

## Skuvoyar Havn, Færøerne

### Hydrauliske modelforsøg



# Skuvoyar Havn, Færøerne

## Hydrauliske modelforsøg

March 2005

Agern Allé 5  
2970 Hørsholm

Tlf: 4516 9200  
Fax: 4516 9292  
E-mail: dhi@dhi.dk  
Web: www.dhi.dk

Klient  Landsverk, Færøerne	Klientens repræsentant  Ing Ewald Kjølbro
-----------------------------------	---

Projekt  Skuvoyar Havn, Færøerne	Projekt nr.  04-53043
--	-----------------------------

Forfattere  Mogens Hebsgaard	Dato  10. marts 2005
	Godkendt af  Jesper Fuchs Afdelingsleder, PSD

Revision	Beskrivelse	Udført	Kontrolleret	Godkendt	Dato
1	Revision 1	MHE	JUF	JUF	10.03.05
0	Endelig rapport	MHE	JUF	JUF	24.02.05

Nøgleord  Skuvoyar Harbour, Faroe Islands Hydrographic conditions Wave disturbance tests Breakwater stability tests	Klassifikation  <input type="checkbox"/> Åben <input type="checkbox"/> Intern <input checked="" type="checkbox"/> Tilhører klienten
--	---

Distribution  Landsverk: DHI:	Ing Ewald Kjølbro MHE - Arkiv	Antal kopier
		3+PDF 3+PDF



## INDHOLDSFORTEGNELSE

1	INDLEDNING.....	1
2	RESUMÉ OG KONKLUSION .....	2
2.1	Beliggenhed.....	2
2.2	Hydrografiske forhold.....	3
2.3	Uroforsøg.....	4
2.3.1	Modelbygning .....	4
2.3.2	Forsøgsprogram .....	4
2.3.3	Forsøgsresultater.....	6
2.4	Stabilitetsforsøg.....	9
2.4.1	Forsøgsprogram .....	9
2.4.2	Resultater af forsøg med Profil 1 .....	10
2.4.3	Resultater af forsøg med Profil 2 .....	10
2.4.4	Konklusion på forsøg med stenkastnings-moleprofil .....	11
2.4.5	Resultater af forsøg med vertikalmole .....	11
3	HYDROGRAFISKE FORHOLD .....	12
3.1	Bølge-, strøm og vandstandsforhold.....	12
4	FYSISK MODEL .....	15
4.1	Bathymetri og havn.....	15
4.2	Modellen .....	15
4.3	Bølgegenerering .....	15
4.4	Målinger i modellen.....	15
4.5	Præsentation af resultater .....	16
5	FORSØGSPROGRAM .....	17
6	FORSØGSRESULTATER .....	23
6.1	Resultater, Etape 1 .....	23
6.2	Resultater, Etape 2 .....	29
6.2.1	Resultater - Etape 2a.....	29
6.2.2	Resultater - Etape 2b.....	32
6.3	Resultater, Etape 3.....	35
6.4	Konklusion på uroforsøgene.....	46
7	STABILITETSFORSØG.....	47
7.1	Konstruktion af modellen .....	47
7.1.1	Modellov .....	47
7.1.2	Bølgegenerering, målinger og analyser.....	48
7.2	Modelforsøg, Profil 1.....	49
7.2.1	Forsøgssektioner .....	49
7.2.2	Specifikation af stenmateriale.....	49
7.2.3	Forsøgsprogram .....	50
7.2.4	Resultater .....	50
7.2.5	Konklusion .....	54



7.3	Modelforsøg, Profil 2.....	54
7.3.1	Forsøgssektioner .....	55
7.3.2	Specifikation af stenmateriale .....	55
7.3.3	Forsøgsprogram .....	55
7.3.4	Resultater .....	56
7.4	Modelforsøg, Profil 3.....	58
7.4.1	Forsøgsprogram .....	59
7.4.2	Resultater .....	59
8	REFERENCER .....	62

## **TEGNING**

## **BILAG**

- A Resultater fra stabilitetsforsøg med stenkastningsmole, Profil 1
- B Resultater fra stabilitetsforsøg med stenkastningsmole, Profil 2
- C Resultater fra stabilitetsforsøg med vertikalmole, Profil 3



## **1 INDLEDNING**

Nærværende rapport omhandler hydrauliske undersøgelser, som er udført i forbindelse med en planlagt ombygning af havnen på Skuvoy.

Undersøgelsen er udført for Landsverk i perioden december 2004 - januar 2005.

Undersøgelserne omfatter hydrauliske modelforsøg af en række alternative forslag til en havneudformning, som kan give en væsentlig reduktion af bølgeuroen. Endvidere er der udført stabilitetsforsøg til bestemmelse af udformningen af de nye dækværker, som måtte være nødvendige for at skabe tilstrækkelig ro i havnen.

Bølgeforholdene ved Skuvoyar Havn er vurderet på grundlag af målinger dels i havnen, dels uden for havnen. Målingerne blev foretaget i perioden fra juni 2003 til maj 2004. Resultaterne er rapporteret i /1/.

Repræsentanter fra Landsverk og fra Skuvoy Kommune fulgte en del af optimeringsforsøgene med de nye foreslåede havneudformninger.

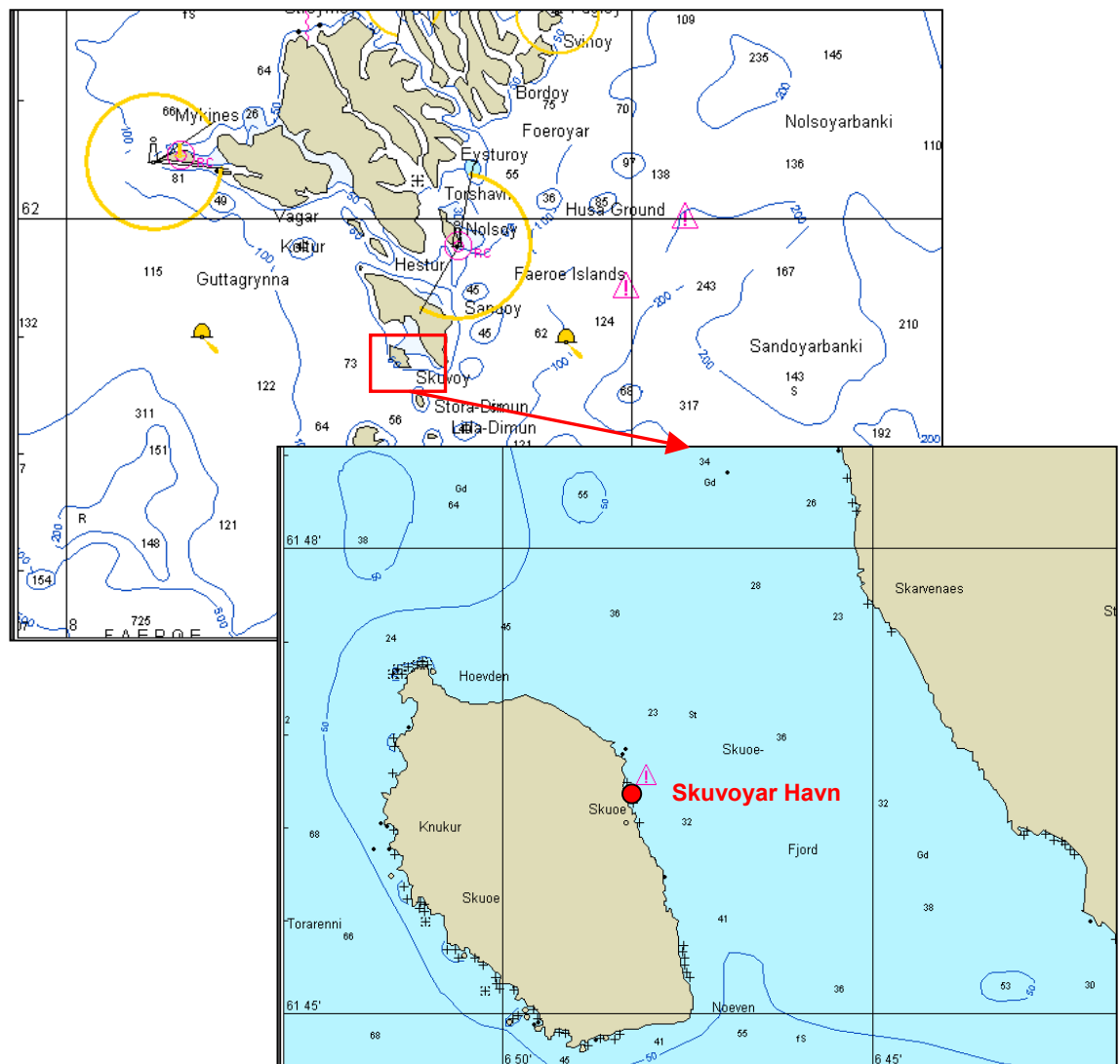


## 2 RESUMÉ OG KONKLUSION

### 2.1 Beliggenhed

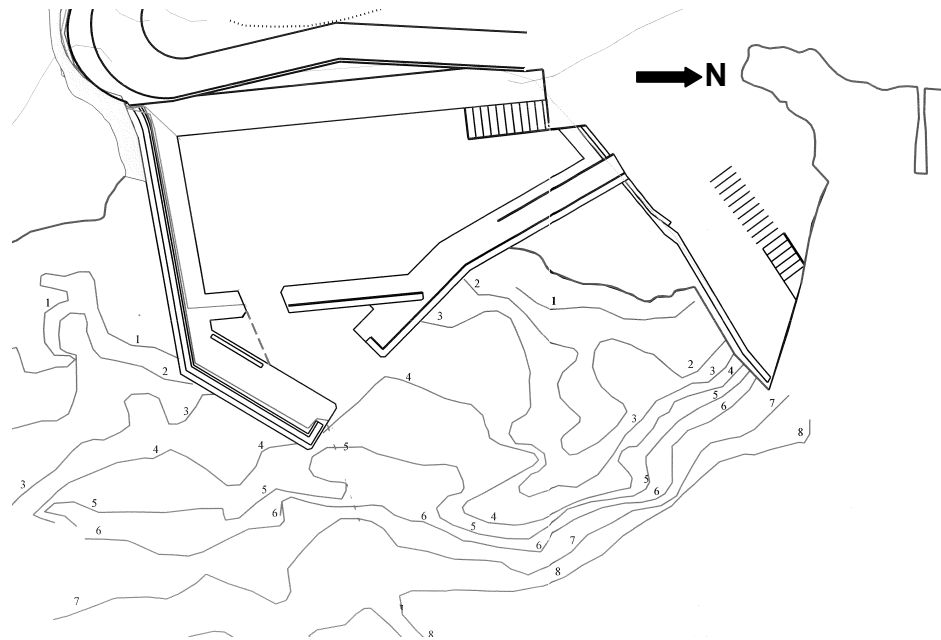
Skuvoyar Havn ligger på Østkysten af Skuvoy, og den er med sin beliggenhed beskyttet mod direkte indkommende bølger fra vestlige retninger.

Beliggenheden er vist på figur 2.1.



Figur 2.1 Beliggenhed af Skuvoyar Havn

Havnen er i dag bygget med vertikale moler med indsejling mod nordøst. Indsejlingsbredden mellem ydermolerne er ca. 11m (se figur 2.2). Efter passage af ydermolerne er der en meget lille forhavn, som er begrænset af ydermolerne og to indermoler. Indsejlingsbredden mellem de to indermoler er ca. 7m. I dag er der ofte store problemer dels under anløb af havnen, dels under ophold i havnen som følge af bølgeforholdene.



Figur 2.2 Planskitse af den eksisterende havn

## 2.2 Hydrografiske forhold

### Bølgeforhold

Havnen er udsat for tidevandsstrøm i fjorden, for betydelige vandstandsvariationer som følge af tidevandet og for bølger, som dels er genereret lokalt i fjorden, dels er dybvandsbølger, som forplanter sig ind i fjorden under påvirkning af diffraktion, refraction og refleksion. Det vurderes, at det er bølger fra dybt vand, der er den væsentligste årsag til uroproblemer i havnen.

Analyser og vurderinger af resultaterne af bølgemålingerne (/1/) resulterede i de i tabel 2.1 viste sammenhænge mellem overskridelsessandsynligheder og bølgehøjder.

Tabel 2.1 Uddrag af bølgestatistik ved Skuvoy Havn (fra /1/)

Overskridelseshyppighed		$H_{m0, Skuvoy}$ (m)
%	timer/år	
10	870	1,3
1	87	2,6
0,1	9	3,5
0,01	0,9	4,3

Den dimensionsgivende bølgehøjde for de nye molekonstruktioner blev fundet ved at korrigere bølgestatistikken for måleperioden med hensyn til langtidsstatistikken for Vest måler positionen. Dette resulterer i en dimensionsgivende bølgehøjde på  $H_{m0}=5-5,5m$  udfor havnen.



### **Strømforhold**

Bølgeforholdene uden for havnen blev målt med end ADCP måler, som samtidig måler strømforholdene. Maksimale strømhastigheder på målestedet var typisk omkring 0,4m/s (sydlig retning) og omkring 0,6m/s (nordlig retning) i perioden fra juni til november 2003.

### **Vandstandsforhold**

Vandstandsvariationerne blev ligeledes målt med ADCP måleren. Forskellen mellem den højeste og laveste vandstand blev målt til ca. 1,9m. Af målingerne fremgik, at middel vanddybden ved måleren var 8,5m. Det højeste målte højvande var +0,95m i forhold til middel, mens det laveste målte lavvande var -0,95m i forhold til middel.

## **2.3 Uroforsøg**

### **2.3.1 Modelbygning**

For at undersøge uroen såvel i den nuværende som i den fremtidige havn, blev der opbygget en fysisk skalamodel af kysten og havbunden ved Skuvoyar Havn og af den eksisterende havn. De foreslåede alternativer til de nye dækværker blev bygget ind i modellen, og uroen i havnen blev undersøgt ved at måle bølgeuroen i havnen som funktion af de indkommende bølger.

### **2.3.2 Forsøgsprogram**

Forsøgsprogrammet var inddelt i følgende etaper:

- **Etape 1: Forsøg med den eksisterende havn**  
Forsøgene med den eksisterende havn blev udført med 4 bølgeretninger (NE, E, ESE og SE), bølgeperioder i intervallet  $T_p=8-15s$  og bølgehøjder i intervallet  $H_{m0}=1-4m$ .
- **Etape 2: Optimeringsforsøg**  
Forsøgene i Etape 2 blev udført i to underetaper, hvor havneudvidelsen/forbedring af havnen foregik for henholdsvis en ny mole øst for havnen, med molen gående ud fra det tidligere kajområde nord for havnen (ny Nordmole, Etape 2a), og for en ny mole syd for havnen, med molen gående ud fra den eksisterende sydmole (ny Syd-mole, Etape 2b).

Forsøgene i Etape 2 blev alle gennemført med bølgeretning ESE og bølgehøjder i intervallet  $H_{m0}=1-4m$  og en bølgeperiode på  $T_p=12s$ .





### ***Etape 2a: Forsøg med udformninger af ny Nordmole***

Følgende udformninger 1-11 blev undersøgt. Alle udformninger er vist på figurer i afsnit 5.

1. Udformning med 70m lang stenkastningsmole
2. Udformning med 100m lang stenkastningsmole
3. Udformning med 100m lang vertikalmole, uddybning til -5m mellem vertikal-molen og den eksisterende nordmole
4. Som Udformning 3, men med 25m lang tværmole fra molehovedet
5. Udformning med 100m lang stenkastningsmole, uddybning til -5m mellem denne stenkastningsmole og den eksisterende nordmole
6. Som Udformning 5, men den nordre indermole fjernet
7. Som Udformning 6 med en  $D=12m$  caisson i molehovedet. Dette medfører, at molens længde bliver lidt forøget i forhold til Udformning 5 og 6
8. Som Udformning 7 med stenkastning på sydsiden af den eksisterende sydmole
9. Som Udformning 7, men med den eksisterende sydmole forlænget i en lige linie fra knækket. Der er endvidere en lodret væg fra det eksisterende til det nye molehoved
10. Som Udformning 7, men med en 40m forlængelse af stenkastningsmolen
11. Som Udformning 10, men med en ny sydmole udført som vertikalmole vinkelret på kysten 20m syd for den eksisterende sydmole

### ***Etape 2b: Forsøg med udformninger af ny Sydmole***

Følgende udformninger 12-19 blev undersøgt. Alle udformninger er vist på figurer i afsnit 5.

12. Landsverk forslag -profil 4. Denne udformning er med en ca. 100m lang stenkastningsmole syd for havnen med indsejling til den eksisterende havn gennem den eksisterende sydmole
13. Som Udformning 12, men med en vertikal sekundær mole
14. Som Udformning 13, men med absorberende stenkastning langs kysten
15. Som Udformning 14, men med den sekundære mole flyttet 20m mod syd
16. Som Udformning 15, men med stenkastning på såvel nord- som sydside af den sekundære mole og langs det inderste stykke af sydsiden af den eksisterende sydmole
17. Som Udformning 16 med stenkastning i nordenden (øst for slæbestedet) af den eksisterende havn
18. Som Udformning 15, men med den nye dækmole udført som vertikalmole, som er ca. 100m lang og med en ca. 18m lang tværmole. Begrænsningen af havneindsejlingen defineret som hovedet på tværmolen var den samme som sænkekassen i Udformning 15
19. Som Udformning 18, men med vertikalmolen forlænget med 16m

- ***Etape 3: Forsøg med den endelig foreslåede udformning***

Forsøgene i Etape 3 blev udført med de samme parametre som Etape 1 bortset fra, at forsøg med bølgeretning SE ikke kunne gennemføres, da de valgte endelige udformninger ikke var forudset før bygning af modellen. De valgte udformninger indeholdt en løsning med en ny mole mod syd.



### 2.3.3 Forsøgsresultater

#### Etape 1

Forsøgene med den eksisterende havn (Etape 1) viste, at bølgeuroen var meget stor uanset bølgeretning, -højde og -periode. Bølgehøjdekoefficienten i havnen (bølgehøjden i havnen relativ til den indkommende bølgehøjde) var generelt:

- aftagende med voksende bølgehøjde
- næsten uafhængig af bølgeperioden, bortset fra  $T_p=18s$ , som generelt gav lidt større bølgehøjdekoefficient end de øvrige perioder. Dette skyldes, at havnens egensvingsperiode er ca. 18s
- aftagende når bølgeretningen går fra NE over E til SE

Sammenlignes resultaterne af forsøgene med målinger fra naturen ses det, at modelresultaterne generelt giver en god beskrivelse af forholdene i naturen. For små bølgehøjder målt i modellen bølgehøjdekoefficienter, som lå i den øvre ende af intervallet, som blev målt i naturen, tabel 2.2.

Tabel 2.2 Bølgehøjdekoefficienter  $H_{m0,havn}/H_{m0,indk}$  målt i natur og model

$H_{m0,indk}$ (m)	Bølgeretning NE		Bølgeretning E		Bølgeretning SE	
	Natur	Model	Natur	Model	Natur	Model
1	1-1,6	~1,8	0,8 -1,4	~1,4	0,8 - 1,3	~1,2
2	~1,3*	~1,3	0,8 - 1,0	~1,1	0,8 - 0,9 *	~0,9

\*) Baseret på kun få målinger i naturen

#### Etape 2

Bølgeuroforsøgene i Etape 2 blev gennemført med 2 principielt forskellige udformninger, dels udformninger med en ny nordmole udgående fra det eksisterende kajområde nord for havnen (Etape 2a, udformning 1-11), dels udformninger med en ny sydmole udgående fra den eksisterende sydmole (Etape 2b, udformning 12-17).

Forsøgene i Etape 2a viste, at:

- en 100m lang stenkastningsmole giver en reduktion af uroen i havnen på op til ca. 50%
- en ny 140m lang nordmole kombineret med en kort sydmole vil give en reduktion af uroen i havnen på op til 80%
- en 100m lang vertikalmole kun giver en marginal forbedring af uroforholdene inde i havnen

Forsøgene i Etape 2b viste, at:

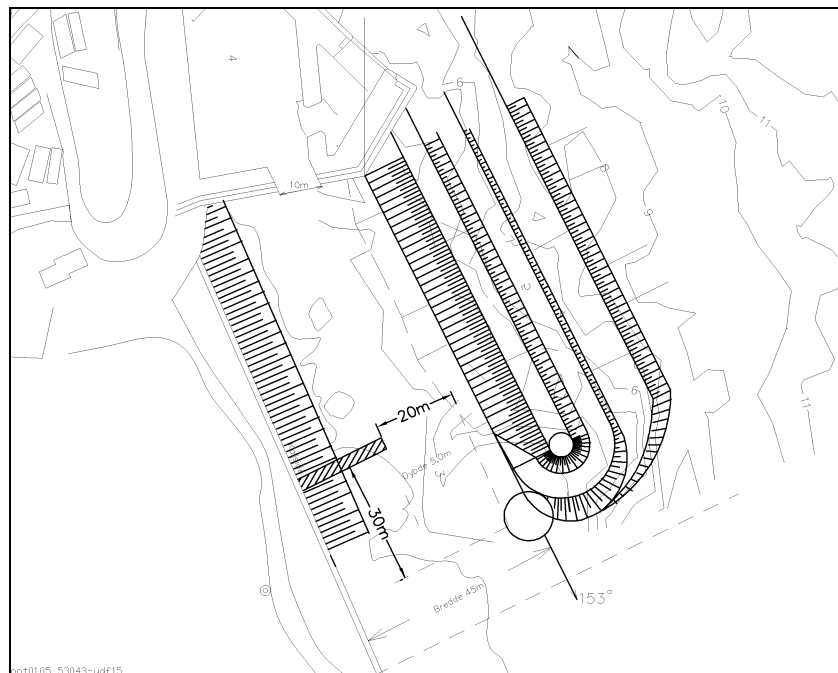
- en ny ca. 100m lang sydmole (stenkastningsmole) gående ud fra den eksisterende sydmole generelt giver en væsentlig reduktion af bølgehøjderne i den eksisterende havn. Den største reduktion blev målt for  $H_{m0}=1m$ , hvor reduktionen var på 60-80% i havnen. For  $H_{m0}=4m$  var reduktionen 10-50%
- en 100m lang sydmole kombineret med en stenkastning (hældning 1:2) langs med land og en kort sekundærmole (Udformning 15) giver en reduktion på 80-90% for  $H_{m0}=1m$ , og 20-60% for  $H_{m0}=4m$



- yderligere stenkastninger langs den sekundære mole, langs den eksisterende sydmole og i den nordlige del af den eksisterende havn giver kun marginale forbedringer af uroen i havnen
- en ny ca. 100m lang sydmole (vertikalmole) gående ud fra den eksisterende sydmole med en stenkastning på bagsiden giver generelt lidt større bølger i havnen end i den tilsvarende stenkastningsmole

### Etape 3

På grundlag af forsøgsresultaterne fra Etape 2 blev Udformning 15 i første omgang valgt som den endelige, se også figur 2.3. Imidlertid viste stabilitetsforsøgene med Udformning 15, at det ikke vil være muligt at udforme et molehoved, som vil være tilstrækkelig stabilt for de dimensionsgivende bølgeforhold, og derfor blev det valgt også at undersøge uroforholdene i en udformning med en vertikalmole i stedet. Denne udformning (Udformning 18, se figur 2.4) blev undersøgt for bølgeretning ESE og E.



Figur 2.3 Udformning 15

Uroundersøgelsen med Udformning 15 og 18/19 viste, at:

### Udformning 15

Denne udformning vil give en forbedring af uroforholdene i det eksisterende havneafsnit på op til ca. 90%. Uroen i havnen vil blive mest reduceret for de mindste og korteste af bølgerne. Bølgeperioder på  $T_p = 15-18s$  vil blive mindst reduceret.

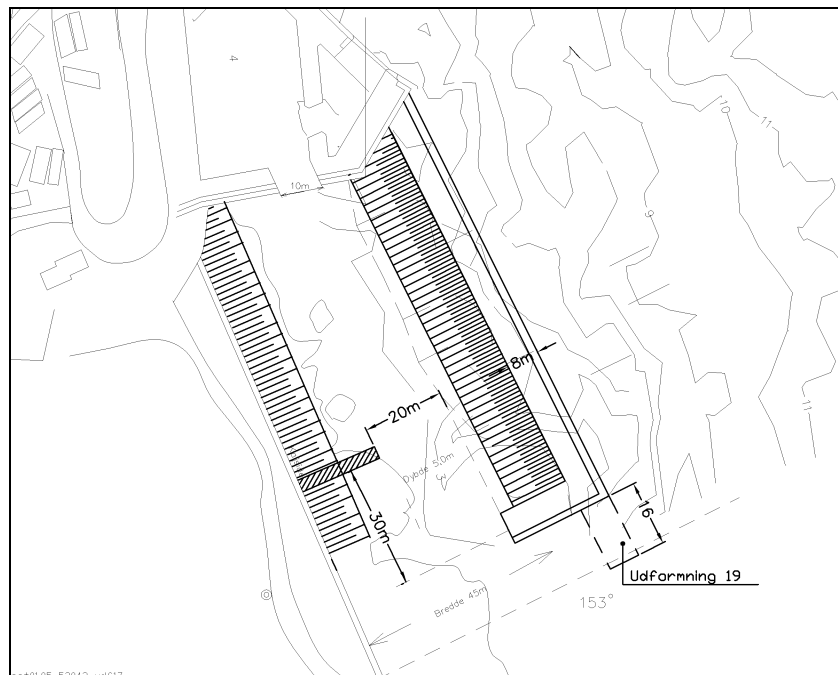


Vurderes overskridelsessandsynlighederne, findes at en bølgehøjde på  $H_{m0}=0,3\text{m}$  vil have været overskredet i op til 15% af tiden i det eksisterende havneafsnit i den endelig valgte udformning, og  $H_{m0}=0,5\text{m}$  i op til 2.5% af tiden i naturmåleperioden. De tilsvarende overskridelsessandsynligheder for den eksisterende havn var henholdsvis mere end 90% ( $H_{m0}=0,3\text{m}$ ) og op til 80% af tiden ( $H_{m0}=0,5\text{m}$ ).

### Udformning 18/19

En knap 100m lang vertikalmole med en tværmole, som giver samme indsejlingsbredde som stenkastningsmolen giver lidt større uro end Udformning 15. Overskridelsessandsynligheden for 0,5m bølgehøjde er i havnen op til 5%, og for 0,3m bølgehøjde op til 20% af tiden, hvoraf de lang-periodiske bølger på  $T_p=15$  og 18s tegner sig for op til 18%.

