

**DANMARKS METEOROLOGISKE
INSTITUT**

— TEKNISK RAPPORT —

01-07

**Opsætning og kalibrering af Mike21
til stormflodsvarsling for Limfjorden**

Jesper Larsen og Jacob Woge Nielsen



København 2001

ISSN 0906-897X (trykt)
ISSN 1399-1388 (online)

Indhold

1	Indledning	2
2	Opsætning	3
2.1	Bathymetri	3
2.2	Modelparametre	3
2.3	Vindforcering	4
2.4	Vandstandsforcering	4
2.5	Afstrømning fra land	4
3	Kalibrering	6
3.1	Rumlig opløsning	6
3.2	Tidsskridt	7
3.3	Bundfriktion	7
3.4	Lateral friktion	7
4	Analyse	9
4.1	Forcering	9
4.2	Harmonisk analyse	9
4.3	Statistisk analyse	10
5	Konklusion	11
6	Appendix: Oversigt over modelparametre	12

1 Indledning

Limfjorden er med et overfladeareal på ca. 1500 km² og en længde på 150-200 km Danmarks største fjordområde. Limfjorden står i forbindelse med Nordsøen i vest ved Thyborøn, og med Kattegat i øst ved Hals. Fjordens vestlige del består af store lavvandede områder (bredninger) og adskillige øer adskilt af sund, mens den østlige del, fra Aggersund til Hals, består af en lang snæver sejlrende. I sundene når dybden op på 18-22 m, med en maksimaldybde på 28 m i Oddesund. I bredningerne ligger dybden typisk på 5-8 m.

Med henblik på at varsle højvande i Limfjorden er den barotrope strømningsmodel Mike21 (udviklet af Dansk Hydraulisk Institut) sat op og kalibreret mod to vandstandsstationer i området. I kalibreringsperioden august-november 2000 er modellen forceret med observeret vandstand og vind fra udvalgte stationer.

I den fremtidige operationelle opsætning vil modellen i stedet blive drevet med HIRLAM-prognoser for vind og tryk samt prognoser for vandstand ved fjordens ender. Vandstandsprognoserne beregnes med DMIs operationelle stormflodssystem DKSS98, der ligeledes er baseret på Mike21.

Der bliver således tale om et 'fjordmodul' som køres som et appendix til DKSS98.

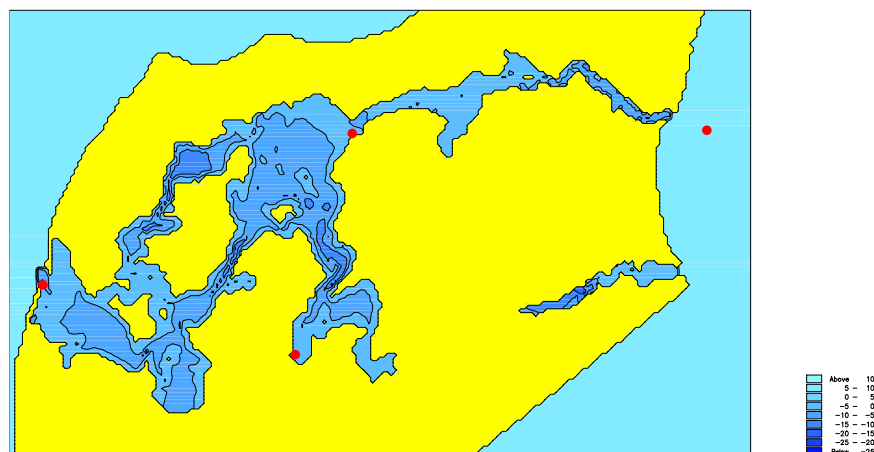
I det følgende beskrives først modelopsætningen, derefter beskrives kalibreringsarbejdet, og modelresultaterne analyseres. Der slutes af med en konklusion, samt et appendix indeholdende en samlet oversigt over valg af modelparametre.

