 Konstituentberegnet tidevand for Løgstør i perioden januar 2006 til og med marts 2007.



Figur C-15-23 Konstituentberegnet tidevand for Skive i perioden januar 2006 til og med marts 2007.



Figur C-15-24 Konstituentberegnet tidevand for Ålborg Øst i perioden januar 2006 til og med marts 2007.



Figur C-15-25 Konstituentberegnet tidevand for Hals Barre i perioden januar 2006 til og med marts 2007.