De lange svingninger forårsaget af bølger med perioderne  $T_p=15$  og 18s bliver med vertikalmolen reduceret til 40-50% af bølgehøjden i den eksisterende havn. Da havnens egensvingninger er på ca. 18s, er det specielt denne periode som giver anledning til store vandspejlelevationer i havnen. Vandspejlelevationerne bliver yderligere forstærket i den nordlige del af det eksisterende havnebassin på grund af bassinets udformning med indsnævringen her.



Figur 2.4 Udformning 18

Overskridelsessandsynlighederne er relateret til bølgestatistikken for den periode, hvor der blev målt bølger ved og i Skuvoyar Havn.

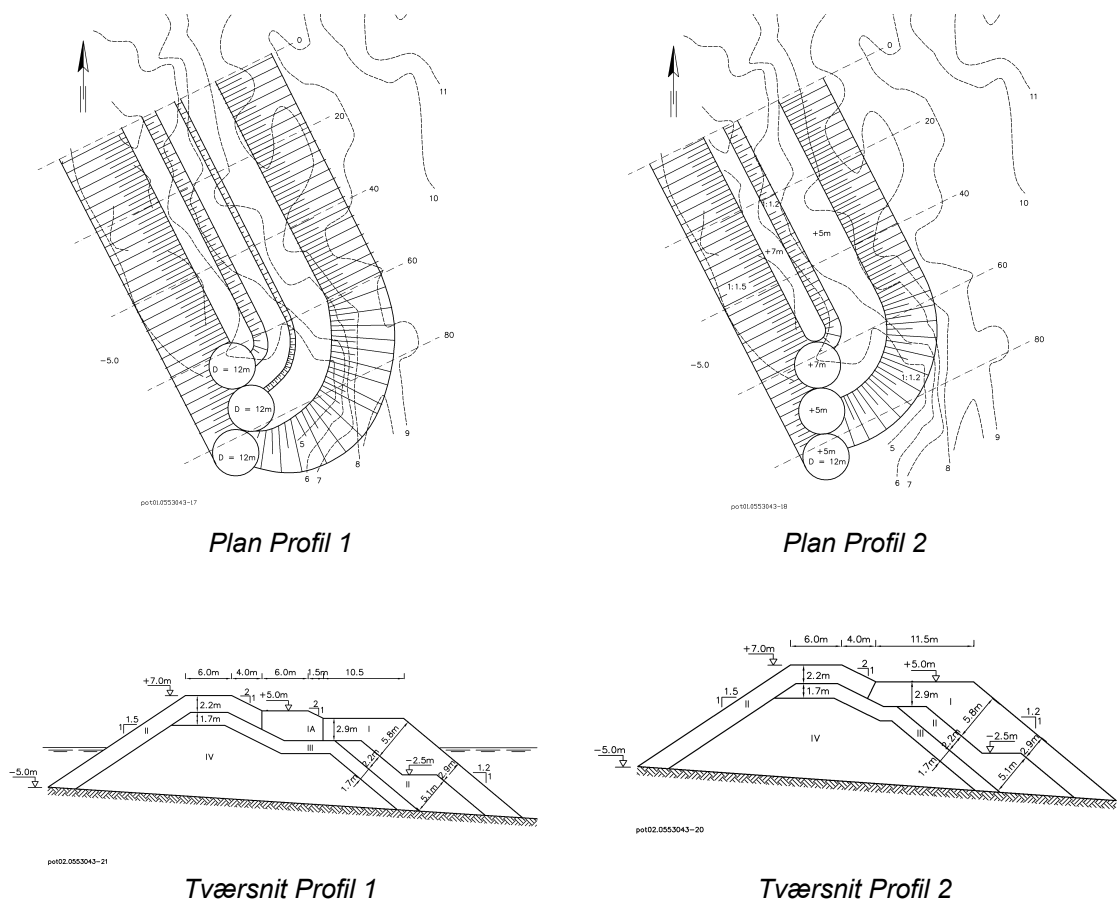


## 2.4 Stabilitetsforsøg

Der blev udført stabilitetsforsøg med den yderste del af den nye sydlige mole i den endelig valgte udformning, Udformning 15, hvor molen var udformet som en stenkastningsmole.

To forskellige udformninger af moletværsnit og molehoved blev undersøgt. De to udformninger fremgår af figur 2.5.

Sænkekasserne var i begge udformninger funderet i -7m. I udformningen med Profil 1 var alle tre sænkekasser placeret uden forbindelse med hinanden, mens de to yderste sænkekasser i udformningen med Profil 2 var fast forbundet med hinanden foroven.



Figur 2.5 Undersøgte udformninger, stabilitetsforsøg med ny sydmole (Udformning 15)

### 2.4.1 Forsøgsprogram

Det detaljerede forsøgsprogram for stabilitetsforsøgene fremgår af afsnit 7. Generelt blev forsøgene udført med bølgehøjder på op til  $H_{m0} \cong 5,5m$ .



### 2.4.2 Resultater af forsøg med Profil 1

Ud fra resultaterne af forsøgene kan følgende konklusioner drages.

- Gennem forsøgsserien skete der en del omplaceringer på havsiden af molens krop. Eftersom profilet var bygget som et banket-profil, hvor en vis omplacering af sten er acceptabel, var de omplaceringer, som skete på molens krop, helt acceptable ud fra et stabilitetsmæssigt synspunkt.
- På molehovedet blev mange sten omplaceret på molehovedets havside, og efter forsøgsserien var hældningen af den nederste del af profilet udjævnet til omkring 1:3. Ud fra et stabilitetsmæssigt synspunkt vurderedes profilet at være helt acceptabelt, idet dæklagets tykkelse fortsat vil være tilstrækkelig til at sikre stabiliteten af molehovedet.  
En del af stenene blev imidlertid flyttet fra dæklaget til indsejlingsområdet, hvilket ikke kan accepteres.
- Den yderste sænkekasse blev flyttet under forsøgsserien. Flytningen startede allerede for en bølgehøjde på  $H_{m0}=4\text{m}$ . Det vil ikke være acceptabelt at sænkekassen bliver flyttet.
- Flytningen af sænkekassen medførte, at en del af bagsiden på molehovedet blev beskadiget.

### 2.4.3 Resultater af forsøg med Profil 2

I forhold til Profil 1 blev Profil 2 reduceret således, at den totale bredde af banketter i kote +4m og +5m på 18,5m bliver reduceret til et banket i kote +5m på 11,5m bredde. Endvidere blev de to yderste sænkekasser koblet fast sammen foroven.

Ud fra resultaterne af forsøgene kan følgende konklusioner drages.

- Gennem forsøgsserien skete der en del omplaceringer på havsiden af molens krop. Eftersom profilet var bygget som et banket-profil, hvor en vis omplacering af sten er acceptabel, var de omplaceringer, som skete på molens krop, helt acceptable ud fra et stabilitetsmæssigt synspunkt. Efter forsøgsserien var hældningen af profilet 1:1,5 til 1:2.
- På molehovedet blev mange sten omplaceret på molehovedets havside, og efter forsøgsserien var hældningen af den nederste del af profilet omkring 1:4. Næsten hele bankettet i kote +5m var borteroderet i en sektion tæt ved sænkekasserne. Stenkastningen var ved sænkekasserne så stærkt beskadiget, at reststabiliteten må betegnes som utilstrækkelig. Få sten blev flyttet fra dæklaget til indsejlingsområdet, men dette antal var noget mindre end i udformningen med Profil 1.
- De to sammenkoblede yderste sænkekasser blev flyttet under forsøgsserien. Flytningen startede allerede for en bølgehøjde på  $H_{m0}=4\text{m}$ . Det vil ikke være acceptabelt at sænkekasserne bliver flyttet.
- Flytningen af sænkekassen medførte, at en del af bagsiden på molehovedet blev beskadiget.



#### **2.4.4 Konklusion på forsøg med stenkastnings-moleprofil**

Forsøgene viste, at et moleprofil bestående af en stenkastningsmole med en eller flere sænkekasser til at markere indsejlingen vil blive vanskelig at bygge uden anvendelse af endog meget store sten i profilets molehoved. Det kan godt lade sig gøre at bygge et molehoved, som bliver tilstrækkelig stabil ved anvendelse af Klasse I sten (Profil 1), men en stor del af stenene i dæklaget bliver flyttet ind i indsejlingsområdet. Dette er ikke acceptabelt, idet dybden i indsejlingen ikke tillader, at store sten bliver deponeret her. Hvis dette skal undgås, skal der anvendes endog meget store sten i dæklaget i molehovedet. Endvidere er det ikke acceptabelt at sænkekasserne bliver flyttet under storme.

#### **2.4.5 Resultater af forsøg med vertikalmole**

Da det ikke vil være muligt på rimelig måde at bygge en stenkastningsmole, blev det besluttet i stedet at bygge molen som en vertikalmole med en stenkastning på havnesiden til at absorbere en del af den bølgeenergi, som trænger ind i havnen. Vertikalmolen tænkes bygget som de eksisterende moler i Skuvoyar havn, med en forankring ned i klippen.

Under forsøgene blev trykket på forsiden af molen målt i tre niveauer, nemlig i kote +4m, i kote +1m og i kote -2m.

Ud fra resultaterne af forsøgene kan følgende konklusioner drages:

- Gennem forsøgsserien skete der en del omplaceringer af Klasse II stenene på havnesiden af molen på grund af overskyl. Dette medførte at stenenes kronekote blev reduceret under forsøgene fra ca. +2m til mellem 0 og +1m. Skråningens stabilitet er dog uden betydning for den overordnede stabilitet af molen, og da der ikke blev flyttet sten ud i indsejlingsområdet vurderes det, at Klasse II stenene er acceptable at anvende her.
- Forsøgene viste, at der forekom store overskyl på det eksisterende sydmolehoved selv i ikke ekstreme bølgesituationer. Dette forekommer når bølger, som fra sydøstlig retning løber langs den nye vertikalmole, rammer den yderste del af den eksisterende sydmole. Det må derfor anbefales at den nye vertikalmole udgår fra det eksisterende sydmolehoved.
- Målingerne af tryk på havsiden af vertikalmolen blev foretaget i tre niveauer, i +4m, i +1m og i -2m. Forsøg blev udført med bølgeretning øst og sydøst. Forsøgene viste at bølgeretning øst gav de største tryk på konstruktionen for ellers samme bølgesituation. Bølgeretning øst vurderes at være ekstrem for den dimensionsgivende bølgesituation. Derfor anbefales det til design at anvende resultaterne af forsøget med  $H_{m0}=5,5m$ ,  $T_p=14s$ , idet det anbefales at anvende et tryk over hele højden af konstruktionen på  $7t/m^2$  suppleret med en passende lastkoefficient.



### 3 HYDROGRAFISKE FORHOLD

Havnen på Skuvoy er udsat for betydelige vandstandsvariationer som følge af tidevandet og for bølger, som dels er genereret lokalt i fjorden, dels er dybvandsbølger, som forplanter sig ind i fjorden under påvirkning af diffraktion, refraction og refleksion. Det vurderes, at det er transmitterede bølger fra dybt vand, der er den væsentligste årsag til uroproblemerne i havnen.

#### 3.1 Bølge-, strøm og vandstandsforhold

Bølgeforholdene ved Sydradalur er vurderet ud fra bølgemålinger foretaget i en periode både uden for havnen og i havnen. Resultaterne af bølgemålingerne er beskrevet i /1/.

I /1/ er følgende bølgestatistik fundet:

Tabel 3.1 Uddrag af bølgehøjdestatistik ved Skúvoyar Havn

Overskridelseshyppighed		$H_{m0, Skuvoy}$ (m)
%	timer/år	
10	870	1,3
1	87	2,6
0,1	9	3,5
0,01	0,9	4,3

#### Anbefalede bølgeforhold til design

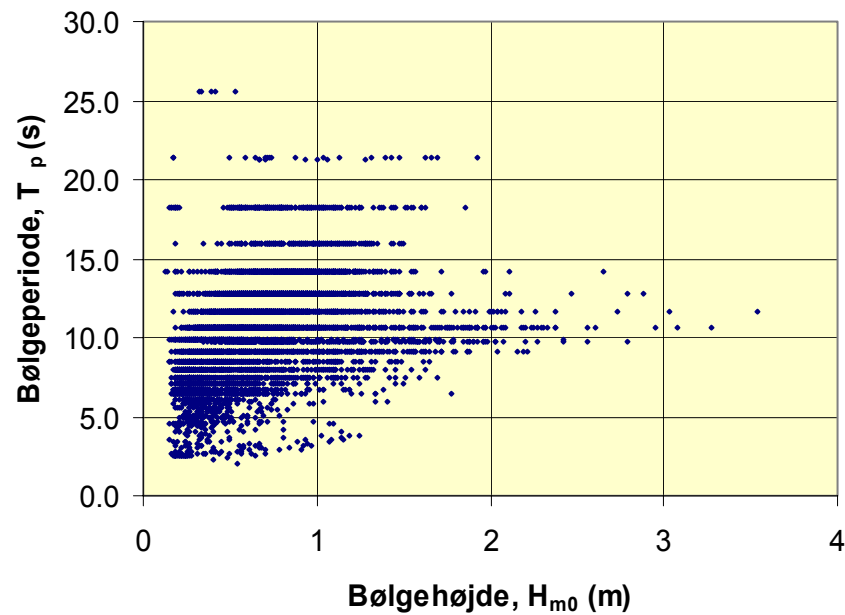
Tabel 3.1 dækker de hyppigere optrædende situationer. Som dimensionsgivende bølgeforhold må anvendes en bølgehøjde, som typisk vil blive overskredet i en 50 eller 100 års situation. Korrigeres for at måleperioden var mild i forhold til gennemsnittet og ekstrapoleres statistikken til en 3 timer/50år situation, fås en bølgehøjde på  $H_{m0}=5-5,5m$ . Der vil være en vis usikkerhed forbundet med disse værdier, og  $H_{m0}=5,5m$  anses for at være en smule på den konservative side.

#### Bølgeperioder

Relationen mellem bølgehøjde og -periode,  $T_p$ , er vist på figur 3.1. Det ses, at for små bølgehøjder er der meget stor spredning på  $T_p$ , svarende til henholdsvis lokalt genererede og dermed korte bølger og swell bølger, som forplantes til Skuvoy efter storme. For større bølgehøjder er spredningen noget mindre.

For  $H_{m0} \cong 1m$  er der således en spredning i  $T_p$  på fra ca. 3s til ca. 21s. For  $H_{m0} \cong 2m$ , målt bølgeperioder mellem ca. 9s og ca. 15s, mens for  $H_{m0} \cong 3m$  målt  $T_p$  værdier omkring 12s.

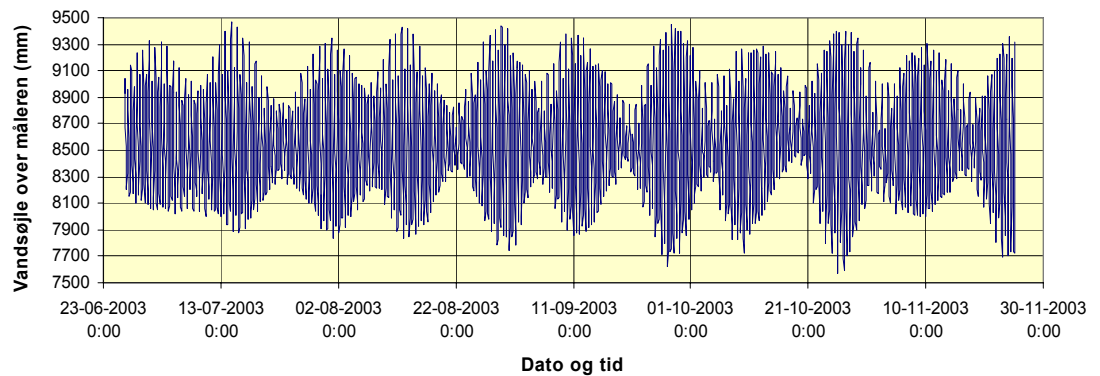




Figur 3.1 Relationer mellem bølgehøjder,  $H_{m0}$  og  $T_p$  fra ADCP målingerne i en periode i 2003-2004

### Vandstandsforhold

Vandstandsvariationerne ved Skuvoy blev målt med ADCP måleren. I figur 3.2 er vist vandstandsvariationerne i en del af måleperioden.



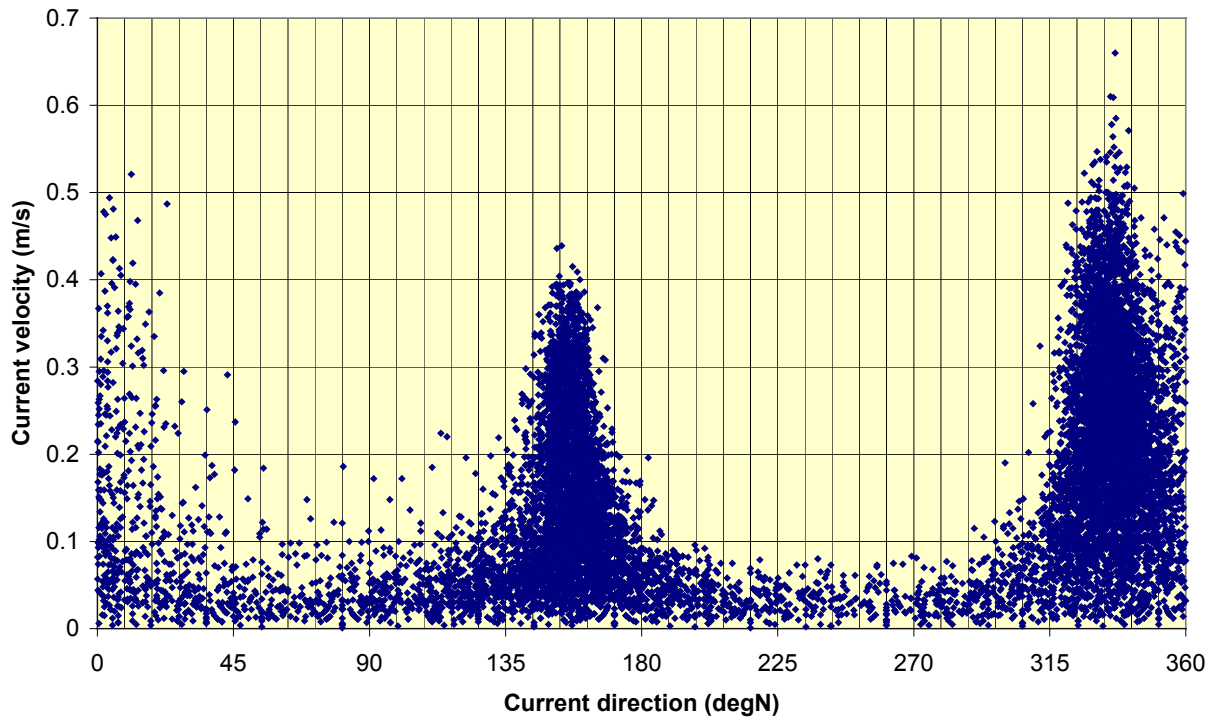
Figur 3.2 Vandstandsforhold fra 26-jun-03 til 26-nov-03

Forskellen mellem den højeste og laveste vandstand blev målt til ca. 1,9m. Af ovenstående figurer ses, at middelvanddybden ved måleren er ~8,5m. Det højeste målte højvande har været ca. +0,95m, mens det laveste målte lavvande var ca. -0,95m i forhold til middel.



### Strømforhold

Strømforholdene blev registreret af ADCP måleren. På figur 3.3 er strømhastigheden vist som funktion af strømretningen for perioden 26-jun-03 til 26-nov-03. Strømforholdene refererer til den øverste meter i vandsøjlen.



Figur 3.3 Strømhastighed som funktion af strømretning i den øverste meter af vandsøjlen, måleperiode fra 26-jun-03 til 26-nov-03

Det ses at strømmen er koncentreret på to retninger, sydgående omkring 145°N og nordgående omkring 325°N. Strømhastigheden er størst for nordgående strøm, ca. 0,6m/s var maksimum strømhastighed i overfladelaget, mens den maksimale sydgående strøm var ca. 0,4m/s.



## **4 FYSISK MODEL**

### **4.1 Bathymetri og havn**

En plan af den tredimensionale (3D) model er vist på tegn. nr. 4.1. Til opbygning af modellen blev anvendt:

- Dybdekort fra målinger udført i 2004 af Landsverk
- Tegning af havnen med niveauer af kajer og moler
- Dybdekort fra C-map
- Tegninger og skitser af de foreslåede nye udformninger af havnen

Modellen af havnen blev opbygget i en længdeskala 1:40. Denne skala medfører følgende skalaer for tid, hastighed og kraft:

- Længdeskala 1:40
- Tidsskala  $1:\sqrt{40} \cong 1:6,3$
- Hastighedsskala  $1:\sqrt{40} \cong 1:6,3$
- Kraftskala  $1:40^3 \cong 1:64.000$

### **4.2 Modellen**

Modellen, som blev bygget i et af DHIs bølgebassiner, dækkede et område på ca. 20m gange 15m. Dybderne i modellen var reproduceret korrekt ud til 17m vanddybde. Dybdekurverne blev i modellen reproduceret ved hjælp af tynde stålbånd, som blev nivelleret til korrekt højde. Bathymetrien blev opbygget af sand med et tyndt lag beton til at stabilisere bunden.

Modellen blev opbygget således, at bølgeretninger i retningsintervallet mellem NE og SE kunne reproducere.

### **4.3 Bølgegenerering**

Bølgerne i modellen blev genereret ved hjælp af flytbare bølgemaskiner, som er i stand til at generere uregelmæssige bølgetog fra de krævede retninger.

Bølgemaskinerne styres af DHI Wave Synthesizer, som kan generere et vilkårligt bølgespektrum. I modellen var alle bølgetog genereret ud fra et JONSWAP spektrum.

### **4.4 Målinger i modellen**

I modellen blev målt bølgeforskelene i 10 positioner.



#### 4.5 **Præsentation af resultater**

Resultaterne er præsenteret på følgende måde:

*Bølgehøjder* er præsenteret som signifikante bølgehøjder beregnet ud fra det nulte moment af bølgeenergispektret,  $m_0$ , som  $H_{m0}=4\sqrt{m_0}$ .

*Bølgehøjdekoefficienten i havnen* er defineret som den signifikante bølgehøjde i havnen relativt til den signifikante bølgehøjde udenfor havnen (indkommende bølgehøjde).



## 5 **FORSØGSPROGRAM**

Alle forsøg blev udført med uregelmæssige bølgetog, genereret på grundlag af et JONSWAP spektrum. Hvert forsøg havde en varighed svarende til 1 time i naturen.

Forsøgsprogrammet var inddelt i etape 1, 2 og 3:

- **Etape 1:** Forsøg med den eksisterende havn

Etape 2 var inddelt i to underetaper, hvor havneudvidelsen/forbedring af havnen foregik for henholdsvis en ny mole øst for havnen, hvor den nye mole har sit udspring i det tidligere kajområde nord for havnen (ny Nordmole, Etape 2a), og for en ny mole syd for havnen, hvor den nye mole har sit udspring på den eksisterende sydmole (ny Sydmole, Etape 2b).

- **Etape 2a:** Forsøg med udformninger af ny Nordmole (se figur 5.1-5.5):
  1. Udformning med 70m lang stenkastningsmole
  2. Udformning med 100m lang stenkastningsmole
  3. Udformning med 100m lang vertikalmole, uddybning til -5m mellem denne vertikalmolen og den eksisterende nordmole
  4. Som Udformning 3, men med 25m lang tværmole fra molehovedet
  5. Udformning med 100m lang stenkastningsmole, uddybning til -5m mellem stenkastningsmolen og den eksisterende nordmole
  6. Som Udformning 5, men den nordre indermole fjernet
  7. Som Udformning 6 med en D=12m caisson i molehovedet. Dette medfører, at molens længde bliver lidt forøget i forhold til Udformning 5 og 6
  8. Som Udformning 7 med stenkastning på sydsiden af den eksisterende sydmole
  9. Som Udformning 7, men med den eksisterende sydmole forlænget i en lige linie fra knækket. Lodret side fra det eksisterende til det nye molehoved
  10. Som Udformning 7, men med en 40m forlængelse af stenkastningsmolen
  11. Som Udformning 10, men med en ny sydmole udført som vertikalmole vinkelret på kysten 20m syd for den eksisterende sydmole
- **Etape 2b:** Forsøg med udformninger af ny Sydmole (se figur 5.6):
  12. Landsverk forslag - profil 4. Denne udformning er med en ca. 100m lang stenkastningsmole syd for havnen med indsejling til den eksisterende havn gennem den eksisterende sydmole
  13. Som Udformning 12, men med en vertikal sekundær mole
  14. Som Udformning 13, men med absorberende stenkastning langs med kysten
  15. Som Udformning 14, men med den sekundære molen flyttet 20m mod syd
  16. Som Udformning 15, men med stenkastning på såvel nord- som sydsiden af den sekundære mole og langs det inderste stykke af sydsiden af den eksisterende sydmole
  17. Som Udformning 16 med stenkastning i nordenden (øst for slæbestedet) af den eksisterende havn



18. Som Udformning 15, men med den nye dækmole udført som vertikalmole, som er ca. 100m lang og med en ca. 18m lang tværmole. Begrænsningen af havneindsejlingen defineret som hovedet på tværmolen var den samme som sænkekassen i Udformning 15
19. Som Udformning 18, men med vertikalmolen forlænget med 16m

- **Etape 3:** Forsøg med den endelig foreslåede udformning

### Etape 1

Denne etape af modelforsøgene blev udført med den eksisterende havn. Formålet med disse forsøg var at få et referenceniveau med hensyn til bølgeuro i havnen og at dokumentere, at modellen kan reproducere bølgetransmissionen, som blev målt i naturen.