2 Opsætning

2.1 Bathymetri

Bathymetrien er baseret på digitaliserede dybdemålinger samt information om kystliniens beliggenhed. Dybde data er venligst stillet til rådighed af Farvandsvæsenet i et 200x200 m gitter, der dækker det meste af fjordområdet. Kystlinier for Nordjyllands, Ringkøbing og Viborg amter er indhentet fra Kort- og Matrikelstyrelsen (1:25.000, 1988, 10 m nøjagtighed). Herudfra er griddet to bathymetrier med hhv. 250 m og 750 m gitterafstand (vist på fig. 1). Hertil er anvendt programmet fra DHI. Lokalt ved de to fjordmundinger er dybderne efterjusteret af modeltekniske hensyn til forceringen ved modellens åbne rande.

Det endelige valg af gitterafstand baseres på en afvejning af kravet til modelresultaternes nøjagtighed mod de tilgængelige regneressourcer.



Figur 1. Limfjordens bathymetri i 750 m gitterafstand har ca. 3585 vandpunkter. Vandstandsmålerne i Thyborøn, ved Hals Barre Fyr, og ved Løgstør og Skive i Limfjorden er angivet ved røde prikker.

2.2 Modelparametre

Som udgangspunkt for kalibreringen er modelparametrene enten sat til samme værdier som anvendes i stormflodssystemet DKSS98 Ver2.0 [2], eller som anbefalet af DHI [1]. Modellen indeholder en *flooding/drying* algoritme, hvorved meget lavvandede områder kan skiftevis udtørres og oversvømmes. Udtørring sker i Limfjordsmodellen i et gitterpunkt når vandstanden kommer under 20 cm, og oversvømmelse når vandstanden stiger til mere end 30 cm.

Under kalibreringen er følgende modelparametre justeret:

- rumlig opløsning
- tidslig opløsning
- bundfriktion
- lateral friktion

2.3 Vindforcering

Der anvendes vindobservationer fra synop-station 06052 Thyborøn. Det antages at vinden er konstant over hele modelområdet. Vinden er målt 33 meter over havniveau.

2.4 Vandstandsforcering

Modellen forceres både ved den vestlige og østlige munding af Limfjorden, altså med vandstanden i hhv. Nordsøen og Kattegat, repræsenteret ved Thyborøn og Hals. Ved Thyborøn findes to vandstandsmålere: 24006 Thyborøn Kyst og 24007 Thyborøn Havn. Kyststationen ligger i Nordsøen, mens havnemåleren ligger inde i fjorden, hvorfor registreringerne fra de to målere kan afvige kraftigt fra hinanden. Til kalibrering er anvendt målinger fra kyststationen, da modellen til senere operationel brug skal drives med prognoser for vandstanden i Nordsøen.

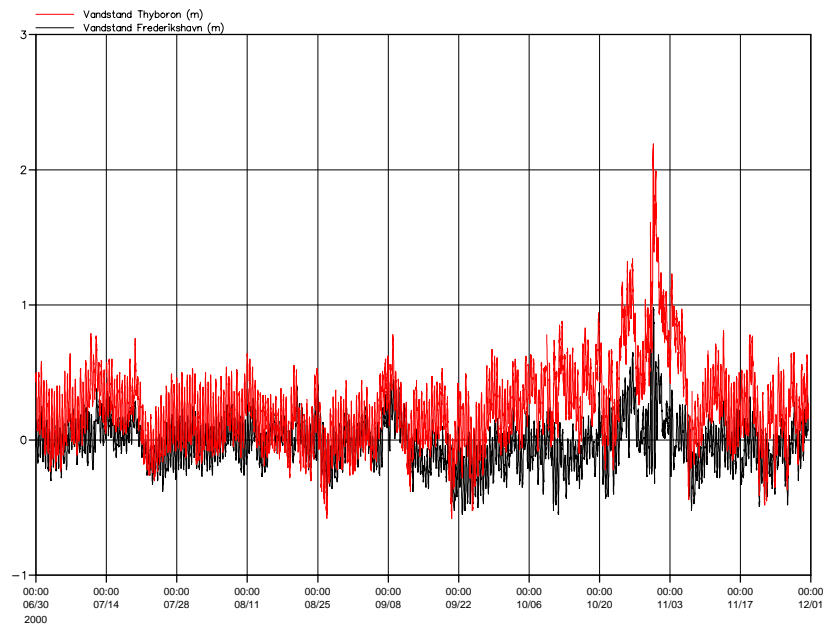
Som proxy for vandstand ved Ålborg Havns måler ved Hals Barre er for enkelheds skyld benyttet data fra DMIs måler 20101 Frederikshavn. Det demonstreres i det følgende at denne forskel ikke er af nævneværdig betydning.

De anvendte vandstande er vist på figur 2. Der har været en enkelt episode med højvande omkring 1. november 2000, hvor vandstanden i Thyborøn nåede op over 2 m.

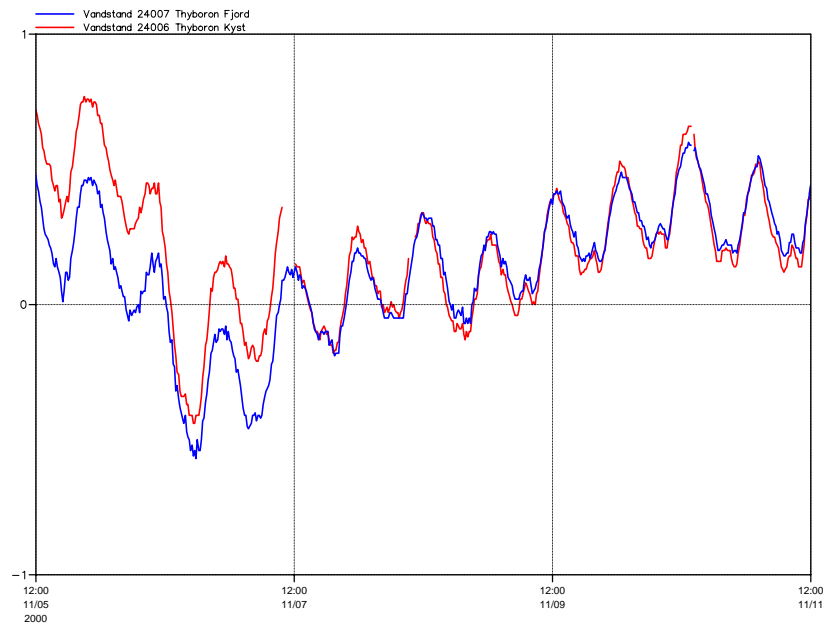
Det bemærkes at nulpunktet for Thyborøn Kyst er justeret flere gange i løbet af kalibreringsperioden (fig. 3). Dette fører til nulpunktsfejl i den beregnede vandstand.

2.5 Afstrømning fra land

Modellen medtager ingen afstrømning fra land. Den årlige afstrømningen svarer til godt 1/3 af fjordens vandvolumen, men antages ikke at betyde væsentligt for vandstanden i fjorden.



Figur 2. Observeret vandstand ved Thyborøn Kyst (rød) og Frederikshavn (sort) i hele kalibreringsperioden aug-nov 2000.



Figur 3. Observeret vandstand i 2. uge af november 2000 ved Thyborøn Havn (rød) og Kyst (blå). Kystmåleren er flyttet ca. 20 cm vertikalt den 7. november.