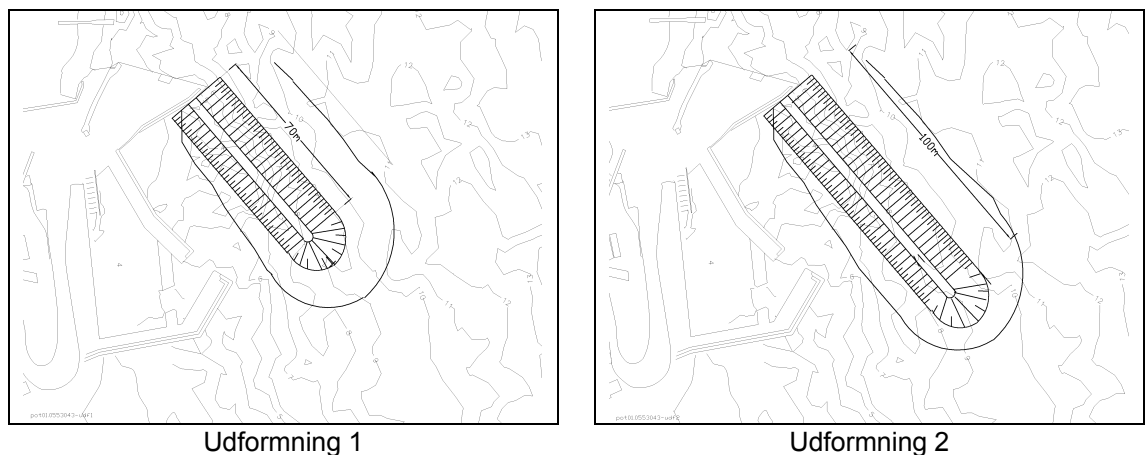
Tabel 5.1 Forsøgsprogram, Etape 1

Bølgeforhold			Vandstand (m rel. til mvs)
Højde, $H_{m0}$ (m)	Periode, $T_p$ (s)	Retning (°N)	
1,0	8, 10, 12, 15, 18	NE, E, ESE, SE	0,0
2,0	10, 12	NE, E, ESE, SE	0,0
3,0	10, 12	NE, E, ESE, SE	0,0
4,0	12	NE, E, ESE, SE	0,0

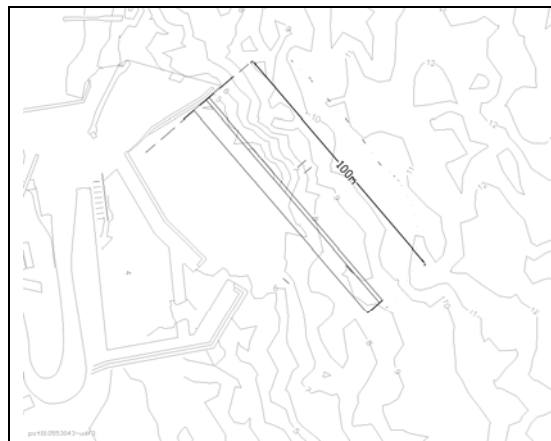
Alle forsøg blev udført med middelvandstand.

### Etape 2a

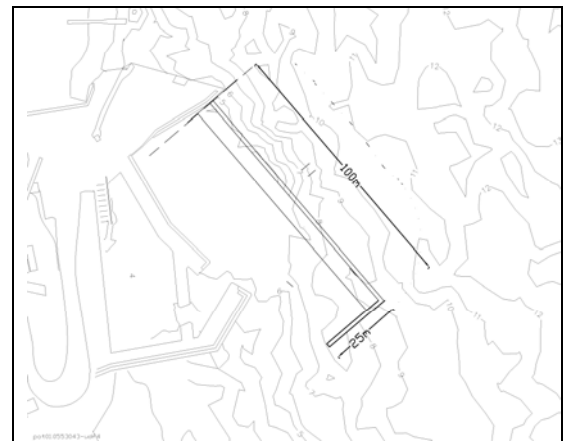
Denne etape af modelforsøgene blev udført med udgangspunkt i Landsverks forslag til en ny stenkastningsmole, som udspringer fra området nord for havnen. De undersøgte forslag er vist på figur 5.1-5.5.



Figur 5.1 Udformning 1 og 2

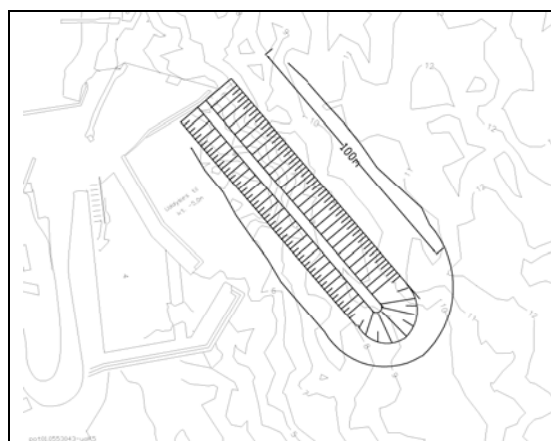


Udformning 3

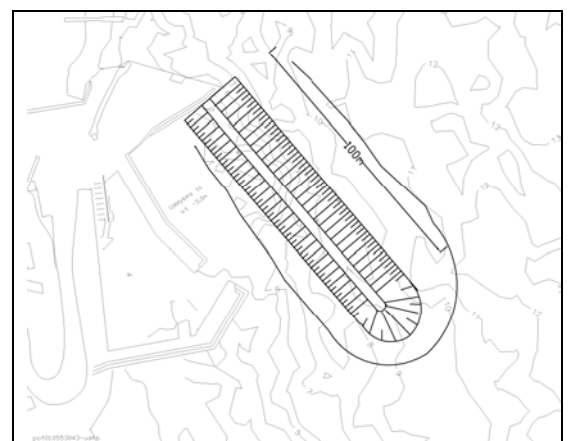


Udformning 4

Figur 5.2 Udformning 3 og 4

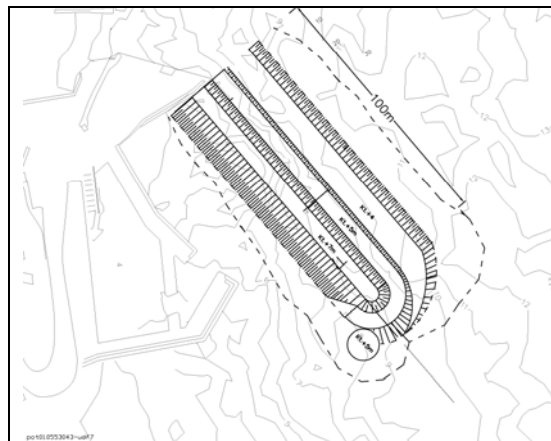


Udformning 5

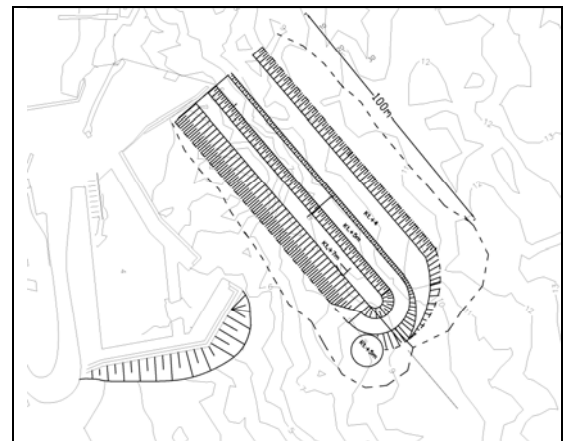


Udformning 6

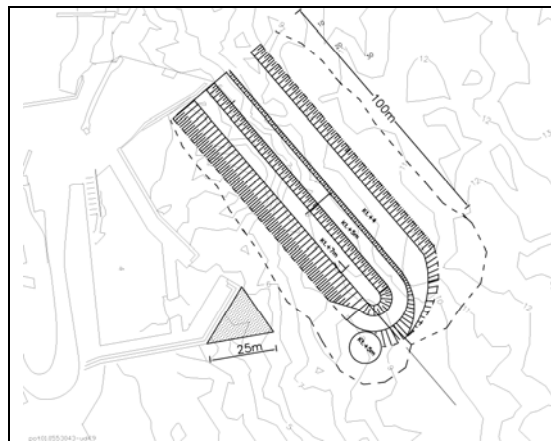
Figur 5.3 Udformning 5 og 6



Udformning 7

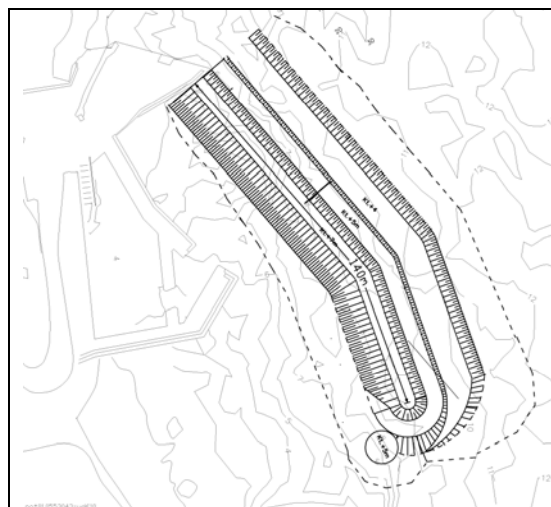


Udformning 8

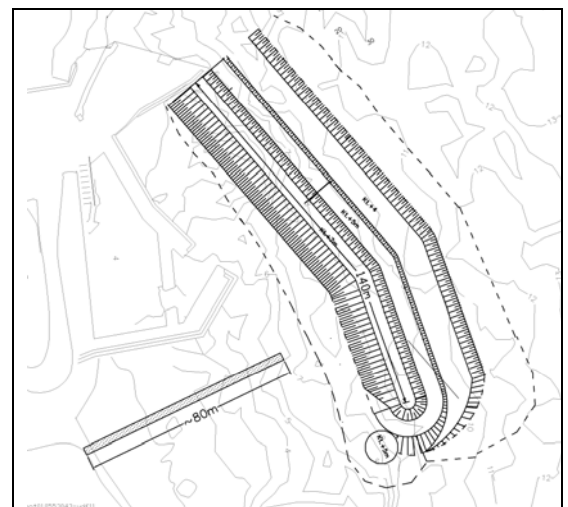


Udformning 9

Figur 5.4 Udformning 7, 8 og 9



Udformning 10



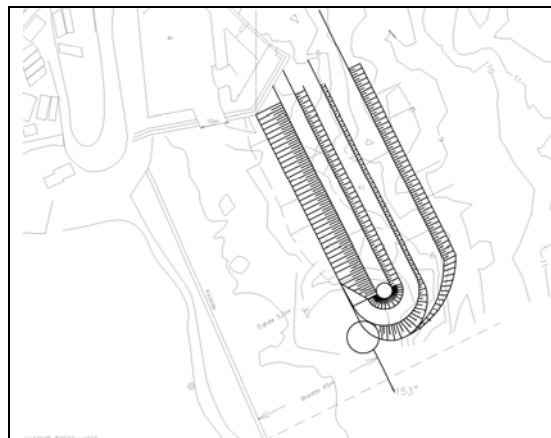
Udformning 11

Figur 5.5 Udformning 10 og 11

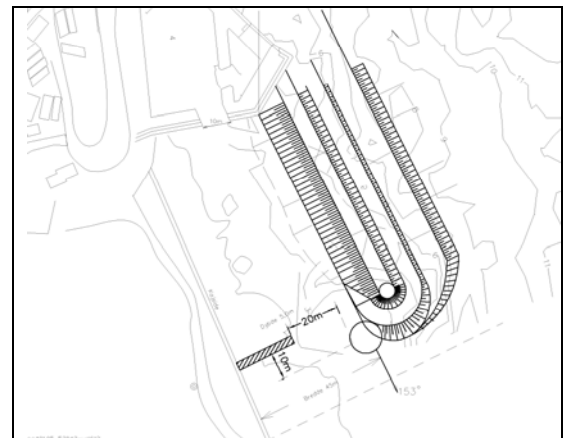


## Etape 2b

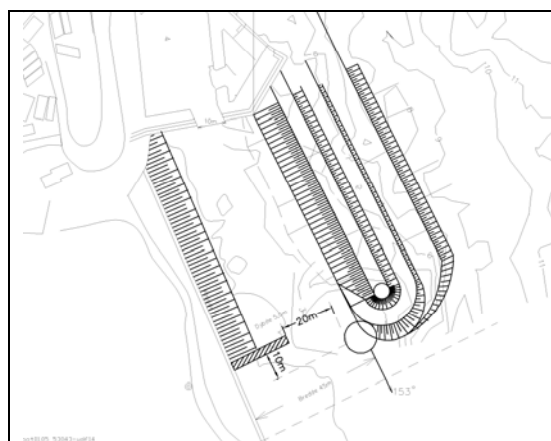
Denne etape af modellforsøgene blev udført med udgangspunkt i en ny ca. 100m lang stenkastningsmole, som udspringer på den eksisterende sydmole med en linieføring mod syd parallel med land. Den eksisterende indsejling erstattes med en ny indsejling i den eksisterende sydmole.



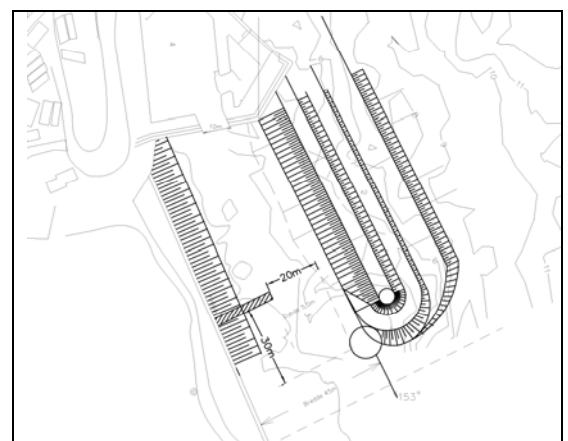
Udformning 12



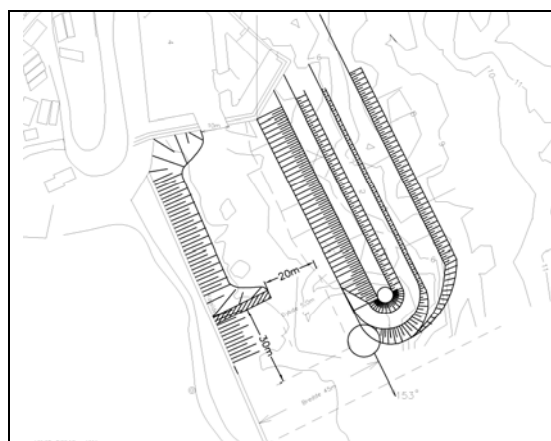
Udformning 13



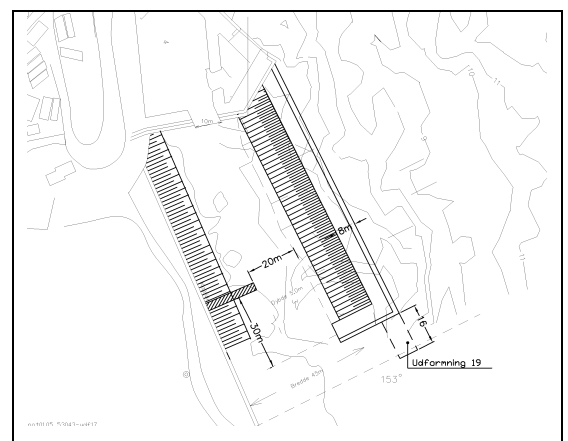
Udformning 14



Udformning 15



Udformning 16



Udformning 18/19

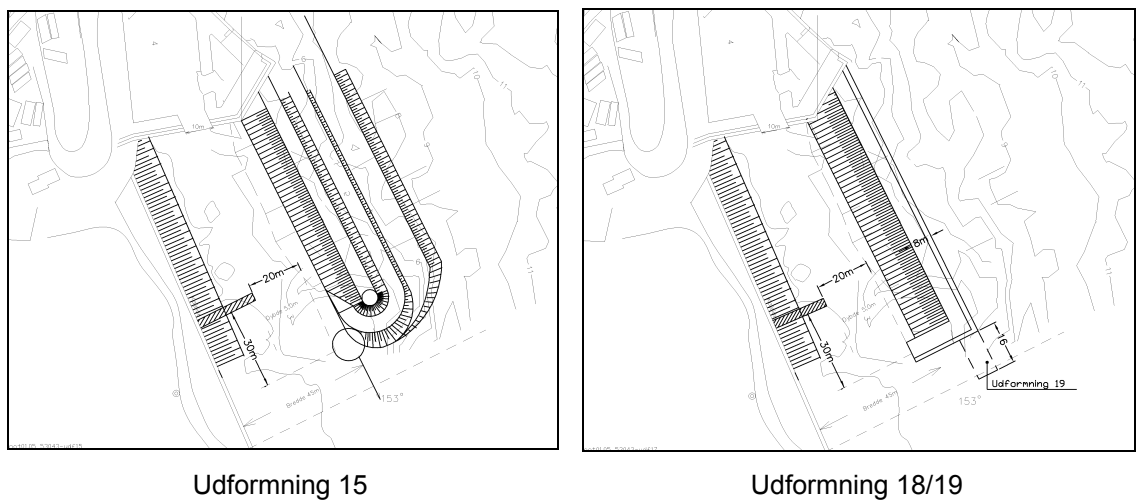
Figur 5.6 Udformning 12 -19, Udformning 17 er identisk med Udformning 16 bortset fra stenkastning i den nordlige del af den eksisterende havn



Etape 2 forsøgene blev alle udført med bølgeretning ESE, som ud fra bølgemålingerne i naturen at dømme er den hyppigste retning og den retning med de højeste bølger. Alle forsøg blev udført med de eksisterende moler, bortset fra den nordlige indermole, som blev fjernet i visse udformninger.

### Etape 3

Forsøgene i denne etape blev udført med de endelig foreslåede udformninger. Disse udformninger er vist på figur 5.7. Oprindeligt blev Udformning 15 med en stenkastningsmole valgt som den endelige, men da stabilitetsforsøgene viste, at det ville være umuligt at udforme et stabilt molehoved for denne udformning, blev der endvidere udført forsøg med en udformning med en vertikalmole (Udformning 18/19) i stedet.



Figur 5.7 Udformning 15 og 18/19

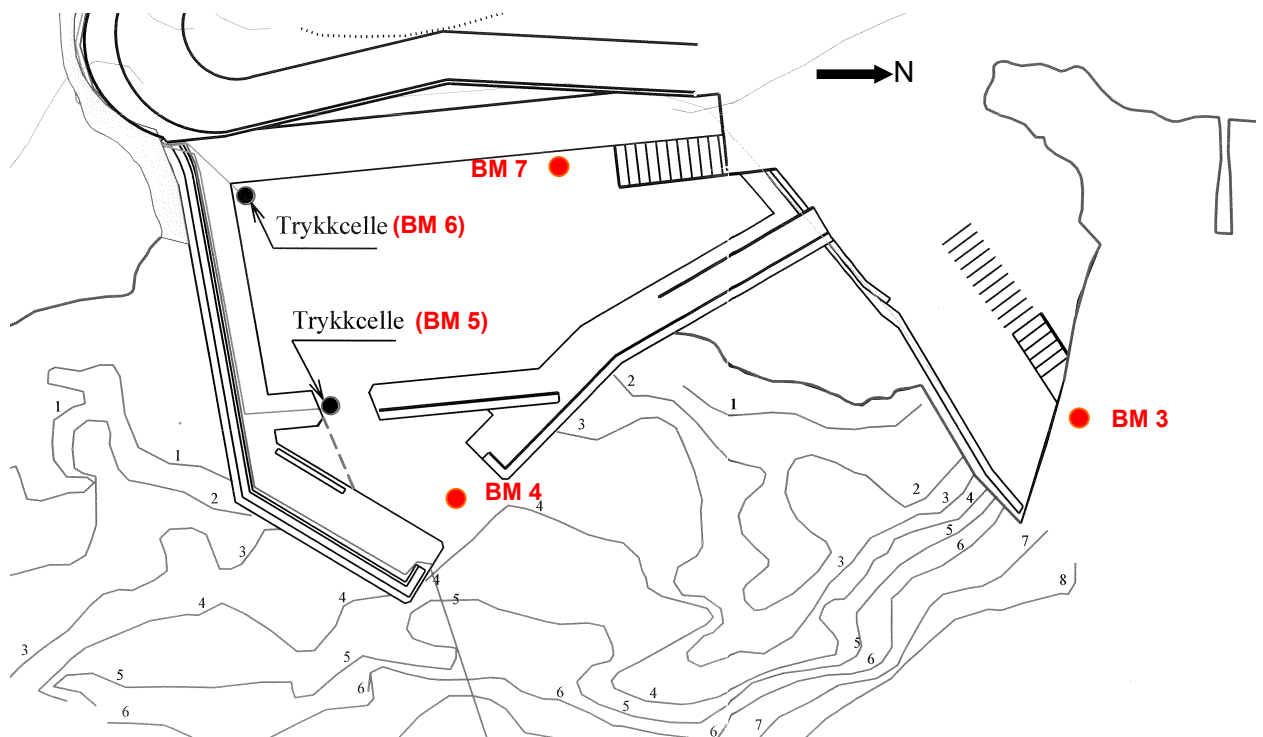
Disse udformninger blev undersøgt med samme forsøgsprogram som den eksisterende udformning, se også tabel 5.1, dog blev bølgeretning SE ikke undersøgt, idet modellen oprindeligt ikke var bygget sådan, at en udvidelse syd for havnen kunne gennemføres, og Udformning 18/19 blev endvidere ikke undersøgt for bølgeretning NE.



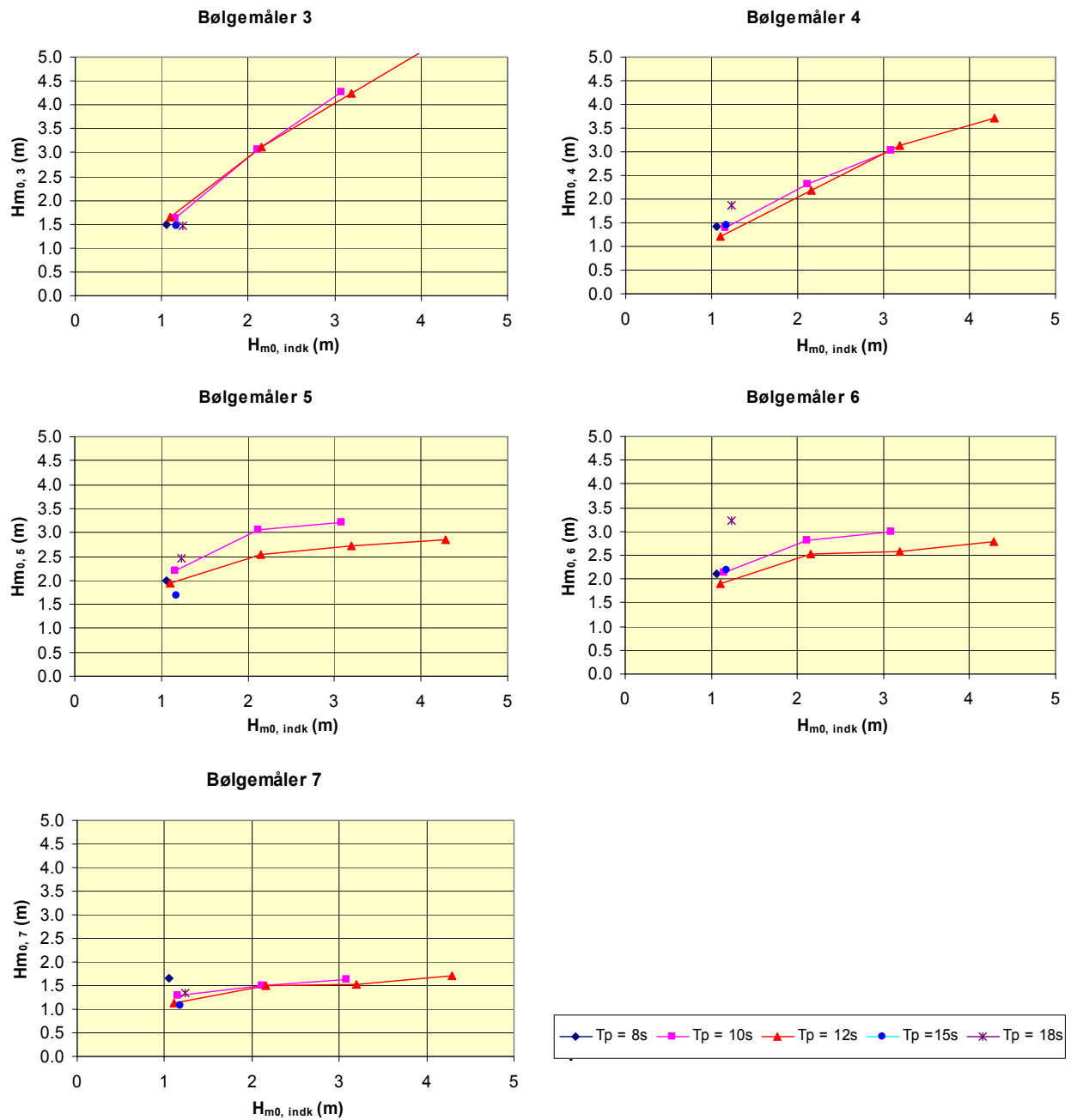
## 6 FORSØGSRESULTATER

### 6.1 Resultater, Etape 1

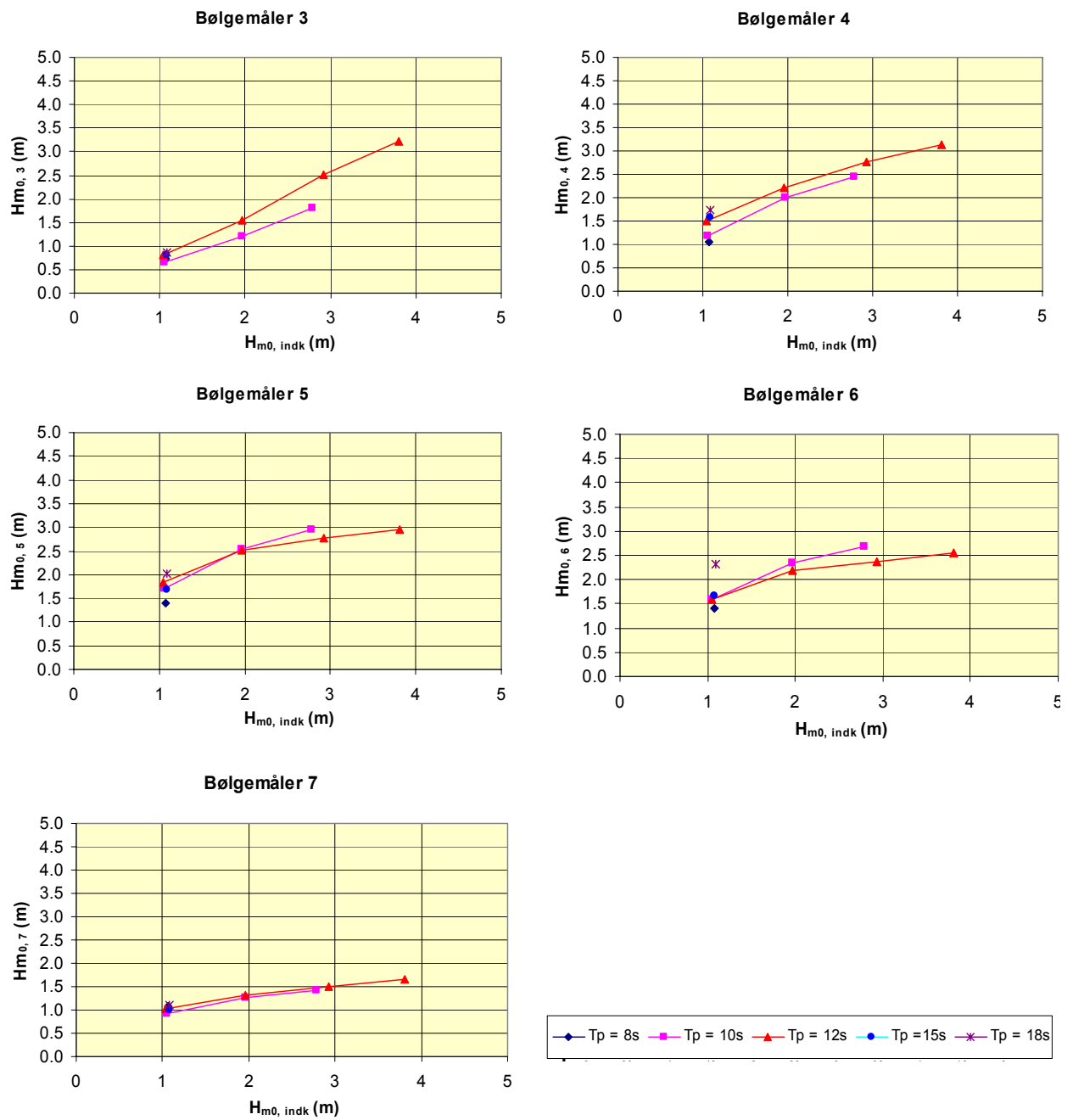
Forsøgene med Etape 1 blev udført med fire bølgeretninger. Resultaterne af forsøgene er vist på figur 6.2-6.5. Figur 6.1 viser bølgemålerplaceringen. Alle bølgemålinger er vist i forhold til bølgehøjden målt på 15-17m vanddybde uden for havnen.



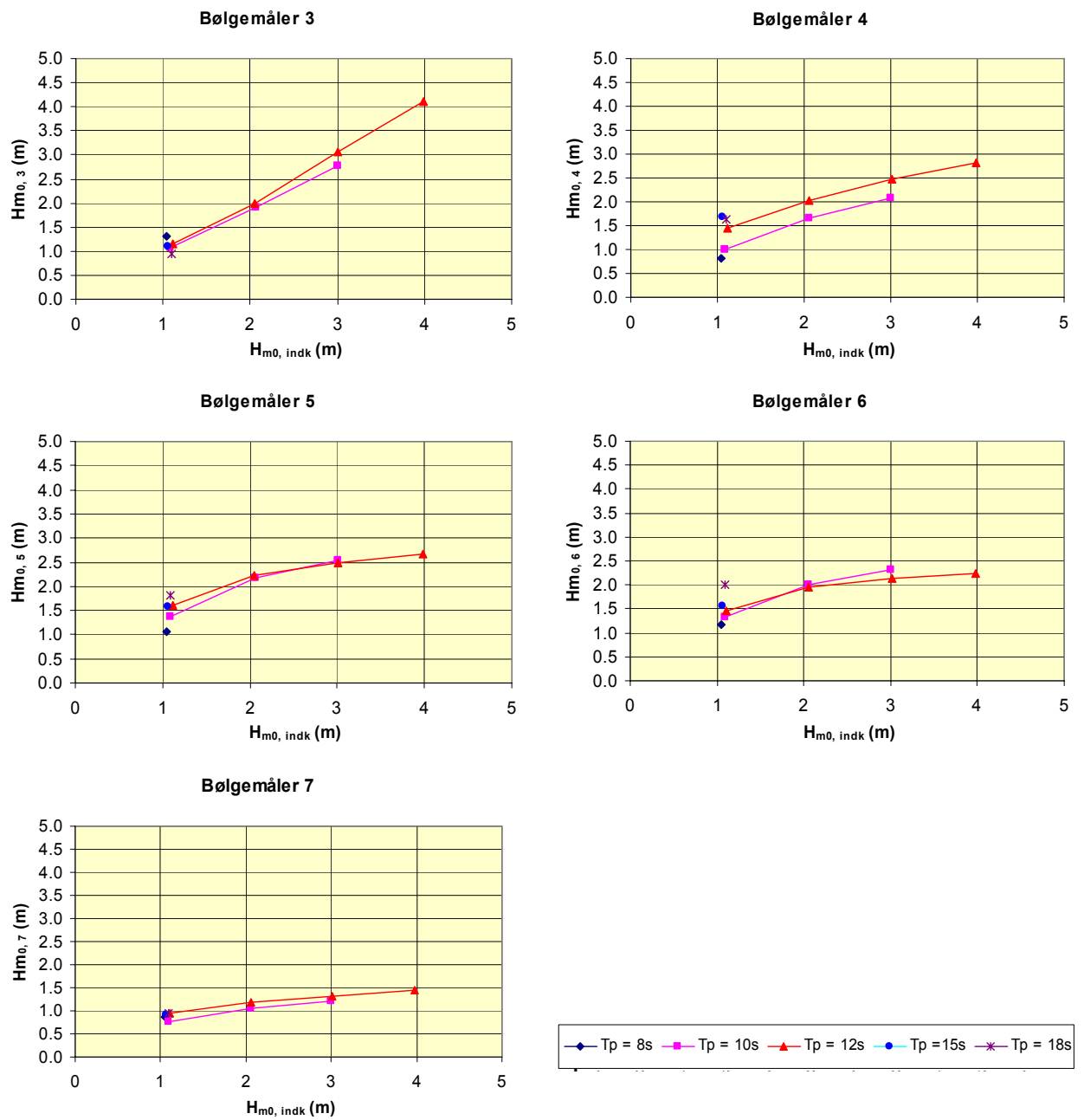
Figur 6.1 Bølgemålerplacering, Etape 1



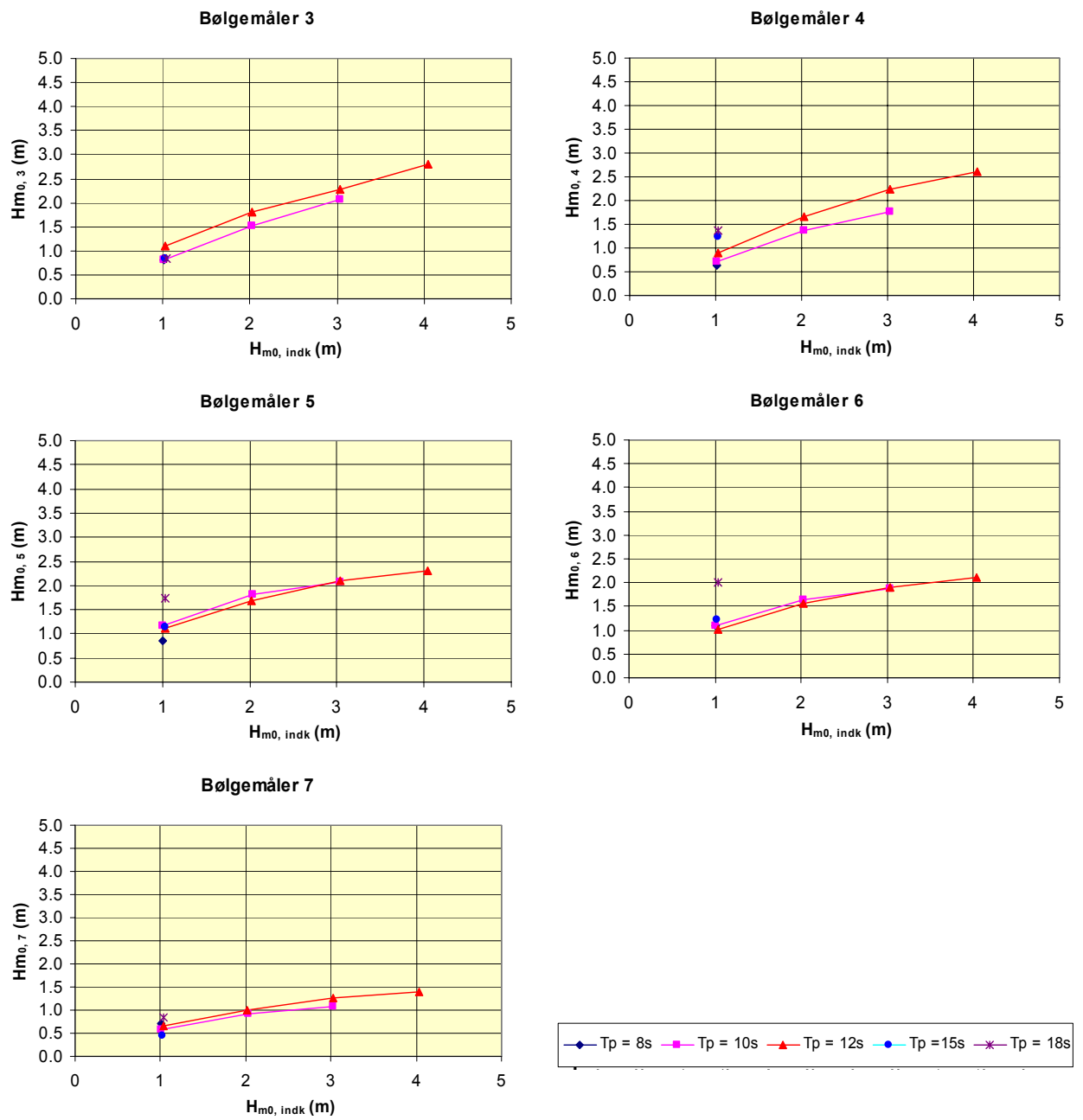
Figur 6.2 Forsøgsresultater, Etape 1, Bølgeretning NE



Figur 6.3 Forsøgsresultater, Etape 1, Bølgeretning E



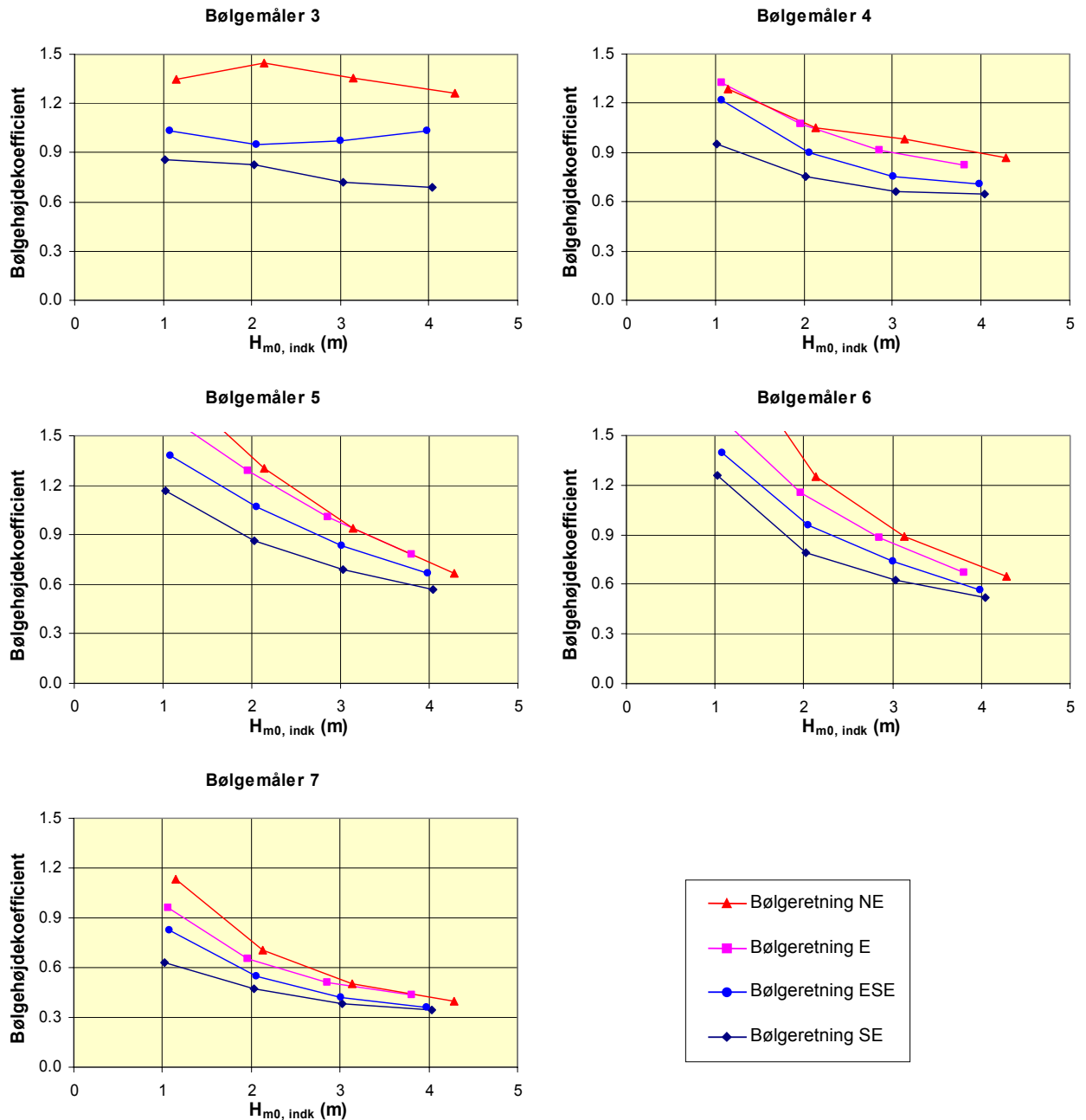
Figur 6.4 Forsøgsresultater, Etape 1, Bølgeretning ESE



Figur 6.5 Forsøgsresultater, Etape 1, Bølgeretning SE



Af resultaterne fremgår det generelt, at bølgehøjderne på de fleste positioner i havnen og i indsejlingen er meget lidt afhængige af bølgeperioden, undtagen for de lange perioder på 15 og 18s. Figur 6.6 viser afhængigheden mellem indkommende bølgehøjde  $H_{m0, \text{indk}}$  og  $k_i = H_{m0, i} / H_{m0, \text{indk}}$  for alle tre undersøgte bølgeretninger (hvor  $i$  er bølgemåler nummer). Bølgehøjdekoeficienten er midlet over alle perioder for  $H_{m0, \text{indk}} \sim 1\text{m}$ ,  $\sim 2\text{m}$ ,  $\sim 3\text{m}$  og  $\sim 4\text{m}$ .



Figur 6.6 Forsøgsresultater, Etape 1, Relation mellem indkommende bølgehøjde og bølgehøjdekoeficient, Bølgeretning NE, E, ESE og SE





## 6.2 Resultater, Etape 2

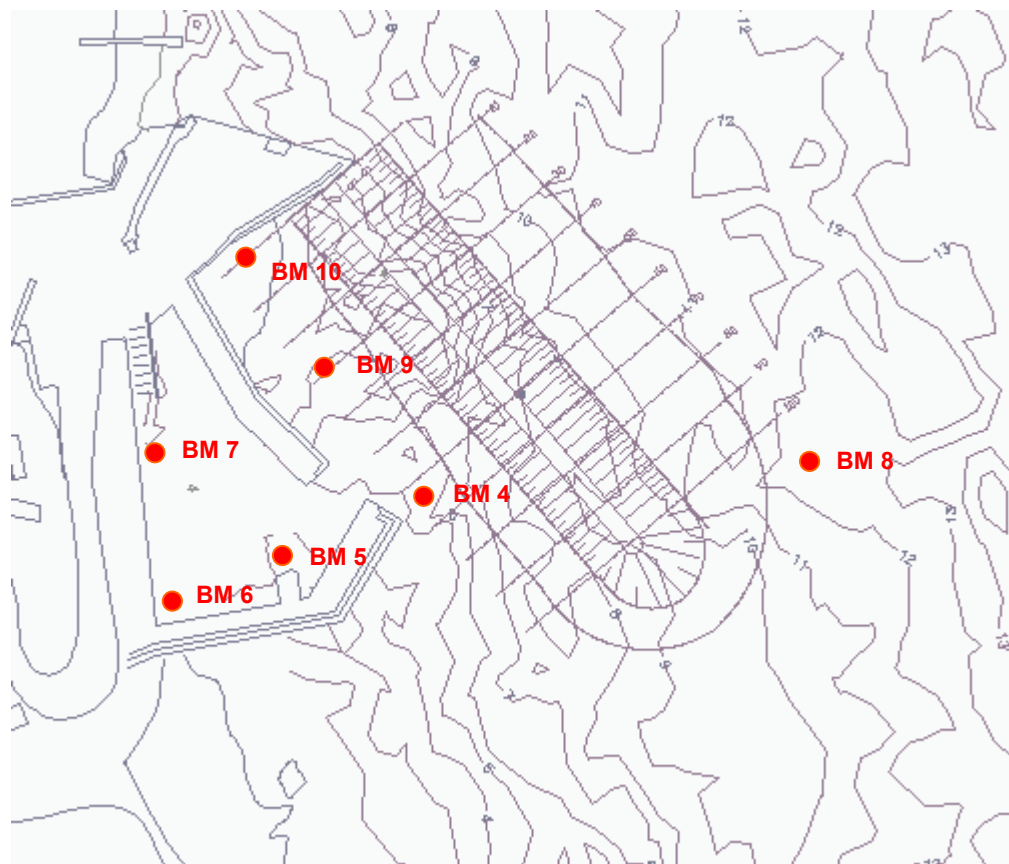
Forsøgene blev opdelt i Etape 2a og Etape 2b. Etape 2a omfattede forsøg med en ny dækmole, som udgår fra landområdet nord for havnen, mens Etape 2b omfattede forsøg med en ny dækmole, som udgår fra den eksisterende Sydmole. Etape 2b omfattede således en ny indsejling til den eksisterende havn gennem den eksisterende Sydmole.

### 6.2.1 Resultater - Etape 2a

Denne del af Etape 2 blev påbegyndt med de oprindeligt foreslåede udformninger, som skitseret af Landsverk, dvs. Udformning 1 og 2. Resultaterne af disse forsøg er beskrevet i det følgende.

Forsøgene i Etape 2 blev væsentligst udført med bølgeperioden  $T_p=12s$  og  $H_{m0}=1, 2, 3$  og 4m.

Bølgemålerpositionerne er som vist på figur 6.7.

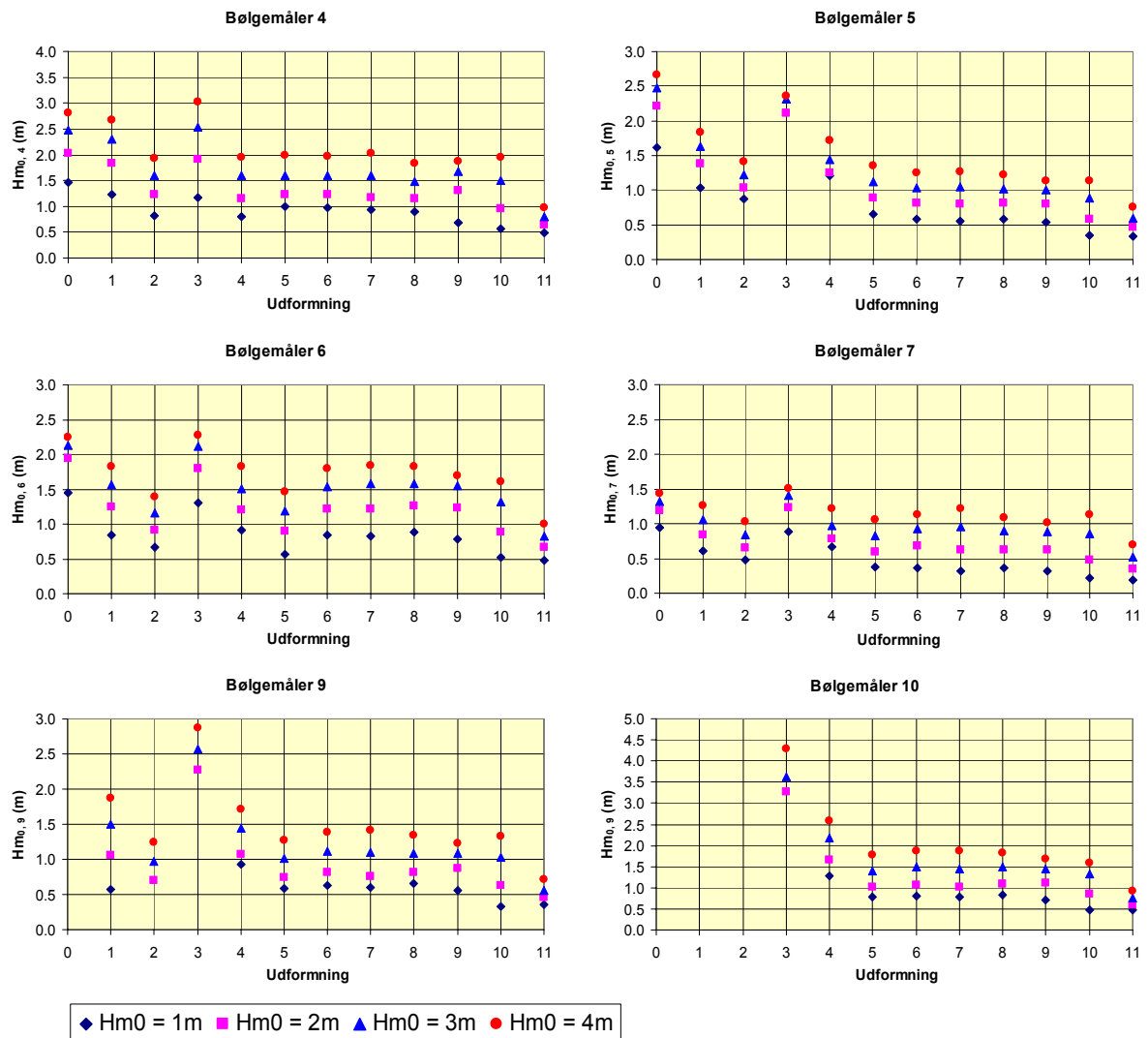


Noter: For Udformning 1 og 2 var BM 10 ikke aktiv (landområde)

Figur 6.7 Bølgemålerposition for Etape 2a forsøgene



På figur 6.8 er bølgeforsøgene i forsøgene med de anvendte bølgeforsøgsforhold angivet, ligesom uroen i det følgende kort er beskrevet for de enkelte udformninger, dels for den eksisterende havn (Bølgemåler 5, 6 og 7), dels for det nye havneafsnit mellem den eksisterende nordmole og den nye nordmole (Bølgemåler 4, 9 og 10).



Figur 6.8 Resultater fra forsøg Etape 2a (Udformning 0 er den eksisterende udformning)

### Udformning 1

I den eksisterende havn giver denne udformning en reduktion af bølgehøjderne på 20-40%.

I det nye havneafsnit er uroen af samme størrelsesorden som i det eksisterende havneafsnit.

### Udformning 2

I den eksisterende havn giver denne udformning en reduktion af bølgehøjderne på 30-50%.



I det nye havneafsnit er uroen af samme størrelsesorden som i det eksisterende havneafsnit.

### **Udformning 3**

I den eksisterende havn giver denne udformning stort set ingen ændringer af bølgeforholdene.

I området mellem den nye mole og den eksisterende nordmole (Bølgemåler 4, 9 og 10) bliver bølgehøjden op til 4,3m for de undersøgte bølgehøjder. Bølgehøjderne bliver generelt højest ved bølgemåler 10.

### **Udformning 4**

I den eksisterende havn giver denne udformning en reduktion af bølgehøjderne på 15-40%.

I området mellem den nye mole og den eksisterende nordmole (Bølgemåler 4, 9 og 10) bliver bølgehøjden fra 0,75m til 2,5m for de undersøgte bølgehøjder. Bølgehøjderne bliver generelt højest ved bølgemåler 10.

Det fremgår således at den 25m lange tværmole giver en betydelig reduktion af bølgerne i forhold til Udformning 3. Uroen i havnen er dog større end i Udformning 2.

Det må konkluderes at en vertikalmole kun giver meget små forbedringer af uroforholdene i havnen.

### **Udformning 5**

I den eksisterende havn giver denne udformning en reduktion af bølgehøjderne på 25-60%.

I området mellem den nye mole og den eksisterende nordmole bliver bølgehøjden fra 0,6m til 2m for de undersøgte bølgehøjder. Bølgehøjderne bliver generelt højest ved bølgemåler 4.

### **Udformning 6**

I den eksisterende havn giver denne udformning samme reduktion som Udformning 5, bortset fra området ved bølgemåler 6, hvor den nordre indermole har en relativ stor betydning.

I området mellem den nye mole og den eksisterende nordmole bliver bølgeforholdene som i Udformning 5.

### **Udformning 7, 8 og 9**

Såvel i den eksisterende havn som i området mellem den nye mole og den eksisterende nordmole bliver bølgehøjden stort set som i Udformning 6. Dog giver Udformning 9 generelt lidt mindre bølger end de øvrige udformninger.

### **Udformning 10**

Resultaterne viser, at forlængelsen af stenkastningsmolen med 40m virker bedst for de mindste bølgehøjder, som blev undersøgt ( $H_{m0}=1$  og 2m), mens  $H_{m0}=3$  og 4m giver en væsentlig mindre reduktion og i visse tilfælde endog lidt større bølger end i Udformning 8.



### Udformning 11

Denne udformning viste sig at være den suverænt bedste. Bølgehøjderne blev væsentligt reduceret for alle undersøgte bølgehøjder.

I den eksisterende havn giver denne udformning en reduktion af bølgehøjderne på 55-80%. Som det fremgår findes den mindste reduktion ved bølgemåler 6. At reduktionen er mindre her skyldes sandsynligvis at den nordlige indermole er fjernet.