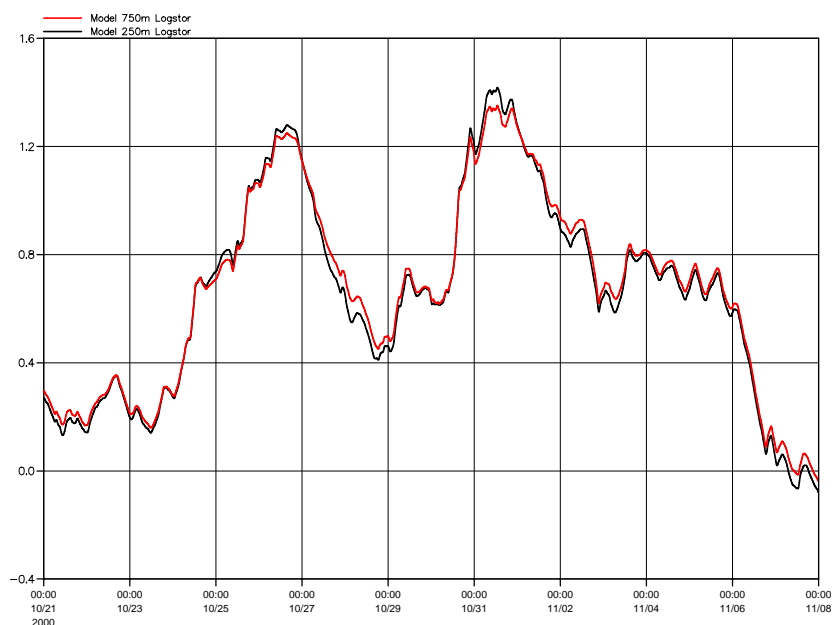
3 Kalibrering

I den vestlige del af Limfjorden benyttes målestationerne i Skive og Løgstør (angivet på fig. 1) til validering af modellen. Målerne drives af Nordjyllands Amt, og DMI har modtaget data fra begge stationer siden sommeren 2000. I Limfjordens østlige del kalibreres modellen ikke pga. manglende data.

Kalibreringsresultaterne for hhv. Skive og Løgstør viste sig at stemme godt overens, hvorfor der i diskussionen nedenfor primært præsenteres resultater for Løgstør. Der er fokuseret specielt på perioden omkring 1. november 2000, hvor den højeste vandstand i kalibreringsperioden blev registreret.

3.1 Rumlig opløsning

Betydningen af den rumlige opløsning er analyseret ved at sammenligne to kørsler med opløsning på hhv. 250 og 750 meter. Mens maksimaldybden H_{max} i bathymetrien med høj opløsning er godt 27 m - hvilket svarer til dybden i Oddesund - er H_{max} i 750 m bathymetrien reduceret til 20.4 m som en følge af interpolation og sampling i Farvandsvæsenets dybde data. Et udsnit af resultaterne af disse kørsler er vist på figur 4. Forskellen på de to kørsler er så lille at der kun kan opnås marginale forbedringer ved at reducere gitterafstanden til 250 m - hvorimod regnetiden øges mindst med en faktor 9. I det følgende anvendes 750 m gitterafstand.



Figur 4. Højvande ved Løgstør beregnet med hhv. 750 m og 250 m gitterafstand i modellen.

3.2 Tidsskridt

Mike21 er numerisk stabil ved alle tidsskridt, men beregningerne bliver mere præcise jo kortere tidsskridt man anvender. DHI anbefaler et tidsskridt der giver et maksimalt Couranttal $C = \delta t \sqrt{gH_{max}} / \delta x$ på ca. 5, i snævre kanaler med kraftigt tidevand dog ikke over 1.

Modellen er kørt med tidsskridt varierende fra 30 til 720 sekunder. Selv ved et tidsskridt på 720 sekunder viste modellen kun ubetydelige afvigelser fra modelkørsler med mindre tidsskridt (ikke vist). Af hensyn til synkroniseringen med DKSS98 og med vandstandsmålerne er valgt et tidsskridt på 300 sekunder, svarende til et maksimalt Couranttal på 5.7.