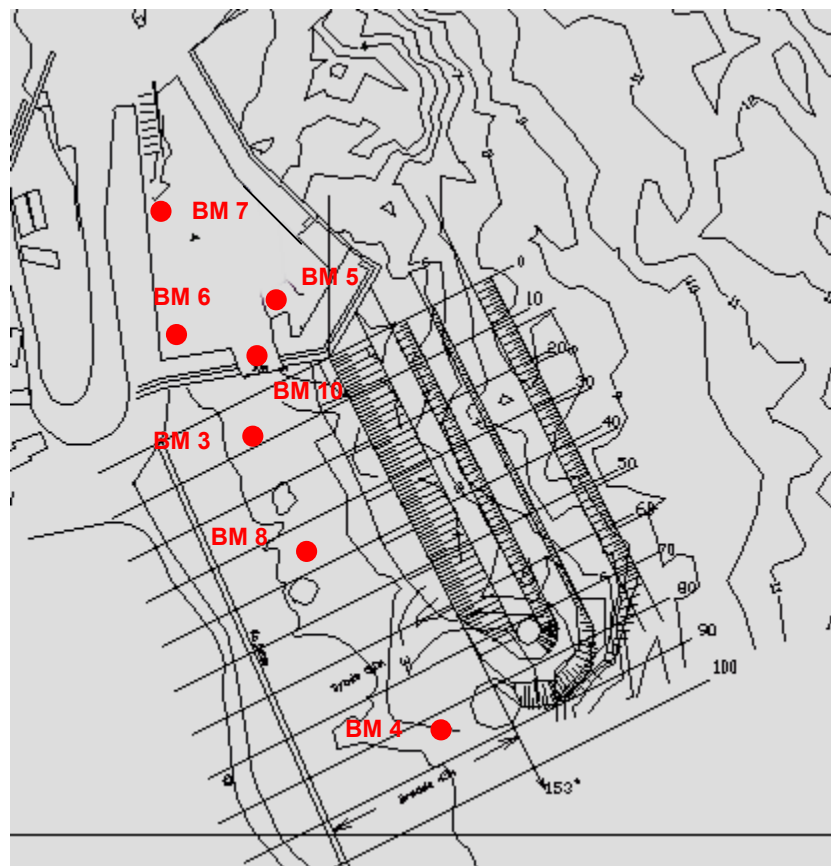
I området mellem den nye mole og den eksisterende nordmole (Bølgemåler 4, 9 og 10) bliver bølgehøjden fra 0,4m til 1m for de undersøgte bølgehøjder. Bølgehøjderne bliver generelt højest ved bølgemåler 4 og 10.

#### 6.2.2 Resultater - Etape 2b

Etape 2b blev udført med udformninger, som indeholdt en ny stenkastningsmole gående mod syd fra den eksisterende sydmole. En ny indsejling blev etableret gennem den eksisterende sydmole. De undersøgte havneudformninger med denne grundudformning er vist i figur 5.6. Resultaterne af disse forsøg er beskrevet i det følgende.

Forsøgene i Etape 2b blev udført med bølgeperioden  $T_p=12s$  og  $H_{m0}=1, 2, 3$  og  $4m$ .

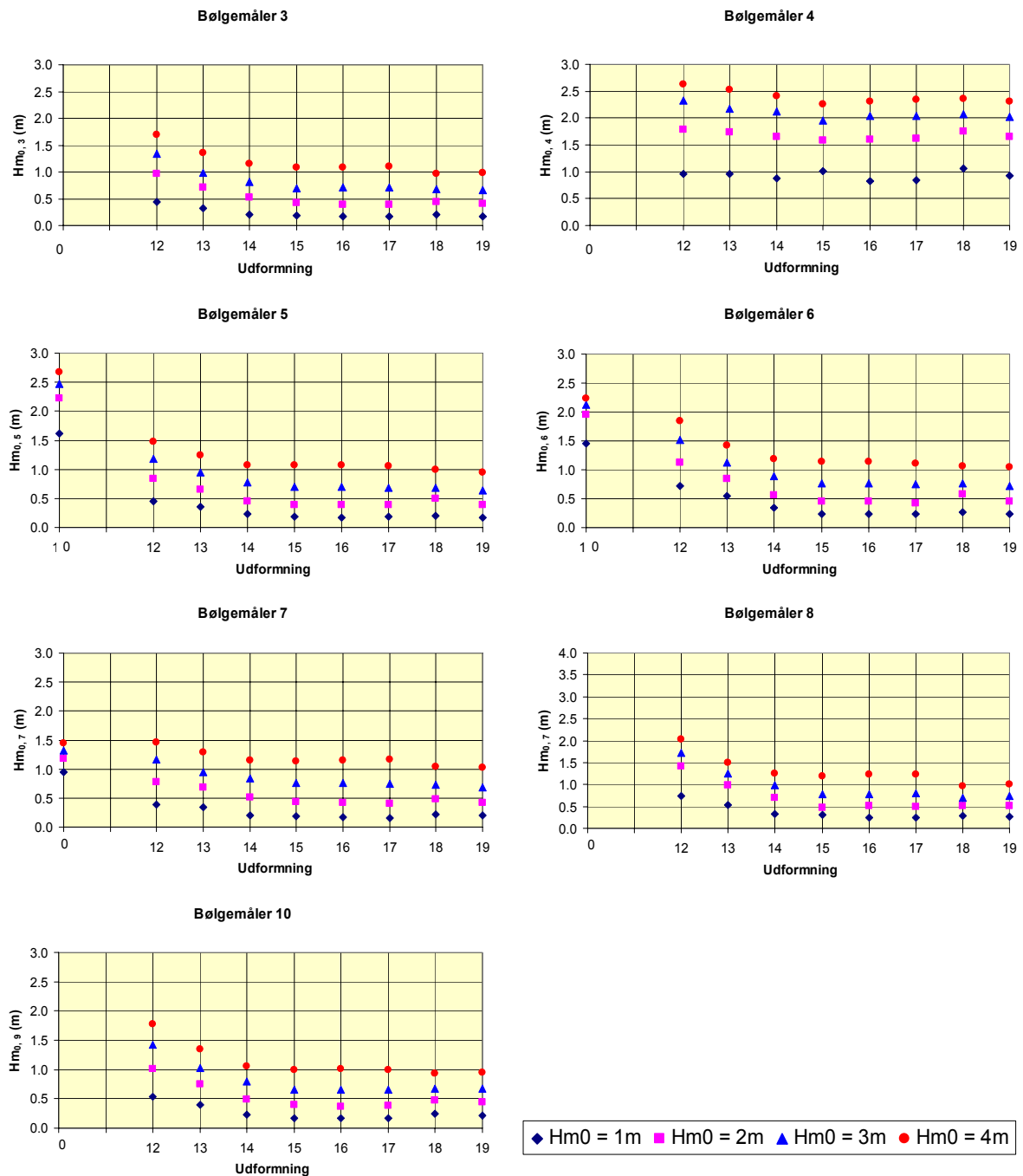
Bølgemålerpositionerne er som vist på figur 6.9.



Figur 6.9 Bølgemålerposition, Etape 2b



På figur 6.10 er bølgeforsøgene med de anvendte bølgeforsøgsforhold angivet, ligesom uroen i det følgende er kort beskrevet for de enkelte udformninger, dels for den eksisterende havn (Bølgemåler 5, 6 og 7), dels for det nye havneafsnit bag den nye sydmoles (Bølgemåler 3, 8 og 10) og i indsejlingen til havnen (Bølgemåler 4).



Figur 6.10 Resultater fra forsøg Etape 2b (0 er den eksisterende udformning)



### **Udformning 12**

I den eksisterende havn (Bølgemåler 5, 6 og 7) giver denne udformning en reduktion af bølgehøjderne på 50-75% for  $H_{m0}=1m$ , 35-60% for  $H_{m0}=2m$ , 10-50% for  $H_{m0}=3m$ , og 0-45% for  $H_{m0}=4m$ . Den største reduktion findes ved bølgemåler 5.

Uroen i det nye havneafsnit er af samme størrelsesorden som i det eksisterende for de undersøgte bølgeforsødsforhold.

### **Udformning 13**

I den eksisterende havn (Bølgemåler 5, 6 og 7) giver denne udformning en reduktion af bølgehøjderne på 60-80% for  $H_{m0}=1m$ , 45-70% for  $H_{m0}=2m$ , 30-60% for  $H_{m0}=3m$ , og 10-50% for  $H_{m0}=4m$ . Som det fremgår findes den største reduktion ved bølgemåler 5, som tidligere var placeret mellem de gamle tværmoler.

Uroen i det nye havneafsnit er af samme størrelsesorden som i det eksisterende for de undersøgte bølgeforsødsforhold.

### **Udformning 14**

I den eksisterende havn (Bølgemåler 5, 6 og 7) giver denne udformning en reduktion af bølgehøjderne på 75-85% for  $H_{m0}=1m$ , 55-80% for  $H_{m0}=2m$ , 35-70% for  $H_{m0}=3m$ , og 20-60% for  $H_{m0}=4m$ . Igen findes den største reduktion ved bølgemåler 5.

Uroen i det nye havneafsnit er af samme størrelsesorden som i det eksisterende for de undersøgte bølgeforsødsforhold.

### **Udformning 15**

I den eksisterende havn (Bølgemåler 5, 6 og 7) giver denne udformning en reduktion af bølgehøjderne på 80-90% for  $H_{m0}=1m$ , 65-80% for  $H_{m0}=2m$ , 40-70% for  $H_{m0}=3m$ , og 20-60% for  $H_{m0}=4m$ . Igen findes den største reduktion ved bølgemåler 5.

Uroen i det nye havneafsnit er af samme størrelsesorden som i det eksisterende for de undersøgte bølgeforsødsforhold.

### **Udformning 16 og 17**

Forsøg med disse to udformninger viste, at bølgeforsødsforholdene i den eksisterende havn er af samme størrelsesorden som i Udformning 15, og at uroen i det nye havneafsnit er af samme størrelsesorden som i det eksisterende for de undersøgte bølgeforsødsforhold.

### **Udformning 18**

Forsøg med denne udformning viste, at bølgehøjderne i den eksisterende havn er lidt større end i Udformning 15 for den mindste bølgehøjde, men lidt mindre for den største bølgehøjde. I den eksisterende havn (Bølgemåler 5, 6 og 7) giver denne udformning en reduktion af bølgehøjderne på 75-85% for  $H_{m0}=1m$ , 60-80% for  $H_{m0}=2m$ , 45-70% for  $H_{m0}=3m$ , og 25-65% for  $H_{m0}=4m$ .

### **Udformning 19**

Forsøg med disse to udformninger viste, at bølgehøjderne generelt er lidt mindre end i Udformning 18.



### 6.3 **Resultater, Etape 3**

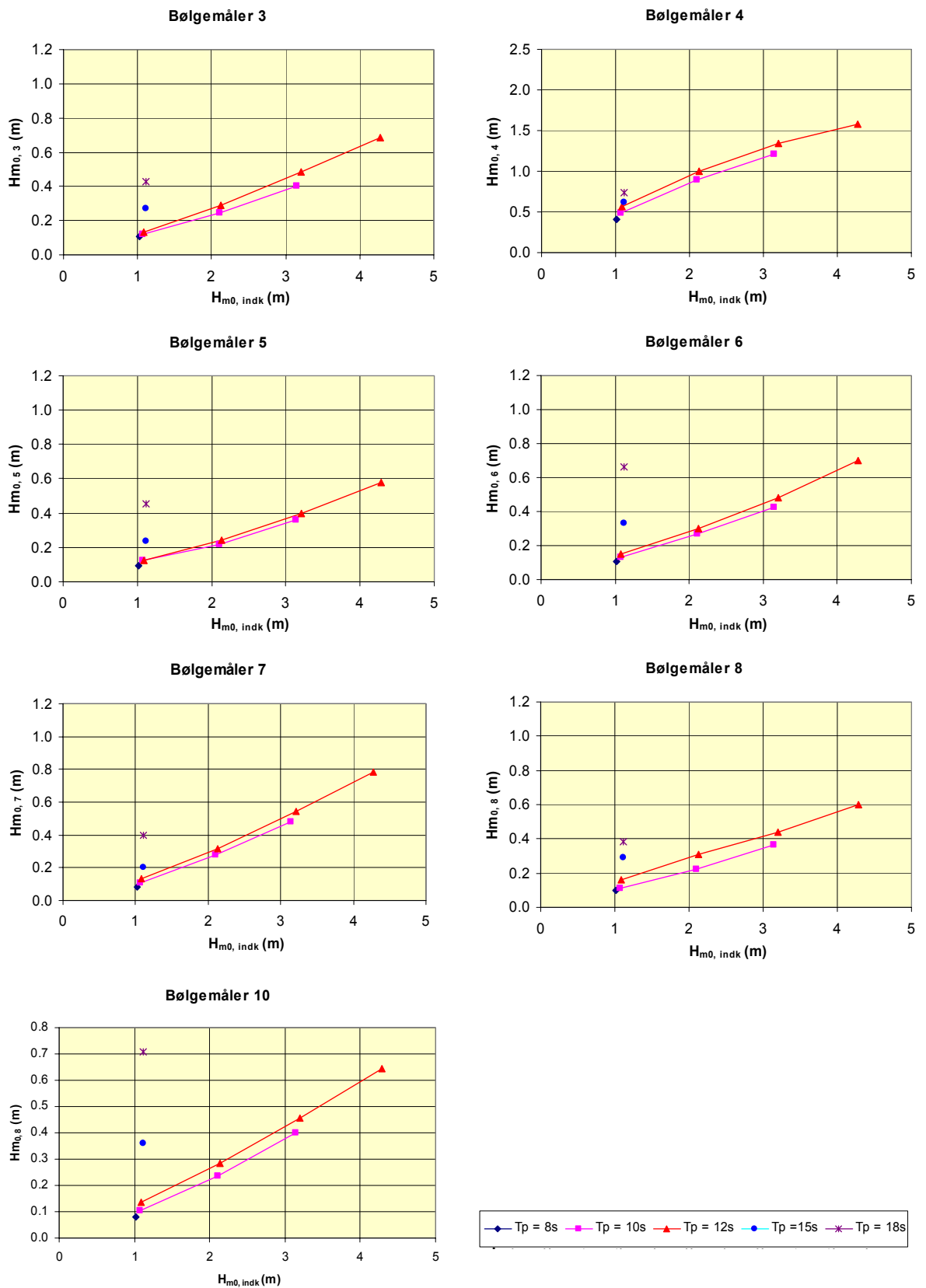
Forsøgene i Etape 3 omfattede den udformning, som blev valgt som den endelige ud fra resultaterne af Etape 2. Bortset fra Udformning 11, som gav de bedste resultater mht. uroen i den eksisterende havn, var det Udformning 15-17, som gav de bedste forhold i havnen. Da Udformning 11 vil medføre en meget lang stenkastningsmole (ca. 140m lang) på relativ store vanddybder, samt en ny søndre sekundær mole, vil dette blive en meget dyr løsning. Udformning 15 blev derfor valgt som den mest hensigtsmæssige af de tre udformninger.

Forsøgene med denne udformning blev udført med bølgeretning NE, E og ESE. Forsøg med bølgeretning SE kunne ikke gennemføres, idet modellens udstrækning mod Syd ikke var tilstrækkelig for denne bølgeretning.

De efterfølgende stabilitetsforsøg viste imidlertid at stenkastningsmolen i Udformning 15 ikke kunne gøres tilstrækkelig stabil uden at anvende urealistisk store brudsten i molehovedet, og derfor blev der udført supplerende forsøg med en vertikalmole med en stenkastning på havnesiden for bølgeabsorption. Denne udformning blev undersøgt for bølgeuro for bølgeretning E og ESE.

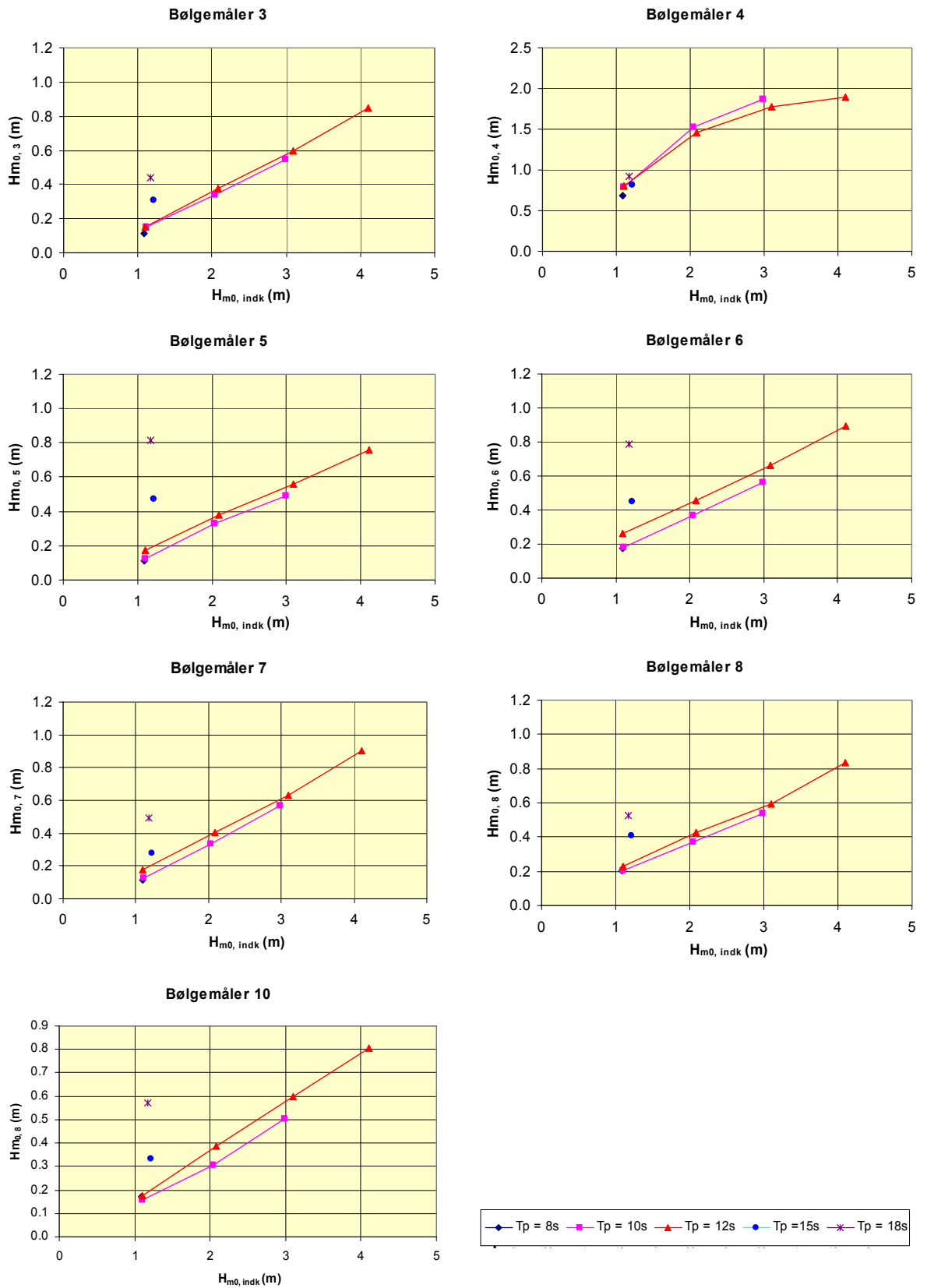
#### **Udformning 15**

Resultaterne af uroforsøgene med Udformning 15 er vist på figur 6.11-6.13.

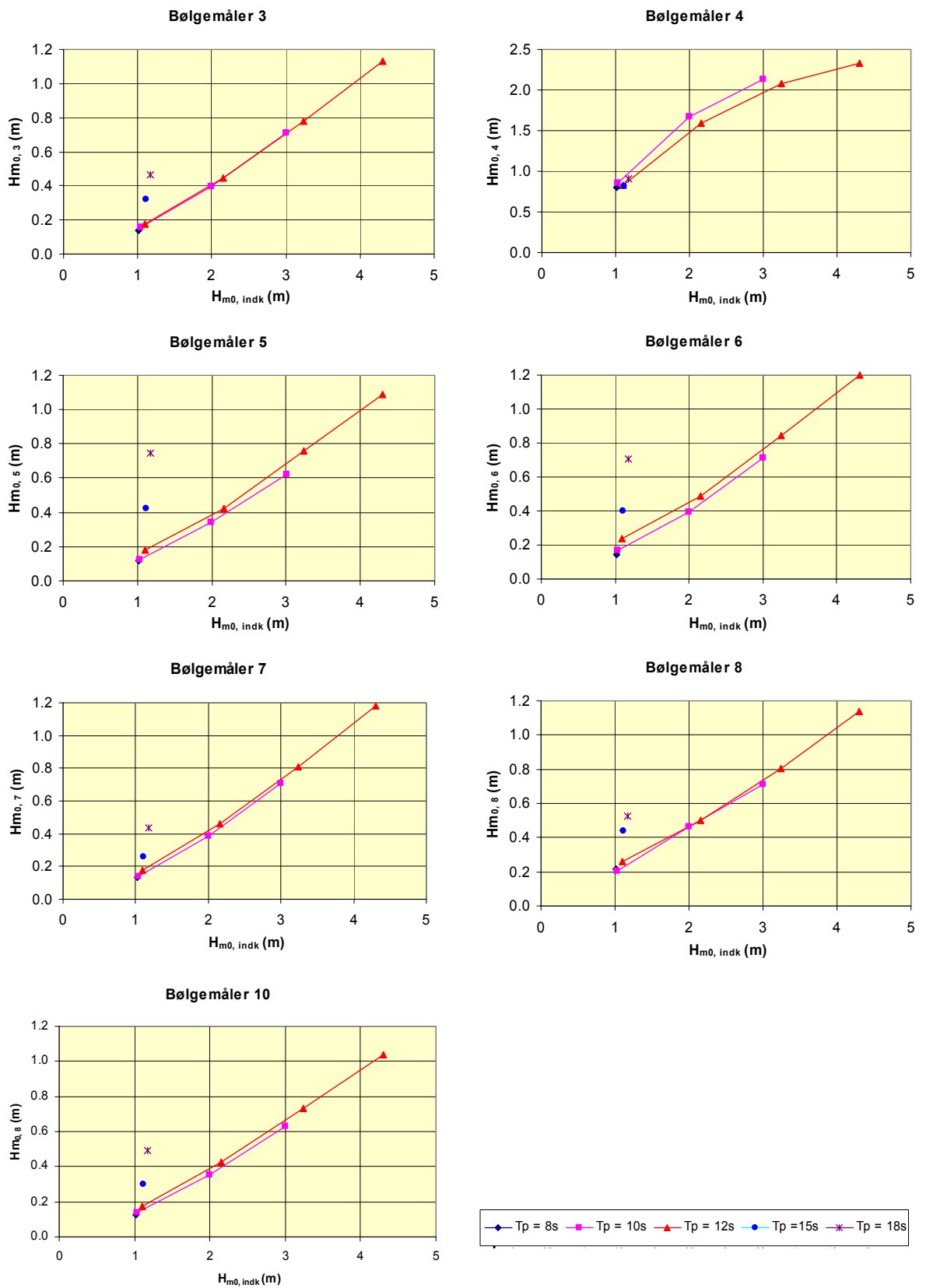


Figur 6.11 Forsøgsresultater, Etape 3, Bølgeretning NE, Udformning 15, bølgemålerplacering se figur 6.9





Figur 6.12 Forsøgsresultater, Etape 3, Bølgeretning E, Udformning 15, bølgemålerplacering se figur 6.9



Figur 6.13 Forsøgsresultater, Etape 3, Bølgeretning ESE, Udformning 15, bølgemålerplacering se figur 6.9



Sammenlignes bølgeforholdene i den nuværende havn med forholdene i Udformning 15 for det eksisterende havneafsnit (Bølgemåler 5, 6 og 7), ses det, at uroen er væsentlig reduceret for alle tre undersøgte bølgeretninger. I tabel 6.1-6.3 er bølgehøjden for forskellige bølgeforhold uden for havnen angivet, dels i den eksisterende, dels i den nye endelige udformning.

**Tabel 6.1 Sammenligning af bølgeforhold (bølgehøjde,  $H_{m0}$ ) i det eksisterende havneafsnit, for den eksisterende havneudformning og for havneudformning 15, Bølgeretning NE**

Indkommende bølger		$H_{m0}$ (m), Eksisterende Havn			$H_{m0}$ (m), Udformning 15		
$H_{m0}$ (m)	$T_p$ (s)	BM 5	BM 6	BM 7	BM 5	BM 6	BM7
≅ 1	8	1,99	2,10	1,66	0,12	0,14	0,13
≅ 1	10	2,21	2,15	1,30	0,12	0,17	0,14
≅ 2	10	3,05	2,80	1,51	0,34	0,39	0,38
≅ 3	10	3,21	3,00	1,64	0,62	0,71	0,71
≅ 1	12	2,00	1,89	1,12	0,18	0,24	0,18
≅ 2	12	2,53	2,54	1,50	0,42	0,49	0,46
≅ 3	12	2,71	2,57	1,53	0,76	0,84	0,81
≅ 4	12	2,85	2,77	1,72	1,09	1,20	1,18
≅ 1	15	1,68	2,18	1,07	0,42	0,40	0,26
≅ 1	18	2,45	3,23	1,34	0,75	0,71	0,44

**Tabel 6.2 Sammenligning af bølgeforhold (bølgehøjde,  $H_{m0}$ ) i det eksisterende havneafsnit, for den eksisterende havneudformning og for havneudformning 15, Bølgeretning E**

Indkommende bølger		$H_{m0}$ (m), Eksisterende Havn			$H_{m0}$ (m), Udformning 15		
$H_{m0}$ (m)	$T_p$ (s)	BM 5	BM 6	BM 7	BM 5	BM 6	BM7
≅ 1	8	1,39	1,40	1,09	0,11	0,17	0,12
≅ 1	10	1,70	1,60	0,91	0,12	0,18	0,13
≅ 2	10	2,55	2,35	1,26	0,33	0,37	0,34
≅ 3	10	2,95	2,68	1,42	0,49	0,56	0,57
≅ 1	12	1,84	1,59	1,02	0,18	0,26	0,18
≅ 2	12	2,51	2,18	1,31	0,38	0,45	0,40
≅ 3	12	2,78	2,37	1,50	0,56	0,66	0,63
≅ 4	12	2,96	2,56	1,66	0,76	0,89	0,90
≅ 1	15	1,68	1,68	1,00	0,48	0,45	0,28
≅ 1	18	2,01	2,31	1,10	0,82	0,79	0,50

**Tabel 6.3 Sammenligning af bølgeforhold (bølgehøjde,  $H_{m0}$ ) i det eksisterende havneafsnit, for den eksisterende havneudformning og for havneudformning 15, Bølgeretning ESE**

Indkommende bølger		$H_{m0}$ (m), Eksisterende Havn			$H_{m0}$ (m), Udformning 15		
$H_{m0}$ (m)	$T_p$ (s)	BM 5	BM 6	BM 7	BM 5	BM 6	BM7
≅ 1	8	1,07	1,18	0,88	0,12	0,14	0,13
≅ 1	10	1,37	1,33	0,77	0,12	0,17	0,14
≅ 2	10	2,17	2,00	1,07	0,34	0,39	0,38
≅ 3	10	2,53	2,33	1,22	0,62	0,71	0,71
≅ 1	12	1,61	1,46	0,94	0,18	0,24	0,18
≅ 2	12	2,22	1,95	1,19	0,42	0,49	0,46
≅ 3	12	2,48	2,13	1,33	0,76	0,84	0,81
≅ 4	12	2,67	2,24	1,44	1,09	1,20	1,18
≅ 1	15	1,58	1,56	0,91	0,42	0,40	0,26
≅ 1	18	1,82	2,00	0,95	0,75	0,71	0,44



Mens bølgehøjderne i den eksisterende havn generelt reduceres når bølgeretningen går fra NE via E til ESE, er bølgeførholdene i det eksisterende havneafsnit med et par undtagelser næsten ens for de tre bølgeretninger i Udformning 15.

Sammenlignes uroforholdene i den eksisterende udformning med uroen i Udformning 15, fås følgende relationer for de tre bølgeretninger.

**Tabel 6.4** Reduktioner af bølgehøjder ( $H_{m0, udf 15}/H_{m0, eks}$ ) bølgeretning NE, havneudformning 15

Indkommende bølger		$H_{m0, udf 15}/H_{m0, eks}$		
$H_{m0}$ (m)	$T_p$ (s)	BM 5	BM 6	BM 7
$\cong 1$	8, 10, 12	0,05-0,09	0,07-0,13	0,08-0,21
$\cong 2$	10, 12	0,11-0,17	0,14-0,19	0,26-0,33
$\cong 3$	10, 12	0,19-0,28	0,24-0,33	0,43-0,53
$\cong 1$	15, 18	0,25-0,31	0,18-0,22	0,24-0,33

Note:  $H_{m0, udf 15}/H_{m0, eks}=0,10$  betyder at uroen i udformning 15 er 10% af uroen i den eksisterende udformning

**Tabel 6.5** Reduktioner af bølgehøjder ( $H_{m0, udf 15}/H_{m0, eks}$ ) bølgeretning E, havneudformning 15

Indkommende bølger		$H_{m0, udf 15}/H_{m0, eks}$		
$H_{m0}$ (m)	$T_p$ (s)	BM 5	BM 6	BM 7
$\cong 1$	8, 10, 12	0,07-0,10	0,11-0,16	0,11-0,18
$\cong 2$	10, 12	0,13-0,15	0,16-0,21	0,27-0,31
$\cong 3$	10, 12	0,17-0,20	0,21-0,28	0,40-0,42
$\cong 1$	15, 18	0,29-0,41	0,27-0,34	0,28-0,45

**Tabel 6.6** Reduktioner af bølgehøjder ( $H_{m0, udf 15}/H_{m0, eks}$ ) bølgeretning ESE, havneudformning 15

Indkommende bølger		$H_{m0, udf 15}/H_{m0, eks}$		
$H_{m0}$ (m)	$T_p$ (s)	BM 5	BM 6	BM 7
$\cong 1$	8, 10, 12	0,09-0,15	0,12-0,13	0,15-0,19
$\cong 2$	10, 12	0,16-0,19	0,19-0,25	0,36-0,39
$\cong 3$	10, 12	0,25-0,31	0,30-0,39	0,58-0,61
$\cong 1$	15, 18	0,27-0,41	0,26-0,36	0,29-0,46

Det ses, at reduktionen er størst for små bølger og små perioder, som repræsenterer de hyppigste bølgeførhold.



Vurderes overskridelsessandsynligheden ud fra resultaterne og bølgestatistikken for måleperioden i naturen, fås følgende resultater for overskridelse af  $H_{m0}=0,5\text{m}$ :

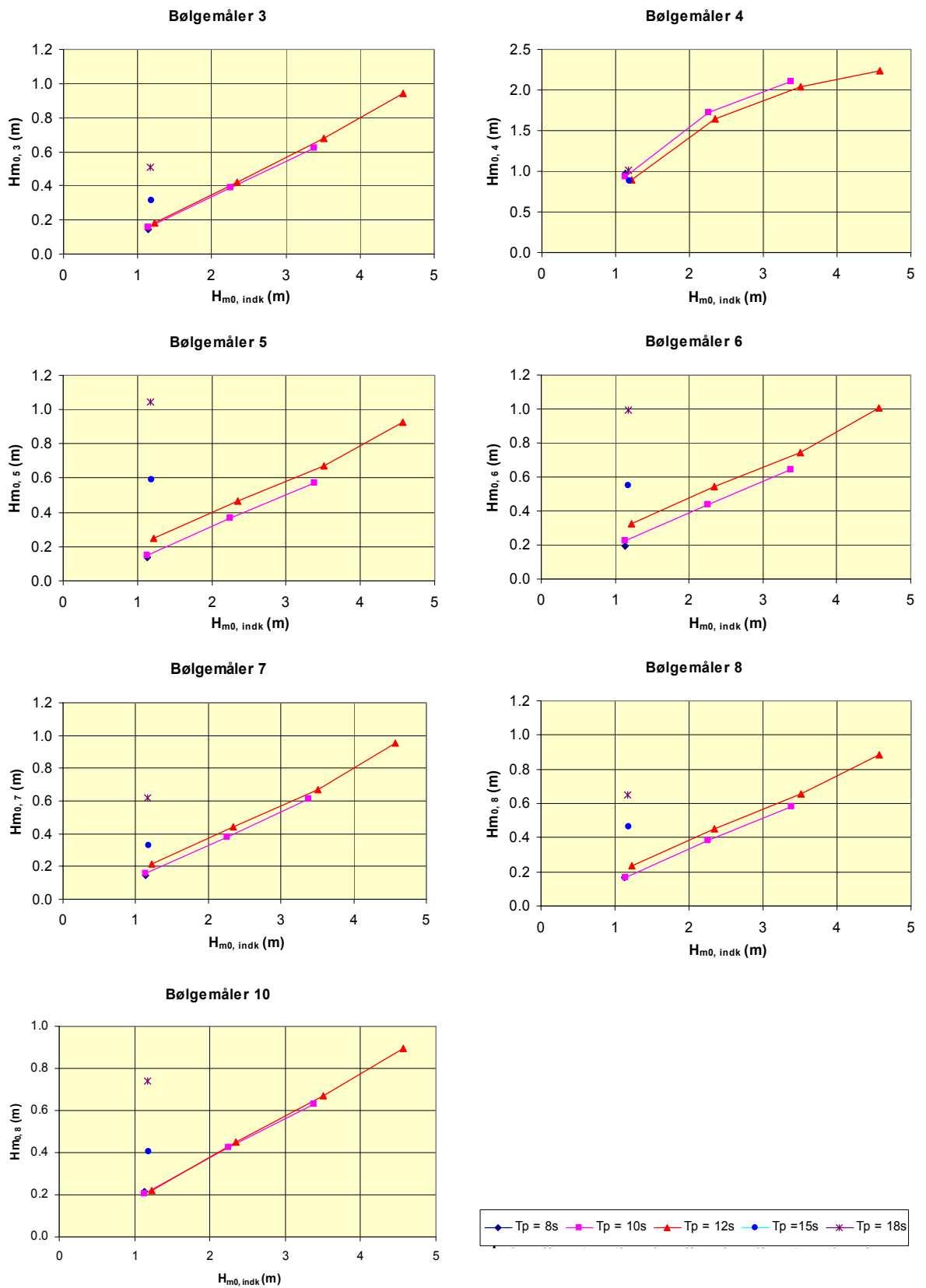
- I den eksisterende del af havnen, dvs. bølgemåler 5, 6 og 7, ville  $H_{m0}=0,5\text{m}$  have været overskredet i 0,7-2,5% af tiden i måleperioden
- I det nye havneafsnit, dvs. bølgemåler 3 og 8, ville  $H_{m0}=0,5\text{m}$  have været overskredet i 0,5-1,2% af tiden i måleperioden

For havne, som betjener småbåde, såsom små fiskefartøjer, lystbåde, etc. vil det normalt kræves, at den signifikante bølgehøjde ikke må overstige ca. 0,3m i mere end ca. 2% af tiden.  $H_{m0}=0,3\text{m}$  vurderes at ville have været overskredet i op til ca. 15% af tiden i måleperioden. Et meget væsentlig bidrag til overskridelsestiden kommer fra de langperiodiske bølger med  $T_p=15-18\text{s}$ . For fortojede skibe vil de kritiske bølgeperioder generelt være i nærheden af bådenes egensvingningsperioder. For småbåde vil disse perioder være betydelig kortere end 15s. Det vurderes, at disse lange perioder ikke vil blive betragtet som værende så kritiske for småbåde, idet bådene bare vil følge med variationerne i vandstanden uden de store problemer. De lange bølger kan dog give væsentlige horisontale bevægelser, og som følge deraf, skal bådene fortojes med omhu.

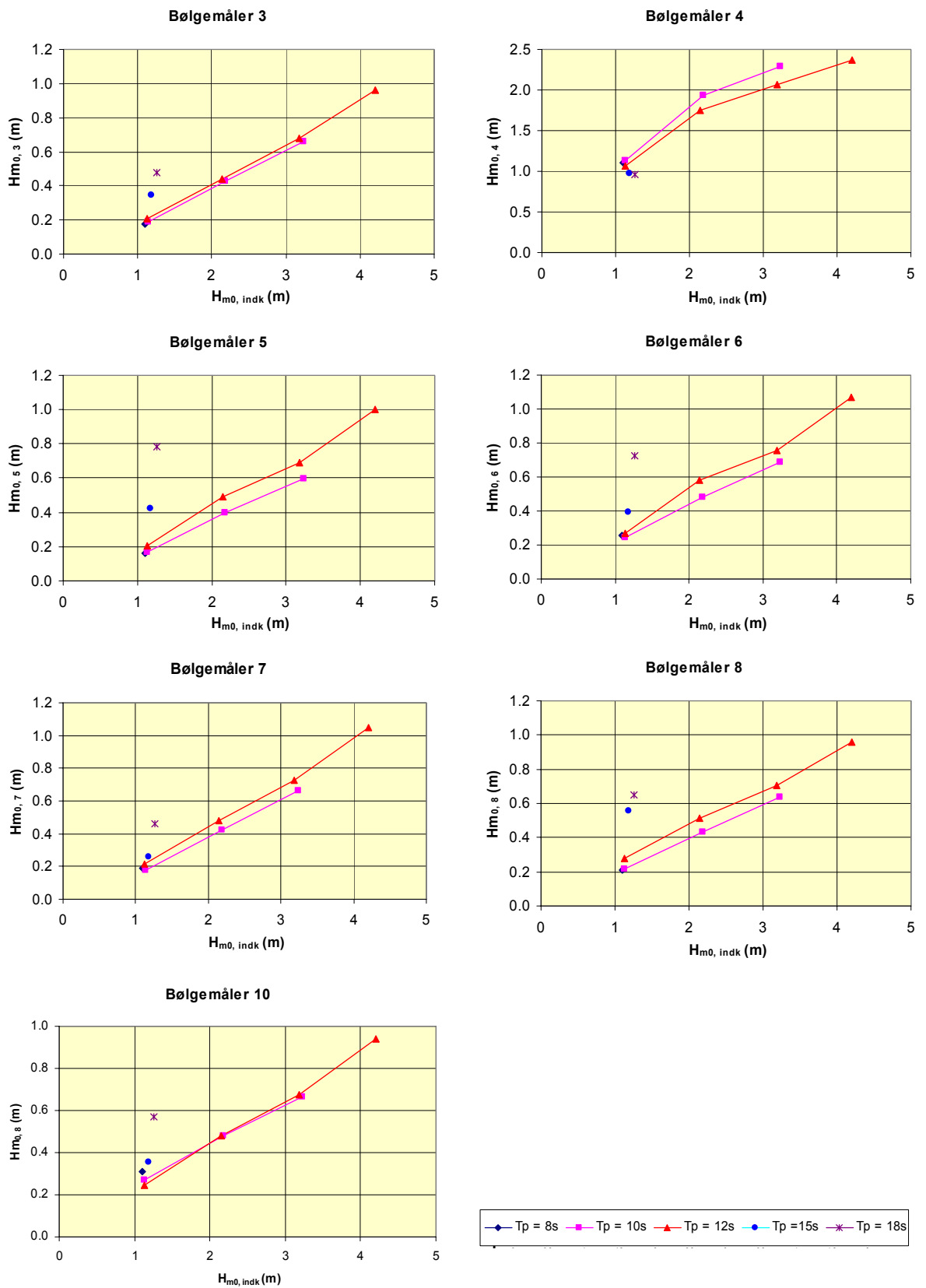
I den nuværende havn har  $H_{m0}=0,5\text{m}$  været overskredet i op til 70-80% af tiden, mens 0,3m har været overskredet i mere end 90% af tiden i naturmåleperioden.

### **Udformning 18 og 19**

Resultaterne af uroforsøgene med Udformning 18 er vist på figur 6.14 og 6.15. Forsøgene med Udformning 18 viste generelt lidt større bølgeuro i havnen end i Udformning 15. Derfor blev der også udført forsøg med Udformning 19, som i forhold til Udformning 18 havde en forlængelse af hovedmolen med 16m (se figur 5.6).



Figur 6.14 Forsøgsresultater, Etape 3, Bølgeretning E, Udformning 18, bølgemålerplacering se figur 6.9



Figur 6.15 Forsøgsresultater, Etape 3, Bølgeretning ESE, Udformning 18, bølgemålerplacering se figur 6.9



Sammenlignes bølgeforsøgene i den nuværende havn med forholdene i Udformning 18 for det eksisterende havneafsnit (Bølgemåler 5, 6 og 7), ses det, at uroen er væsentlig reduceret for begge de undersøgte bølgeretninger. I tabel 6.7 og 6.8 er bølgehøjden for forskellige bølgeforsøg uden for havnen angivet, dels i den eksisterende, dels i den nye endelige udformning.

**Tabel 6.7** Sammenligning af bølgeforsøg (bølgehøjde,  $H_{m0}$ ) i det eksisterende havneafsnit, for den eksisterende havneudformning og for havneudformning 18, Tallene i () angiver bølgehøjden i Udformning 19, Bølgeretning E

Indkommende bølger		$H_{m0}$ (m), Eksisterende Havn			$H_{m0}$ (m), Udformning 18/(19)		
$H_{m0}$ (m)	$T_p$ (s)	BM 5	BM 6	BM 7	BM 5	BM 6	BM 7
≅ 1	8	1,39	1,40	1,09	0,13 (0,12)	0,19 (0,17)	0,14 (0,12)
≅ 1	10	1,70	1,60	0,91	0,15 (0,15)	0,22 (0,22)	0,16 (0,16)
≅ 2	10	2,55	2,35	1,26	0,37 (0,33)	0,44 (0,41)	0,38 (0,35)
≅ 3	10	2,95	2,68	1,42	0,57 (0,53)	0,64 (0,61)	0,62 (0,58)
≅ 1	12	1,84	1,59	1,02	0,25 (0,24)	0,32 (0,30)	0,21 (0,21)
≅ 2	12	2,51	2,18	1,31	0,46 (0,44)	0,54 (0,51)	0,45 (0,42)
≅ 3	12	2,78	2,37	1,50	0,67 (0,65)	0,75 (0,73)	0,67 (0,67)
≅ 4	12	2,96	2,56	1,66	0,93 (0,87)	1,00 (0,97)	0,95 (0,93)
≅ 1	15	1,68	1,68	1,00	0,59 (0,58)	0,55 (0,55)	0,33 (0,33)
≅ 1	18	2,01	2,31	1,10	1,04 (1,04)	1,00 (1,02)	0,62 (0,64)

**Tabel 6.8** Sammenligning af bølgeforsøg (bølgehøjde,  $H_{m0}$ ) i det eksisterende havneafsnit, for den eksisterende havneudformning og for havneudformning 18, Tallene i () angiver bølgehøjden i Udformning 19, Bølgeretning ESE

Indkommende bølger		$H_{m0}$ (m), Eksisterende Havn			$H_{m0}$ (m), Udformning 18/(19)		
$H_{m0}$ (m)	$T_p$ (s)	BM 5	BM 6	BM 7	BM 5	BM 6	BM 7
≅ 1	8	1,07	1,18	0,88	0,16 (0,12)	0,26 (0,19)	0,19 (0,14)
≅ 1	10	1,37	1,33	0,77	0,17 (0,15)	0,25 (0,22)	0,18 (0,16)
≅ 2	10	2,17	2,00	1,07	0,40 (0,37)	0,48 (0,44)	0,42 (0,39)
≅ 3	10	2,53	2,33	1,22	0,60 (0,60)	0,69 (0,69)	0,66 (0,66)
≅ 1	12	1,61	1,46	0,94	0,20 (0,17)	0,27 (0,24)	0,21 (0,20)
≅ 2	12	2,22	1,95	1,19	0,49 (0,39)	0,58 (0,46)	0,48 (0,43)
≅ 3	12	2,48	2,13	1,33	0,69 (0,64)	0,76 (0,72)	0,73 (0,69)
≅ 4	12	2,67	2,24	1,44	1,00 (0,94)	1,07 (1,05)	1,05 (1,03)
≅ 1	15	1,58	1,56	0,91	0,42 (0,40)	0,39 (0,37)	0,26 (0,25)
≅ 1	18	1,82	2,00	0,95	0,78 (0,71)	0,72 (0,67)	0,46 (0,41)

Mens bølgehøjderne i den eksisterende havn generelt reduceres når bølgeretningen går fra E til ESE, er forskellen i bølgeforsøgene i det eksisterende havneafsnit mellem de to udformninger meget mindre i Udformning 18 (og 19).

Sammenlignes uroforholdene i den eksisterende udformning med uroen i Udformning 18 (19), fås følgende relationer for de to bølgeretninger.





**Tabel 6.9 Reduktioner af bølgehøjder ( $H_{m0, udf 18/(19)}/H_{m0, eks}$ ) bølgeretning E**

Indkommende bølger		$H_{m0, udf 18/(19)}/H_{m0, eks}$		
$H_{m0}$ (m)	$T_p$ (s)	BM 5	BM 6	BM 7
$\cong 1$	8, 10, 12	0,09-0,15 (0,09-0,13)	0,14-0,20 (0,12-0,19)	0,13-0,21 (0,11-0,21)
$\cong 2$	10, 12	0,15-0,18 (0,13-0,18)	0,19-0,25 (0,17-0,23)	0,30-0,34 (0,28-0,32)
$\cong 3$	10, 12	0,19-0,26 (0,18-0,23)	0,24-0,32 (0,23-0,31)	0,44-0,45 (0,41-0,45)
$\cong 1$	15, 18	0,35-0,52 (0,35-0,52)	0,33-0,43 (0,33-0,44)	0,33-0,56 (0,33-0,58)

Note:  $H_{m0, udf 18/(19)}/H_{m0, eks}=0,10$  betyder at uroen i udformning 18/19 er 10% af uroen i den eksisterende udformning

**Tabel 6.10 Reduktioner af bølgehøjder ( $H_{m0, udf 18/(19)}/H_{m0, eks}$ ) bølgeretning ESE**

Indkommende bølger		$H_{m0, udf 18/(19)}/H_{m0, eks}$		
$H_{m0}$ (m)	$T_p$ (s)	BM 5	BM 6	BM 7
$\cong 1$	8, 10, 12	0,12-0,15 (0,11)	0,18-0,22 (0,16-0,17)	0,22-0,23 (0,16-0,23)
$\cong 2$	10, 12	0,18-0,22 (0,17-0,18)	0,24-0,30 (0,22-0,24)	0,39-0,40 (0,36)
$\cong 3$	10, 12	0,24-0,28 (0,24-0,26)	0,30-0,36 (0,30-0,34)	0,54-0,55 (0,52-0,54)
$\cong 1$	15, 18	0,27-0,43 (0,25-0,39)	0,25-0,36 (0,24-0,34)	0,29-0,48 (0,27-0,43)

Note:  $H_{m0, udf 18/(19)}/H_{m0, eks}=0,10$  betyder at uroen i udformning 18/19 er 10% af uroen i den eksisterende udformning

Som tilfældet var med Udformning 15 er reduktionen størst for de mindste bølger og de mindste perioder, som repræsenterer de hyppigste bølgeforhold.

Vurderes overskridelsessandsynligheden ud fra resultaterne og bølgestatistikken for måleperioden i naturen, fås følgende resultater for overskridelse af  $H_{m0}=0,5m$ :

- I den eksisterende del af havnen, dvs. bølgemåler 5, 6 og 7, ville  $H_{m0}=0,5m$  have været overskredet i 0,5-5% af tiden i måleperioden
- I det nye havneafsnit, dvs. bølgemåler 3 og 8, ville  $H_{m0}=0,5m$  også have været overskredet i 0,5-5% af tiden i måleperioden

$H_{m0}=0,3m$  vurderes at ville have været overskredet i op til ca. 20% af tiden i måleperioden. Langt det største bidrag til overskridelsestiden kommer fra de langperiodiske bølger med  $T_p=15-18s$ . Dette skyldes at det eksisterende havneafsnit har en egensvingningsperiode, som ligger meget tæt på 18s, hvilket betyder at bølger i nærheden af disse perioder bliver forstærket.

For fortøjede skibe vil de kritiske bølgeperioder generelt være i nærheden af bådernes egensvingningsperioder. For småbåde vil disse perioder være betydelig kortere end 15s. Det vurderes, at disse lange perioder ikke vil blive betragtet som værende så kritiske for småbåde, idet bådene bare vil følge med variationerne i vandstanden uden de store problemer. De lange bølger kan dog give væsentlige horisontale bevægelser, og som følge deraf, skal bådene fortøjes med omhu.

I den nuværende havn har  $H_{m0}=0,5m$  været overskredet i op til 70-80% af tiden, mens 0,3m har været overskredet i mere end 90% af tiden i naturmåleperioden. I modsætning til den nye havneudformning giver alle bølgeperioder i den eksisterende havn bidrag til overskridelsestiden.



## 6.4 Konklusion på uroforsøgene

Følgende konklusioner kan drages på grundlag af uroforsøgene:

- Bølgeforholdene i den eksisterende havneudformning er sammenlignelig med eller endda værre end uden for havnen, hvilket overvejende er i god overensstemmelse med målingerne foretaget gennem næsten et år i naturen.

### Udformning med ny Nordmole

- En ny 100m lang nordmole udgående fra kajområdet nord for den eksisterende havn mod syd (Udformning 5-8) vil give en reduktion af uroen i havnen på op til ca. 50%.
- En ny 140m lang nordmole kombineret med en kort sydmole (Udformning 11) vil give en reduktion af uroen i havnen på op til 80%.

### Udformning med ny Sydmole

- En knap 100m lang stenkastningsmole mod syd med rod på den eksisterende sydmole (Udformning 15) kombineret med en kort sekundær mole mod syd, blev i første omgang valgt som den endelige udformning. Indsejlingen til den eksisterende havn vil foregå gennem en ny åbning i den eksisterende sydmole. Denne udformning vil give en forbedring af uroforholdene i det eksisterende havneafsnit på op til ca. 90%. Uroen i havnen vil blive mest reduceret for de mindste og korteste af bølgerne. Bølgeperioder på  $T_p=15-18s$  vil blive mindst reduceret.
- Vurderes overskridelsessandsynlighederne, findes at en bølgehøjde på  $H_{m0}=0,3m$  vil have været overskredet i op til 15% af tiden i det eksisterende havneafsnit i den endelig valgte udformning, og  $H_{m0}=0,5m$  i op til 2.5% af tiden i naturmåleperioden. De tilsvarende overskridelsessandsynligheder for den eksisterende havn var henholdsvis mere end 90% ( $H_{m0}=0,3m$ ) og op til 80% af tiden ( $H_{m0}=0,5m$ ).
- En knap 100m lang vertikalmole (Udformning 18 og 19) med en tværmole, som giver samme indsejlsbredde som stenkastningsmolen giver lidt større uro end Udformning 15. Overskridelsessandsynligheden for 0,5m bølgehøjde er i havnen op til 5%, og for 0,3m bølgehøjde op til 20% af tiden, hvoraf de lang-periodiske bølger på  $T_p=15$  og 18s tegner sig for op til 18%.
- De lange svingninger forårsaget af bølger med perioderne  $T_p=15$  og 18s bliver med vertikalmolen reduceret til 40-50% af bølgehøjden i den eksisterende havn. Da havnens egensvingninger er på ca. 18s, er det specielt denne periode som giver anledning til store vandspejlselevationer i havnen. Vandspejlselevationerne bliver yderligere forstærket i den nordlige del af det eksisterende havnebassin på grund af bassinets udformning med indsnævringen her.



## 7 STABILITETSFORSØG

Der blev efter afslutningen af uroforsøgene udført stabilitetsforsøg med sektioner af den nordlige mole i Udformning 15. I nærværende afsnit er stabilitetsforsøgene og resultaterne heraf beskrevet.

### 7.1 Konstruktion af modellen

Forsøgene blev udført i den samme model som uroforsøgene og derfor i samme skala, dvs. i en længdeskala 1:40.

#### 7.1.1 Modellov

Som i uroforsøgene anvendes Froudes modellov til at omsætte modelresultaterne til prototypeværdier. Imidlertid vil det være nødvendigt i omregningen af vægten af stenene fra model til prototypeværdier at korrigere for densiteten af såvel sten som vand i model og prototype. Denne korrektion blev udført ved hjælp af Hudsons formel for stabilitet af en moles dæklag:

$$\bar{W} = \frac{H_{m0}^3 \cdot \rho_s}{K_D \cdot a \left( \frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \right)^3}$$

hvor

- $\bar{W}$  = middelvægten af dækstenene (t)
- $H_{m0}$  = signifikant bølgehøjde (m)
- $\rho_s$  = densitet af sten materialet ( $t/m^3$ )
- $\rho_w$  = densitet af vand ( $t/m^3$ )
- $K_D$  = dimensionsløs stabilitets faktor
- $a$  = dæklagets anlæg

Forholdet mellem inerti- og tyngdekræfter skal være det samme i model og natur, hvilket betyder at  $N^3 = K_D \cdot a$  skal være ens i model og prototype.