3.3 Bundfriktion

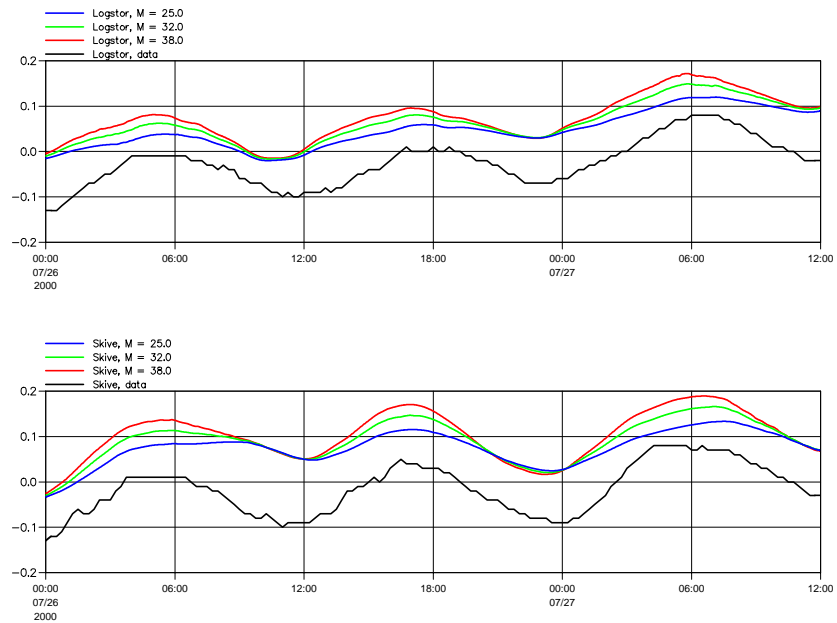
Bundfriktionen beskrives analogt til rørhydraulik ved et Manning tal, hvorved friktionen tillægges en svag dybdeafhængighed [1]. Der anvendes konstant Manningtal over hele modelområdet.

Modellen køres med Manningtal på 25, 32 og 38, og sammenlignes med den observerede vandstand dels i en rolig sommerperiode til beskrivelse af tidevandet, og dels i en periode med vestenstorm.

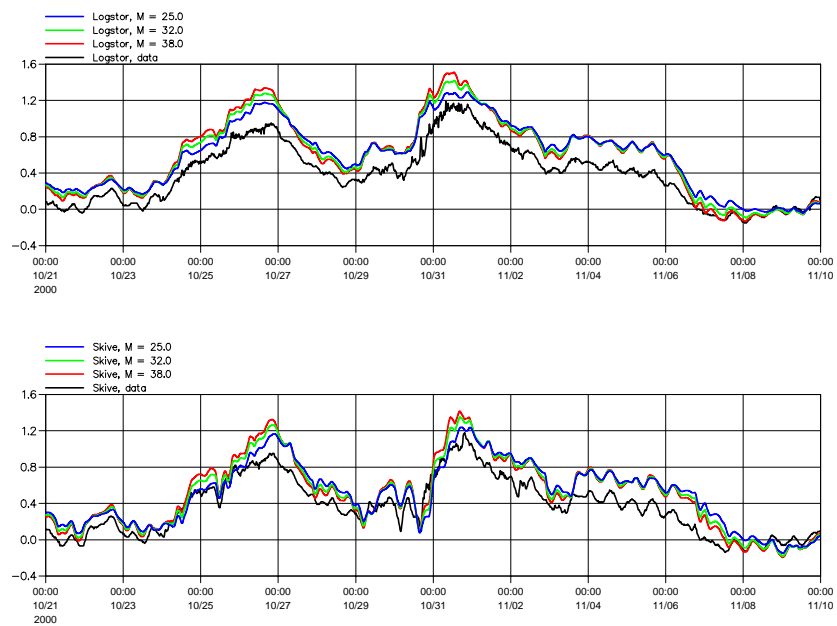
Resultaterne for sommerperioden er vist i fig. 5. Figuren indikerer, at bortset fra en nulpunktsforskel giver et Manningtal på 38 en god beskrivelse af tidevandet, både hvad angår fase og amplitude. Ved at undersøge stormperioden (fig. 6) ses dog, at et så højt Manningtal (og dermed lav bundfriktion) giver for store maxima i vandstanden. Ud fra denne analyse vælges et Manningtal på 35.