Dette betyder, at følgende relation mellem stenvægten i model (indeks m) og prototype (indeks p) er gældende:

$$\frac{\bar{W}_m}{\bar{W}_p} = \frac{1}{\lambda^3} \frac{\rho_{sm} \left( \frac{\rho_{sp}}{\rho_{wp}} - 1 \right)^3}{\rho_{sp} \left( \frac{\rho_{sm}}{\rho_{wm}} - 1 \right)^3} \quad \text{hvor } \lambda = \text{længdeskalaen (=40)}$$



I transformationen fra model til prototype har følgende værdier for densiteten af sten og vand været anvendt:

$$\rho_{sm}=2.72t/m^3$$

$$\rho_{sp}=2.70t/m^3$$

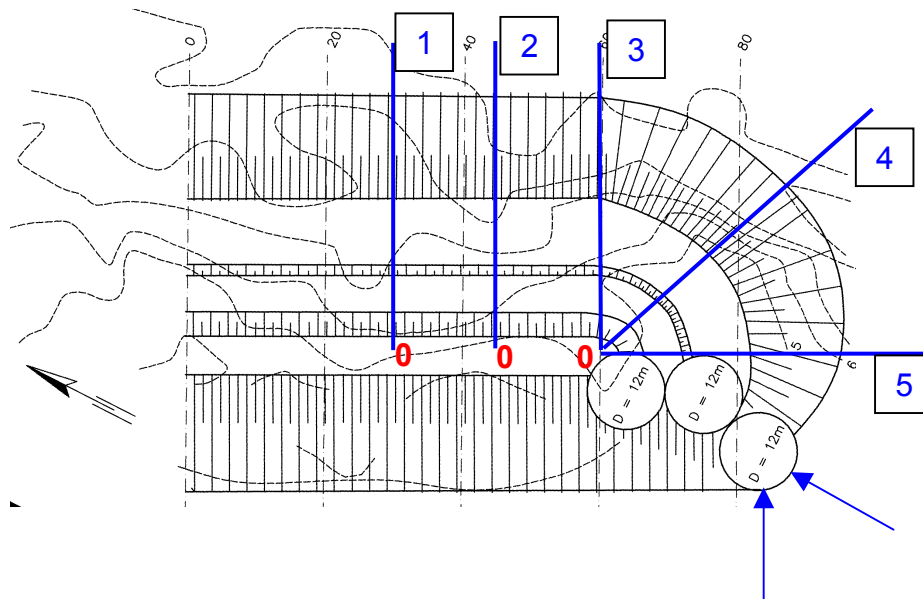
$$\rho_{wm}=1.0t/m^3$$

$$\rho_{wp}=1.03t/m^3$$

### 7.1.2 Bølgegenerering, målinger og analyser

Bølgerne blev genereret som i uroforsøgene, se afsnit 4.3. Alle forsøg blev udført med bølgetog, som var genereret på basis af JONSWAP spektre. Hvert forsøg havde en varighed på 5 timer i naturen.

Stabiliteten af molen blev observeret visuelt efter hvert forsøg. Stabiliteten blev bedømt ud fra omplaceringen af stenene i profilet. Efter hvert forsøg blev der dels taget billeder af molen, dels opmålt profiler langs molen for at vurdere beskadigelsens omfang. Profiler blev opmålt i Sektion 1-5, se figur 7.1.



Figur 7.1 Udformning Profil 1. Sektioner 1-5 som blev opmålt gennem forsøgsserien



## 7.2 Modelforsøg, Profil 1

### 7.2.1 Forsøgssektioner

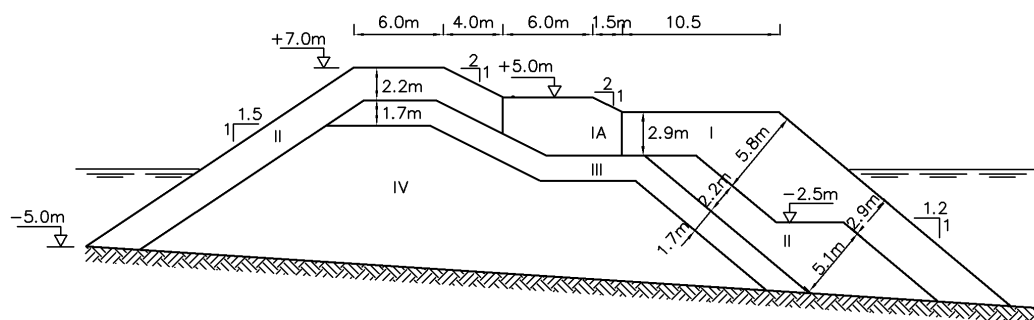
Udformning 15 blev anvendt i forsøgene. To forsøgssektioner blev undersøgt i model-forsøgene:

- molehovedet
- en 50m lang sektion af molen nærmest molehovedet

Bathymetrien på det sted, hvor molehovedet i fremtiden skal ligge er meget uregelmæssig med meget store stejkheder. Da molehovedet består af tre sænkekasser som skal funderes på -7m, og da mindste dybde i havnen og i indsejlingen til havnen skal være -5m, blev det besluttet at modellere mindste dybde i området med molen til -5m.

Som nævnt bestod molehovedet af tre sænkekasser placeret i funderingsdybden -7m. Kronekoten på sænkekasserne var +5m for de to yderste og +7m for den inderste.

Forsøgssektionerne udstrækning er vist på figur 7.1. Det generelle profil for stenkastningsmolen er vist på figur 7.2.



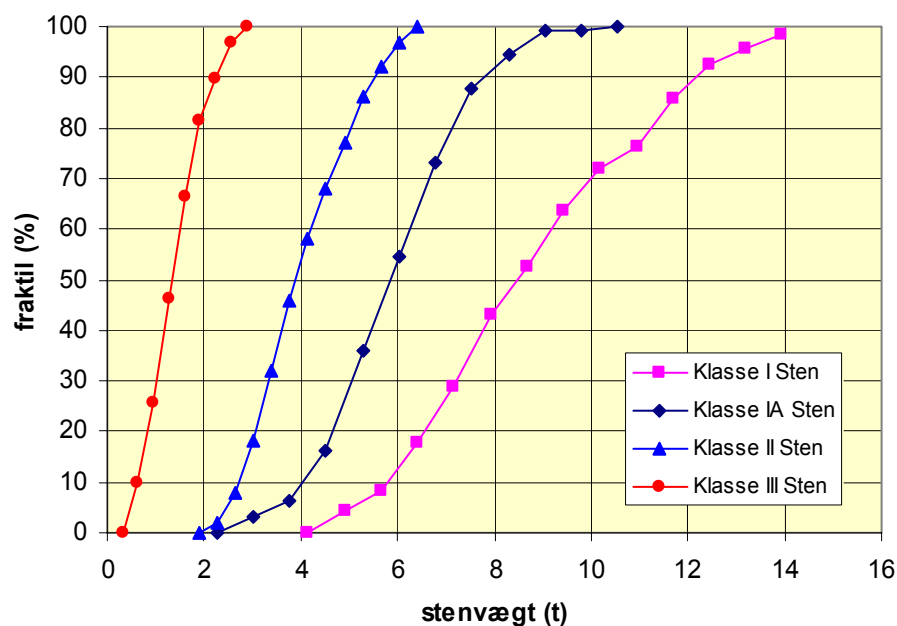
pot02.0553043-21

Figur 7.2 Det generelle profil af molen, Udformning Profil 1

### 7.2.2 Specifikation af stenmateriale

Moleprofilet blev som det fremgår af det generelle moleprofil opbygget af 5 stenklasser:

- Klasse IV: Kernemateriale, som i modellen blev reproduceret som sten 200-450mm
- Klasse III: Filter 0,3-2,5t
- Klasse II: Sten på krone og bagside, underlagssten på havsiden 2,5-5,5t
- Klasse IA: Sten i øverste banket på havsiden 4-8t
- Klasse I: Dæksten på havsiden forside skråning og underste banket 5,5-12,5t



Figur 7.3 Stengraderinger anvendt i modellen

### 7.2.3 Forsøgsprogram

Forsøgsprogrammet er vist i tabel 7.1. Hvert forsøg havde en varighed på svarende til 5 timer (naturlid).

Tabel 7.1 Forsøgsprogram

Forsøgs nr.	Indkommende bølgeforhold			Vandstand (m)
	$H_{m0}$ (m)	$T_p$ (s)	Retning	
1	2	10	ESE	+1,0
2	3	12	ESE	+1,0
3	4	12	ESE	+1,0
4	4,5	12	ESE	+1,0
5	5	14	ESE	+1,0
6	5,5	14	ESE	+1,0
7	5	14	ESE	0,0

### 7.2.4 Resultater

Resultaterne af alle forsøg er præsenteret i dette afsnit. Resultaterne er beskrevet forsøg for forsøg. Skadesudviklingen for hvert forsøg er præsenteret i bilag A, dels som fotos efter hvert forsøg, dels som profiludvikling under hvert forsøg.



### **Forsøg nr. 301**

Bølgeforhold: Bølgeretning ESE,  $H_{m0}=1,9\text{m}$ ,  $T_p=10\text{s}$ , vandstand +1,0m.

#### *Molehoved*

Under dette forsøg blev tre sten flyttet. Der var ingen flytning af sænkekasserne. Profilet var således helt intakt efter forsøget.

#### *Molekrop*

Under dette forsøg blev 2 sten af klasse I stenene flyttet på skråningen. Profilet var således helt intakt efter forsøget.

### **Forsøg nr. 302**

Bølgeforhold: Bølgeretning ESE,  $H_{m0}=3,05\text{m}$ ,  $T_p=12\text{s}$ , vandstand +1,0m.

#### *Molehoved*

Under dette forsøg blev 10-15 sten flyttet på skråningen. Fire sten på den nederste banket (klasse I sten) blev flyttet. Der var ingen flytning af sænkekasserne. Der var flytninger af 4-5sten i bundbeskyttelsen omkring sænkekasserne. Profilet var helt acceptabelt efter forsøget.

#### *Molekrop*

Under dette forsøg blev 5-10 sten på skråningen flyttet. På krone og bagside skete ingen flytninger. Profilet var helt acceptabelt efter forsøget.

### **Forsøg nr. 303**

Bølgeforhold: Bølgeretning ESE,  $H_{m0}=4,15\text{m}$ ,  $T_p=12\text{s}$ , vandstand +1,0m.

#### *Molehoved*

Under dette forsøg skete der betydelige omplaceringer i profilet. Det vurderes at omkring 75 sten på skråningen og 15-20 sten på nederste banket blev flyttet. Omfanget af skader/flytninger af sten var sådan, at de yderste 5m af den vandrette nederste banket i kote +4.0m var påvirket. Flytningerne forårsagede at enkelte dæksten flyttede sig til indsejlingsområdet.

Den inderste af de tre sænkekasser blev flyttet under forsøget. Flytningen svarer til ca. 0,8m i naturen. Som følge af den sprække mellem sænkekasse 2 og 3, som opstod da sænkekasse 3 flyttede sig, kunne vandstrømninger finde sted mellem de to sænkekasser. Dette forårsagede skader på bagsiden.

Der var flytninger af yderligere 3-4 sten i bundbeskyttelsen omkring sænkekasserne. Tre sten blev flyttet ud af området.

Bortset fra at der blev flyttet sten fra dæklaget ind i indsejlingsområdet og flytningen af sænkekassen under forsøget, hvilket ikke er acceptabelt, vurderes det at profilet var tilstrækkelig stabil for disse bølgeforhold.



### *Molekrop*

Profilet var stort set intakt efter forsøget på trods af at 30-40 sten blev flyttet nedad på skråningen

Der skete ingen yderligere beskadigelser af krone og bagside.

### **Forsøg nr. 304**

Bølgeforhold: Bølgeretning ESE,  $H_{m0}=4,50\text{m}$ ,  $T_p=12\text{s}$ , vandstand +1,0m.

### *Molehoved*

Under dette forsøg fortsatte de betydelige omplaceringer i profilet. Det var specielt tæt ved sænkekasserne, der skete betydelige omplaceringer. Omfanget af skader/flytninger af sten var sådan, at den yderste halvdel af den vandrette nederste banket i kote +4.0m var påvirket tæt ved sænkekasse 2. Flytningerne forårsagede, at en del flere dæksten (i alt 10-15 sten) flyttede sig til indsejlingsområdet.

Den inderste af de tre sænkekasser flyttede sig yderligere under forsøget, den totale flytning efter forsøget blev målt til ca. 1,0m (naturmål). Som følge af den sprække mellem sænkekasse 2 og 3, skete der yderligere skader på bagsiden.

Der var flytninger af yderligere få sten i bundbeskyttelsen omkring sænkekasserne.

Bortset fra at der blev flyttet sten fra dæklaget ind i indsejlingsområdet og flytningen af sænkekassen under forsøget, vurderes det at profilet var tilstrækkelig stabil for disse bølgeforhold.

### *Molekrop*

Profilet var stort set intakt efter forsøget på trods af, at en del sten blev flyttet nedad på skråningen. Profilmålingerne afslørede at der sker en transport af sten nedad i profilet. De yderste 2-3m af bankettet i kote +4m er fjernet og hældningen af profilet er efter forsøget ca. 1:1,6 i gennemsnit omkring sektion 2, se figur A.7 i Bilag A.

Der skete ingen beskadigelser af krone og bagside.

### **Forsøg nr. 305**

Bølgeforhold: Bølgeretning ESE,  $H_{m0}=4,95\text{m}$ ,  $T_p=14\text{s}$ , vandstand +1,0m.

### *Molehoved*

Under dette forsøg fortsatte de betydelige omplaceringer i profilet. Det var specielt tæt ved sænkekasserne, der skete betydelige omplaceringer. Omfanget af skader/flytninger af sten var sådan, at de yderste 60% af den vandrette nederste banket i kote +4.0m var påvirket tæt ved sænkekasse 2. Flytningerne forårsagede, at en del flere dæksten (i alt efter forsøget var der ca. 25 sten i dette område) flyttede sig til indsejlingsområdet.

Den inderste af de tre sænkekasser flyttede sig yderligere under forsøget, den totale flytning efter forsøget blev målt til ca. 1,25m (naturmål). Som følge af den sprække mellem sænkekasse 2 og 3, skete der yderligere skader på bagsiden. Flytningerne på bagside er nu så store, at der kernematerialet er synligt gennem dæklaget visse steder.





Der var flytninger af yderligere få sten i bundbeskyttelsen omkring sænkekasserne.

Bortset fra at der blev flyttet sten fra dæklaget ind i indsejlingsområdet og flytningen af sænkekassen under forsøget, vurderes det at profilet var tilstrækkelig stabil for disse bølgeforhold.

#### *Molekrop*

Profilet var stort set intakt efter forsøget på trods af, at en del sten blev flyttet nedad på skråningen. Profilmålingerne afslører, at der sker en transport af sten nedad i profilet. De yderste 2-3m af bankettet i kote +4m er fjernet og hældningen af profilet er efter forsøget ca. 1:1,8 i gennemsnit omkring sektion 2, se figur A.7 i Bilag A.

Der skete ingen beskadigelser af krone og bagside.

#### **Forsøg nr. 306**

Bølgeforhold: Bølgeretning ESE,  $H_{m0}=5,45m$ ,  $T_p=14s$ , vandstand +1,0m.

#### *Molehoved*

Under dette forsøg fortsatte de betydelige omplaceringer i profilet. Det var specielt tæt ved sænkekasserne, der skete betydelige omplaceringer. Omfanget af skader/flytninger af sten var sådan, at stort set hele den vandrette nederste banket i kote +4.0m var påvirket tæt ved sænkekasse 2. Efter forsøget var mere end 30 sten, som havde flyttet sig til indsejlingsområdet.

Den inderste af de tre sænkekasser flyttede sig yderligere lidt under forsøget, den totale flytning efter forsøget blev målt til ca. 1,35m (naturmål). Som følge af den sprække mellem sænkekasse 2 og 3, skete der yderligere skader på bagsiden. Flytningerne på bagside er nu så store, at der kernematerialet er synligt gennem dæklaget visse steder bag sænkekasse 1 og 2.

Der var flytninger af yderligere få sten i bundbeskyttelsen omkring sænkekasserne.

Bortset fra at der blev flyttet sten fra dæklaget ind i indsejlingsområdet og flytningen af sænkekassen under forsøget, vurderes det at profilets havside netop var tilstrækkelig stabil for disse bølgeforhold.

#### *Molekrop*

Profilet var stort set intakt efter forsøget på trods af, at en del sten blev flyttet nedad på skråningen. Der sker yderligere en vis transport af sten nedad i profilet. De yderste 5-10m af bankettet i kote +4m er fjernet og hældningen af profilet er efter forsøget ca. 1:2 i gennemsnit omkring sektion 2 og 3, se figur A.7 og A.8 Bilag A.

Der skete ingen beskadigelser af krone og bagside.



### Forsøg nr. 307

Bølgeforsøg: Bølgeretning ESE,  $H_{m0}=4,95\text{m}$ ,  $T_p=14\text{s}$ , vandstand 0,0m.

#### Molehoved

Under dette forsøg skete der næsten ingen yderligere omplaceringer af sten. Profilerne før og efter forsøget var stort set uændrede.

Den inderste af de tre sænkekasser flyttede sig næsten ikke yderligere under forsøget, den totale flytning efter forsøget blev målt til ca. 1,35m (naturmål). Som følge af denne sprække mellem sænkekasse 2 og 3, skete der yderligere beskadigelse på bagsiden.

#### Molekrop

Der skete kun små ændringer med moleprofilen gennem det sidste forsøg.

Der skete ingen beskadigelser af krone og bagside.

### 7.2.5 Konklusion

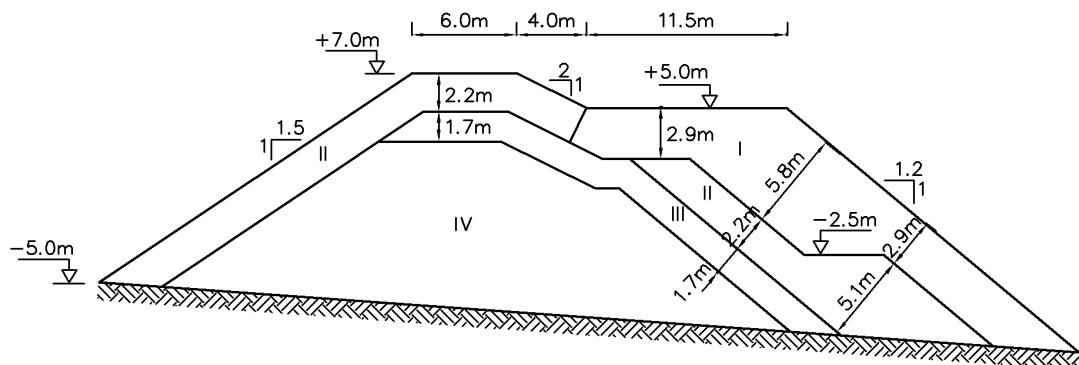
Ud fra resultaterne af forsøgene kan følgende konklusioner drages:

- Beskadigelserne på molehovedets havside var acceptable ud fra et stabilitetsmæssigt synspunkt.
- En del sten blev omplaceret på molehovedets havside, og en del af disse sten blev flyttet til indsejlingsområdet. Dette vil ikke være acceptabelt.
- Den yderste sænkekasse blev flyttet. Dette vil ikke være acceptabelt.
- Flytningen af sænkekassen medførte at en del af bagsiden på molehovedet blev beskadiget.
- Omplaceringerne på molens krop var begrænsede og helt acceptable.

### 7.3 Modelforsøg, Profil 2

Ud fra resultaterne af forsøgene med Profil 1 blev det besluttet at ændre moleprofilerne på følgende måde:

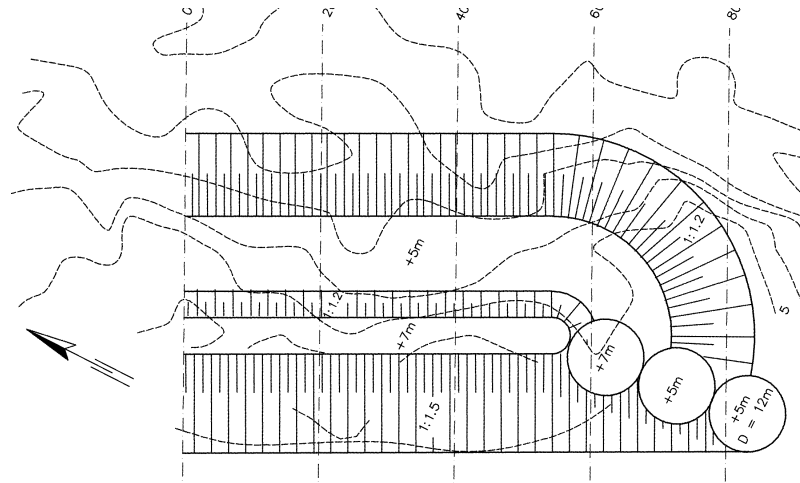
- Det generelle profil blev reduceret som vist på figur 7.4. En reduktion blev valgt fordi forsøgene med det første profil viste, at det oprindelige profil kunne optimeres.



pot02.0553043-20

Figur 7.4 Det generelle profil af molen, Udformning Profil 2

- Flytningen af dæksten fra molehovedets dæklag til indsejlingsområdet var ét af problemerne ved Profil 1. Den effekt blev søgt imødegået ved at placere sænkekasserne på en ret linie, som sammen med reduktionen af dæklaget betød, at der ville være en afstand på ca. 10m fra foden af stenkastningen til sænkekassens sydligste kant. Sænkekassernes placering er vist på figur 7.5.
- Flytningen af den yderste af de tre sænkekasser blev søgt løst ved at koble de to yderste sænkekasser sammen.



Figur 7.5 Udformning Profil 2

### 7.3.1 Forsøgssektioner

De samme forsøgssektioner som tidligere blev anvendt.

- molehovedet for nordre mole
- en ca. 50m lang sektion af molen nærmest molehovedet

De to forsøgssektioner er de samme som i Profil 1, se figur 7.1. Opmålingssektionerne for profilerne sektion 1-5 er placeret de samme steder på molen, se også figur 7.1.

### 7.3.2 Specifikation af stenmateriale

Det samme stenmateriale som før blev anvendt.

### 7.3.3 Forsøgsprogram

Forsøgsprogrammet er vist i tabel 7.2.

Tabel 7.2 Forsøgsprogram

Forsøgs Nr.	Indkommende bølgeforhold			Vandstand (m)
	$H_{m0}$ (m)	$T_p$ (s)	Retning ( $^{\circ}$ N)	
311	3,0 (3,05)	12	ESE	+1,0
312	4,0 (4,10)	12	ESE	+1,0
313	4,5 (4,60)	12	ESE	+1,0
314	5,5 (5,50)	14	ESE	+1,0



### 7.3.4 Resultater

Resultaterne af alle forsøg er præsenteret i dette afsnit. Resultaterne er beskrevet forsøg for forsøg. Skadesudviklingen for hvert forsøg er præsenteret i bilag B, dels som fotos efter hvert forsøg, dels som profiludvikling under hvert forsøg.

#### **Forsøg nr. 311**

Bølgeforsøg: Bølgeretning ESE,  $H_{m0}=3,05\text{m}$ ,  $T_p=12\text{s}$ , vandstand +1,0m.

##### *Molehoved*

Under dette forsøg blev 8-10 sten (klasse I) flyttet på skråningen. Ca. 15 sten på bankettet (klasse I sten) blev flyttet. Der var ingen flytning af sænkekasserne.

Der var flytninger af 3-4sten (klasse I) i bundbeskyttelsen omkring sænkekasserne.

Profilet var helt acceptabelt efter forsøget.

##### *Molekrop*

Under dette forsøg blev 5-10 sten (klasse I) på skråningen flyttet. Ca. 15 sten på bankettet (klasse I sten) blev flyttet.

På krone og bagside skete ingen flytninger.

Profilet var helt acceptabelt efter forsøget.

#### **Forsøg nr. 312**

Bølgeforsøg: Bølgeretning ESE,  $H_{m0}=4,10\text{m}$ ,  $T_p=12\text{s}$ , vandstand +1,0m.

##### *Molehoved*

Under dette forsøg skete der betydelige omplaceringer i profilet. Det var ikke muligt at tælle antallet af sten som blev flyttet. Omfanget af skader/flytninger af sten var sådan, at der i sektion 5 var mellem 0,5 og 1m eroderet af skråningen fra banketniveau til kote -2m, mens der tilsvarende er deponeret sten fra kote -3m og ned til havbunden. I sektion 3 og 4 er ændringen noget mindre.

De to sammenkoblede yderste af de tre sænkekasser (kasse 2 og 3) blev under forsøget flyttet, hvad der svarer til ca. 0,4m i naturen. På grund af overskyl på sænkekasserne blev området bag ved kasserne beskadiget. Specielt området lige bag ved sænkekasse 1 blev påvirket.

Der var flytninger af yderligere 3-4 sten i bundbeskyttelsen omkring sænkekasserne.

Bortset fra flytningen af sænkekassen under forsøget vurderes det, at profilet var tilstrækkelig stabil for disse bølgeforsøg.

##### *Molekrop*

Profilet var tilfredsstillende efter forsøget på trods af, at en del sten blev flyttet nedad på skråningen

Der skete ingen yderligere beskadigelser af krone og bagside.



### **Forsøg nr. 313**

Bølgeforhold: Bølgeretning ESE,  $H_{m0}=4,60\text{m}$ ,  $T_p=12\text{s}$ , vandstand  $+1,0\text{m}$ .

#### *Molehoved*

Under dette forsøg fortsatte de betydelige omplaceringer i profilet. Det var specielt tæt ved sænkekasserne, der skete betydelige omplaceringer. Omfanget af skader/flytninger af sten var sådan, at der i sektion 5 er mellem 1 og 3m (figur B.4 i Bilag B) eroderet af skråningen fra banketniveau til kote -2m, mens der tilsvarende er deponeret sten fra kote -3m og ned til havbunden. Også i sektion 4 var der en signifikant ændring under dette forsøg, se figur B.5 i Bilag B. I sektion 3 (figur B.6 i Bilag B) var ændringen noget mindre.

De to sammenkoblede sænkekasser flyttede sig yderligere under forsøget. Den totale flytning efter forsøget blev målt til ca. 0,65m (naturmål). På grund af overskyl på sænkekasserne blev området bag ved kasserne beskadiget.

Der var flytninger af yderligere få sten i bundbeskyttelsen omkring sænkekasserne.

Bortset fra flytningen af sænkekassen under forsøget vurderes det, at profilet var tilstrækkelig stabil for disse bølgeforhold, selv om beskadigelsen af stenkastningen ved molehovedet er massiv.