3.4 Lateral friktion

Den laterale friktion er givet ved en Smagorinsky-formulering, hvor eddy koefficienten beregnes som en funktion af den laterale shear i 2 dimensioner. Den høje rumlige opløsning i modellen har muliggjort en lav eddy-viskositet. To kørsler med henholdsvis en Smagorinsky-faktor på 0.1 og 0.05 blev sammenlignet. Det var ikke muligt at se forskel på prognoserne fra de to kørsler. Værdien blev efterfølgende sat til 0.1 af stabilitetshensyn.



Figur 5. Udsnit af kørsler med Manning-tal på henholdsvis 25, 32 og 38. Øverst: Løgstør, nederst: Skive

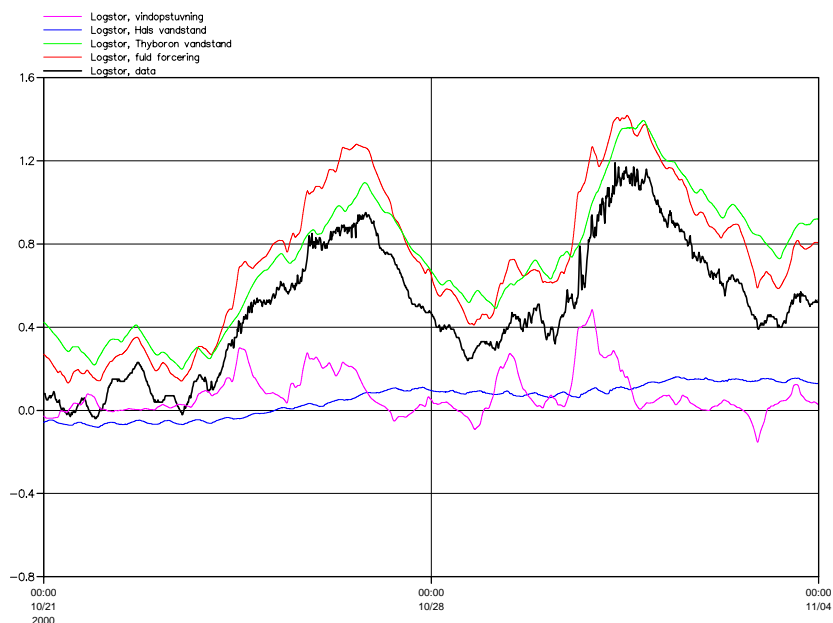


Figur 6. Udsnit af kørsler med Manning-tal på henholdsvis 25, 32 og 38. Øverst: Skive, nederst: Løgstør

4 Analyse

4.1 Forcering

For at undersøge den relative betydning af de forskellige typer forcering (vind over Limfjorden, vandstand i Nordsøen, vandstand i Kattegat) er modellen kørt dels med de tre drivkræfter samlet og dels hver for sig. Disse kørsler er for højvandet omkring 1. november sammenlignet med den målte vandstand i Løgstør og i Skive (figur 7).



Figur 7. Observeret og beregnet vandstand ved Løgstør.

Det vigtigste bidrag til ændringer i vandstanden kommer fra Thyborøn mens vindforceringen spiller en mindre, men dog ikke uvæsentlig rolle. Vandstanden i Kattegat repræsenteret ved Frederikshavn har stort set ingen indflydelse på den vestlige del af Limfjorden.

4.2 Harmonisk analyse

Observeret og beregnet vandstand i Løgstør analyseres for tidevand med DHI programmet, og faser og amplituder sammenlignes. Idet vandstandsmåleren i Thyborøn er blevet justeret flere gange i løbet af efteråret 2000 er analysen kun udført for en relativt kort, rolig periode (1. juli til 1. august). Den eneste tidekonstituent af betydning er M_2 . Resultatet ses i tabellen herunder. Tidevandet bliver dæmpet for meget og bliver forsinket godt en halv time i modellen. Grunden til dette skal sandsynligvis findes i modellens bundfriktion.

M_2	Obs	Model
Amplitude	4.0 cm	2.6 cm
Fase	291°	273°

4.3 Statistisk analyse

På grund af problemer med nulpunktet i Thyborøn præsenteres her kun statistik fra Løgstør for 3-ugers perioden 17. oktober til 6. november 2000. Denne periode indeholder det kraftigste højvande i kalibreringsperioden.

	Data	Model	Residual
Middel	43.0 cm	65.2 cm	-22.2 cm
St.dev	29.2 cm	34.4 cm	7.2 cm

Den beregnede vandstand ligger i denne periode i gennemsnit 22.2 cm over målingerne i Løgstør. Kort efter, 7. november 2000, blev målerens nulpunkt justeret ca. 20 cm ned (se figur 3). Herefter er model og observation i god overensstemmelse. Modellens standardafvigelse for vandstanden i Løgstør er noget for høj, på trods af at tidevandet er for svagt. Det betyder at modellen har lidt for kraftigt udsving i højvandssituationer. Dette kan muligvis skyldes at den påtrykte vind i Thyborøn er kraftigere end over Limfjorden generelt.

Den forklarede varians i denne 3-ugers periode er 93.9%.

5 Konklusion

Strømningsmodellen Mike21 er sat op for Limfjorden. Det er demonstreret at ved at drive modellen med observeret vandstand ved Thyborøn Kyst samt i Frederikshavn, samt vind fra synopstationen i Thyborøn, opnås en meget høj nøjagtighed af beregnet vandstand i Limfjordens centrale dele, repræsenteret ved Løgstør og Skive. Modellen er ikke valideret i sejlrenden øst for Aggersund pga. mangel på data. Der er visse problemer med datakvaliteten fra Thyborøn Kyst, idet måleren skifter nulpunkt med ujævne intervaller. Dette resulterer i en varierende nulpunktsforskel mellem observeret og beregnet vandstand ved Limfjordsstationerne.

Analysen af den relative vigtighed af de forskellige drivkræfter har vist, at vandstanden i den vestlige del af Limfjorden primært er bestemt af vandstanden i Thyborøn. Vindfeltet over selve Limfjorden spiller en mindre rolle, og vandstanden i Kattegat har næsten ingen betydning.

I en prognosesituation betyder det, at under forudsætning af at DMIs vandstandsprognoser for Thyborøn Kyst er gode, vil systemet kunne bruges til at varsle forhøjet vandstand i Limfjordens vestlige del. Problemet med nulpunktsflytning ved måleren ophører da med at være relevant.

Endvidere vil der blive anvendt Hirlam prognoser for vind og tryk, gældende for hele Limfjordsområdet.

Systemet forventes taget i brug ved begyndelsen af stormflodssæsonen 2001/02.

6 Appendix: Oversigt over modelparametre

Rumlig opløsning	750 m
Tidsskridt	300 s
Bundfriktion	M=35
Lateral friktion	C=0.1
Flooding dybde	0.3 m
Drying dybde	0.2 m

Litteratur

- [1] DHI. *MIKE 21. User Guide and Reference Manual, Release 2.7*. Dansk Hydraulisk Institut, Hørsholm, Danmark, 1998.
- [2] Jacob Woge Nielsen. *DMIs operationelle stormflodvarslingssystem. Version 2.0*. Teknisk rapport 01-02, DMI, 2001.