#### *Molekrop*

Profilet fremstod tilfredsstillende efter forsøget på trods af, at en del sten blev flyttet nedad på skråningen. Profilmålingerne afslørede en transport af sten nedad i profilet. De yderste 2-3m af bankettet i kote +5m var fjernet og hældningen af profilet var efter forsøget ca. 1:1,5 i gennemsnit omkring sektion 2, se figur B.7 i Bilag B.

Bortset fra de skader der skete som følge af overskyl ved molehovedet, skete der ingen beskadigelser af krone og bagside.

### **Forsøg nr. 314**

Bølgeforhold: Bølgeretning ESE,  $H_{m0}=5,50\text{m}$ ,  $T_p=14\text{s}$ , vandstand  $+1,0\text{m}$ .

Forsøget blev afsluttet efter 4 timers forsøg på grund af så store skader, at det ville være urimeligt at fortsætte.

#### *Molehoved*

Under dette forsøg fortsatte de betydelige omplaceringer i profilet, som især var koncentreret i sektion 4 og 5. I sektion 4 var ca. halvdelen af bankettet i kote +5m eroderet væk og hældningen af profilet var efter forsøget ca. 1:2. Ved sektion 5 var næsten hele bankettet eroderet væk, hældningen af profilet var efter forsøget ca. 1:4 (fra kote +2m og ned til havbunden). I sektion 3 var ændringen noget mindre.

De to sammenkoblede sænkekasser flyttede sig yderligere under forsøget. Den totale transversale flytning efter forsøget blev målt til ca. 1,1m (naturmål). Efter forsøget hælder de to yderste sænkekasser få grader mod land.

På grund af overskyl på sænkekasserne blev området bag ved kasserne stærkt beskadiget.



Der var flytninger af yderligere få sten i bundbeskyttelsen omkring sænkekasserne.

Stenkastningen ved sænkekasserne er efter dette forsøg så stærkt beskadiget, at reststabiliteten må betegnes som helt utilstrækkeligt både på havsiden og på havnesiden af sænkekasserne. Endvidere er flytningen af de to yderste sænkekasser helt uacceptabelt.

#### *Molekrop*

Profilet fremstod tilfredsstillende efter forsøget på trods af, at en del sten blev flyttet nedad på skråningen. Profilmålingerne afslørede en transport af sten nedad i profilet. De yderste 2-4m af bankettet i kote +5m var fjernet og hældningen af profilet var efter forsøget 1:1,5 til 1:2, se figur B.6-B.8 i Bilag B.

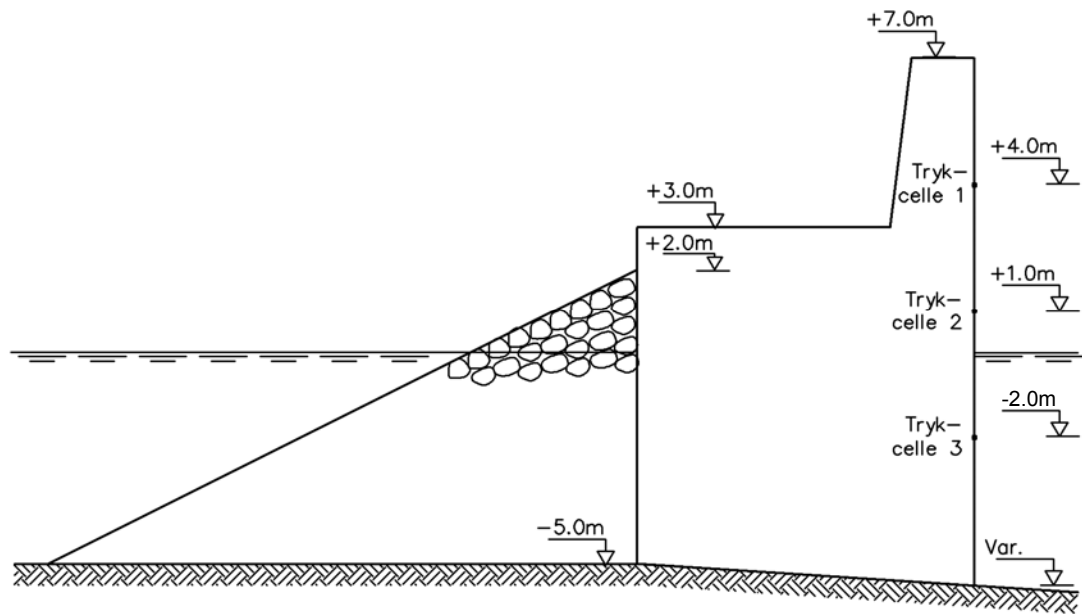
Bortset fra de skader der skete som følge af overskyl ved molehovedet, skete der ingen beskadigelser af krone og bagside.

## **7.4 Modelforsøg, Profil 3**

Resultaterne af forsøgene med de to stenkastningsprofiler viste store svagheder i stabiliteten af molehovedet, såvel i stabiliteten af stenkastningen, som i stabiliteten af sænkekasserne. På baggrund af forsøgsresultaterne blev det vurderet, at stenstørrelsen i molehovedet skulle være mindst 18-20t for at opnå tilstrækkelig stabilitet. Endvidere skulle sænkekasserne fæstnes til bunden for at opnå tilstrækkelig stabilitet. En sådan stenstørrelse ville blive vanskeligt både at skaffe og håndtere, og da sænkekasserne samtidig skulle fæstnes til havbunden, blev det besluttet at ændre udformningen til en vertikal mole med en bølgedæmpende stenkastning på bagsiden. Molen vil blive fast forankret i klippen.

Molen blev bygget således at havsiden af profilet udgik fra et punkt på den eksisterende sydmole. Punktet lå ca. 5m vest for molehovedet. Dette viste sig at være uheldigt set fra et overskylsmæssigt synspunkt, idet bølgerne som løber mod nord langs den nye mole bliver koncentreret på den yderste del af den eksisterende mole med meget store overskyl til følge. Havsiden af det nye profil bør derfor udgå fra molehovedet på den eksisterende sydmole.

Forsøgene blev gennemført med to forskellige typer sten på den bølgedæmpende stenskråning på bagsiden, på den nordlige halvdel blev der anvendt Klasse I sten, og på den sydlige Klasse II sten. Under forsøgene blev stabiliteten af stenene på bagsiden observeret, og der blev ligeledes målt tryk på den lodrette moles forside. Trykkene blev målt i kote +1m (højvandstand), i kote -2m og i kote +4m. Det byggede profil er vist på figur 7.6.



pot02.0553043-22

Figur 7.6 Undersøgt profil af vertikalmolen, Profil 3

#### 7.4.1 Forsøgsprogram

Forsøgsprogrammet er vist i tabel 7.3.

Tabel 7.3 Forsøgsprogram, Profil 3

Forsøgs Nr.	Indkommende bølgeforhold			Vandstand (m)
	$H_{m0}$ (m)	$T_p$ (s)	Retning (°N)	
331	5,0 (5,30)	14	ESE	0,0
332	4,5 (4,70)	12	ESE	+1,0
333	5,0 (5,20)	14	ESE	+1,0
334	5,5 (5,70)	14	ESE	+1,0
341	5,0 (5,70)	14	E	+1,0
342	5,0 (5,60)	14	E	0.0

#### 7.4.2 Resultater

Resultaterne af alle forsøg er præsenteret i dette afsnit. Skaderne på bagsiden af profilet for hvert forsøg er vist i figur C.1 i Bilag C som fotos efter hvert forsøg. Endvidere er fordelingen af trykkene målt i de tre niveauer angivet i figur C.2 i Bilag C for alle forsøg.



## Forsøg nr. 331-334 og 341-342

### Bagside

Der blev observeret kraftige overskyl på molen under disse forsøg.

På bagsiden blev mange sten flyttet nedad skråningen fra niveauet omkring +2m. Ingen af stenene blev flyttet ud over linien der beskriver begrænsningen, som defineres af en linie som udgår fra tværmolens begrænsning gående parallelt med molen.

Der sker flytninger af både de små og de store sten på bagsiden, men de største flytninger finder sted på de små sten.

På figurer i Bilag C er beskadigelsen vist for hver forsøg. Som det fremgår er der en del flytninger af sten specielt fra den øverste del af skråningen, men da stabiliteten af stenskråningen ikke influerer på hele molens stabilitet og da stenene ikke flyttes ud i sejlområdet vurderes det, at stenklasse II er tilstrækkeligt at anvende på dette sted.

### Kræfter på molen

Der blev målt tryk i tre niveauer på havsiden af profilet under disse forsøg. Forsøgene havde alle en varighed på 3 timer svarende til ca. 1000 bølger. Signalerne fra trykmålerne blev registreret med en frekvens på 320Hz i modellen svarende til 50,6Hz i naturen. Tryktransducerne var af typen Druck PDCR 1830. Det vil imidlertid ikke være rimeligt at dimensionere molen for en belastning som kun har en varighed på ca. 0,02s. Derfor blev signalerne filtreret med et lavpas filter på 4Hz. Derefter er alle signaler analyseret for kraftspidser, og derefter er fordelingen af kraftspidser beregnet. Figur C.2 i Bilag C angiver fordelingen for alle forsøg.

Ud fra resultaterne præsenteret i figuren er de mest sandsynlige maksimale tryk, som optræder i en storm med tre timers varighed vurderet. Resultaterne er vist i tabel 7.4.

Tabel 7.4 Estimerede maksimale tryk i de tre måleniveauer

Forsøgs Nr.	Maksimale tryk ( $t/m^2$ ) under en tre timers storm		
	P <sub>1</sub> (- 2m)	P <sub>1</sub> (+1m)	P <sub>1</sub> (+4m)
331	7,0	6,2	4,2
332	5,8	5,5	3,8
333	5,9	5,7	4,1
334	6,6	7,0	4,8
341	9,1	11,0	9,5
342	11,0	13,0	7,0
H <sub>m0</sub> =5,7m (/2)*	10,9	11,3	9,0
H <sub>m0</sub> =5,0m (/2)*	9,6	9,9	7,6

Note: \*) Beregning i henhold til /2/ for  $T_p=14s$ , Vandstand +1,0m, vinkelret bølgeindfald





Forsøgsresultaterne for forsøg nr. 341 og 342 blev begge udført med bølgeretning Øst, som danner en vinkel på  $63^\circ$  med molen. Beregnes de horisontale kræfter på konstruktionen ud fra /2/, fås for direkte bølgeindfald vinkelret på molens længdeakse for bølgeforhold dels som i forsøg 341, dels med en indkommende bølgehøjde på  $H_{m0}=5\text{m}$  fås trykforholdene som vist i tabel 7.4. Det ses at der er rimelig god overensstemmelse mellem beregningerne og målingerne.

Det må konkluderes at bølgeretning Øst er ekstrem for bøger af den størrelsesorden. Derfor anbefales det til design at anvende resultaterne af forsøg nr. 334, idet det anbefales at anvende et tryk over hele højden af konstruktionen på  $7\text{t/m}^2$  suppleret med en passende lastkoefficient.

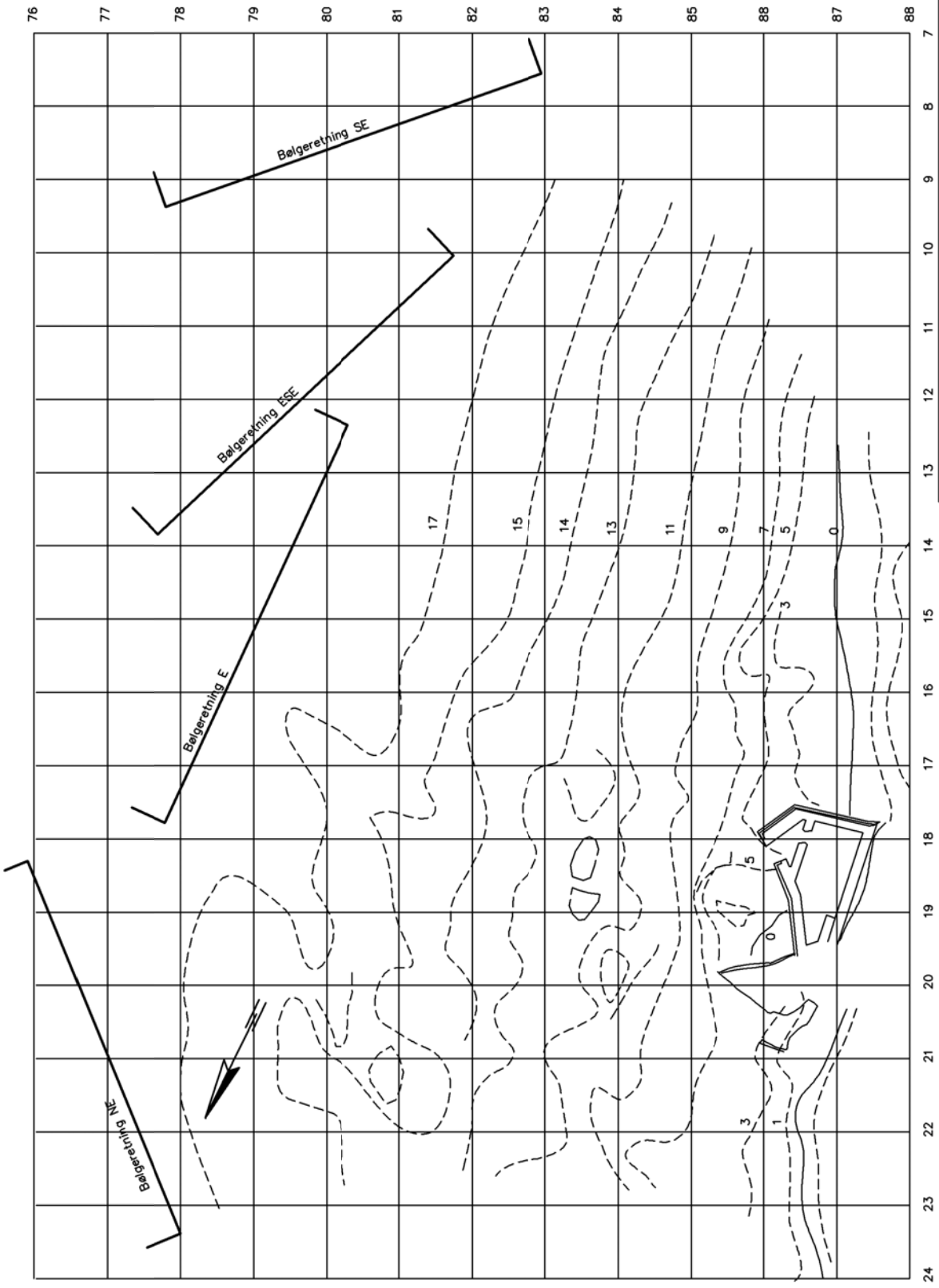



## 8 **REFERENCER**

- /1/ *Skúvoyar Havn, Bølgeforhold i og uden for havnen*, Teknisk notat udført af DHI for Landsverk, Juli 2004
- /2/ *Yoshimi Goda: Random Seas and Design of Maritime Structures*, University of Tokyo Press, 1985



## **TEGNING**



Client: LANDSVERK, FÆRØERNE		ACAD	
Project: Skuvoyar Havn		Drawing No: 4.1	
 WATER & ENVIRONMENT	Date: 02.05	Model Plan	
	File: 53043		
Init: MHe/GJ			

pot 02.0553043-19



## **B I L A G**



## **B I L A G A**

### ***Resultater fra stabilitetsforsøg med stenkastningsmole, Profil 1***



Efter forsøg 302



Efter forsøg 303



Efter forsøg 304



Efter forsøg 305



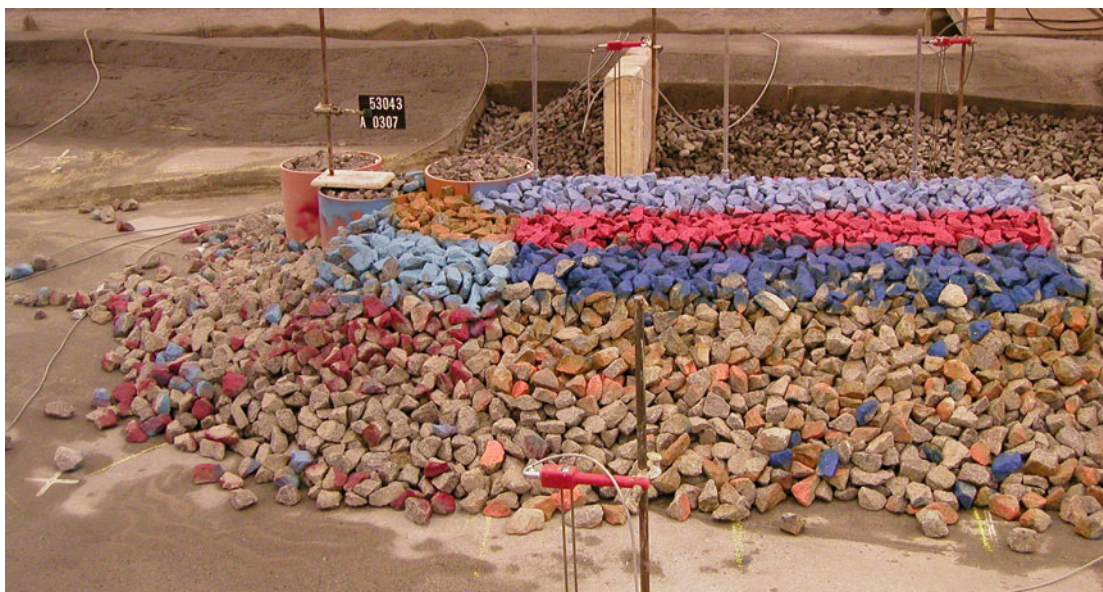
Efter forsøg 306



Efter forsøg 307

Figur A.1 Fotos fra oven efter forsøg 302, 303, 304, 305, 306 og 307





Figur A.2 Molekrop efter forsøgsserien



Figur A.3 Molehoved efter forsøgsserien

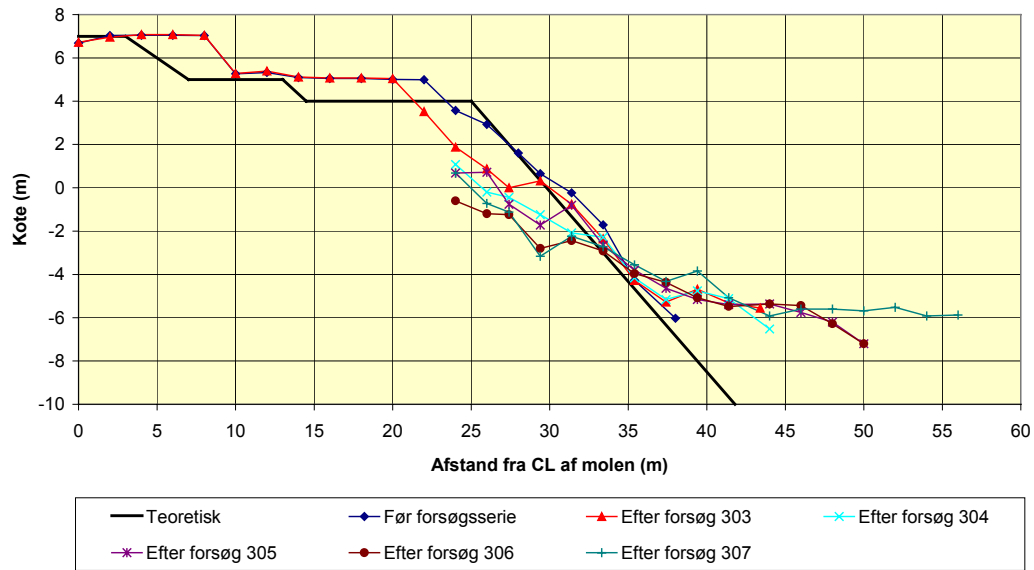




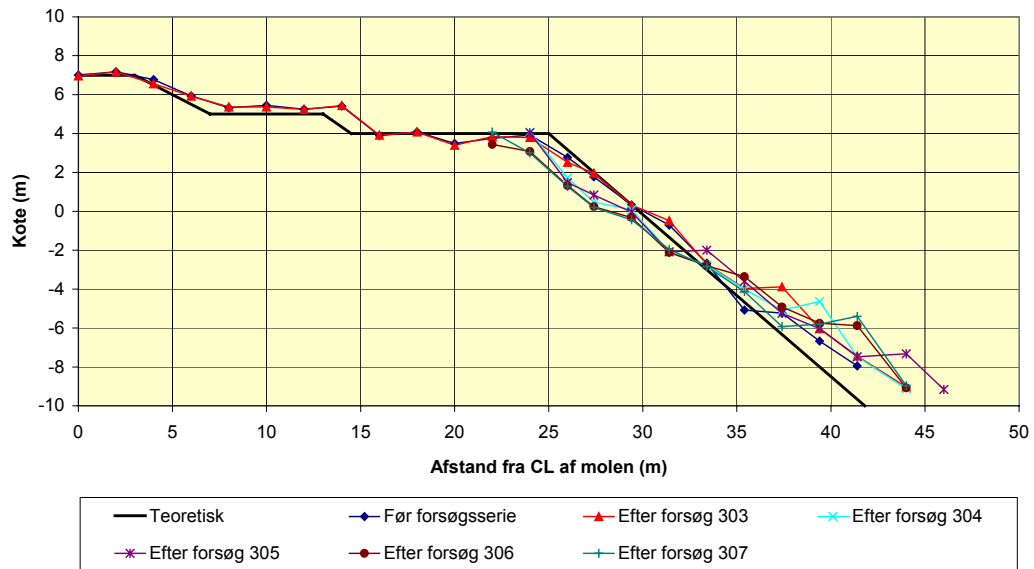
Figur A.4 Indsejlingsområdet efter forsøgsserien



Figur A.5 Bagside ved sænkekasser efter forsøgsserien

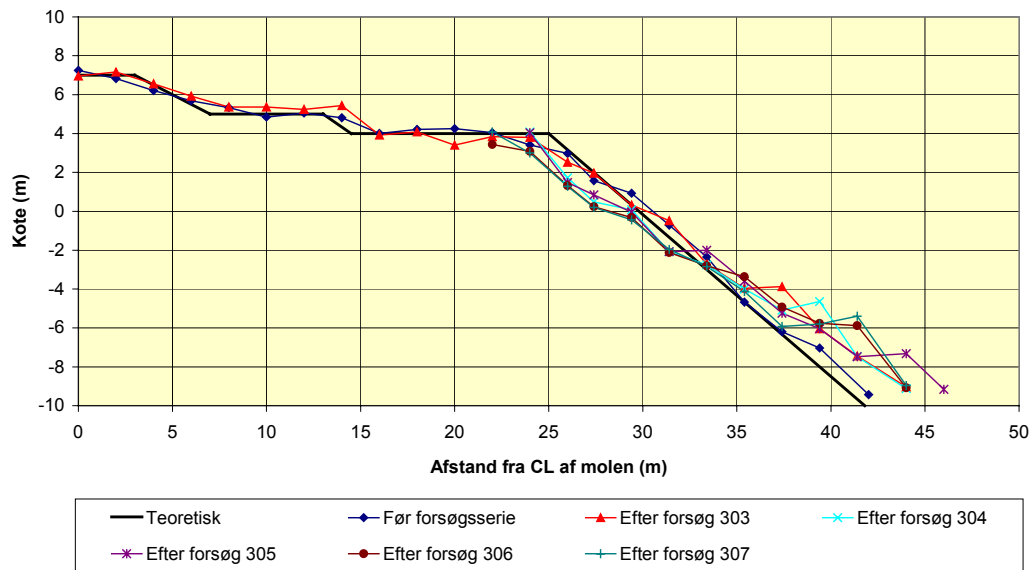


Figur A.6 Udvikling af profiler (sektion 5) under forsøgsserien

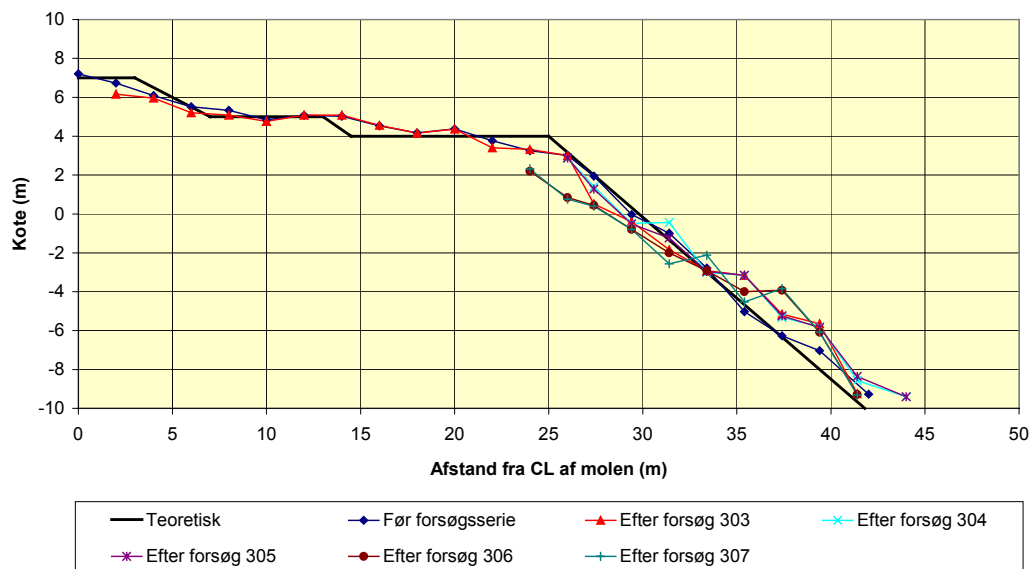


Figur A.7 Udvikling af profiler (sektion 2) under forsøgsserien





Figur A.8 Udvikling af profiler (sektion 3) under forsøgsserien

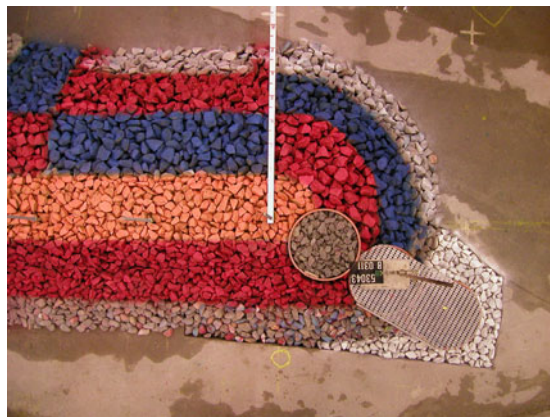


Figur A.9 Udvikling af profiler (Sektion 4) under forsøgsserien



## **B I L A G B**

### ***Resultater fra stabilitetsforsøg med stenkastningsmole, Profil 2***



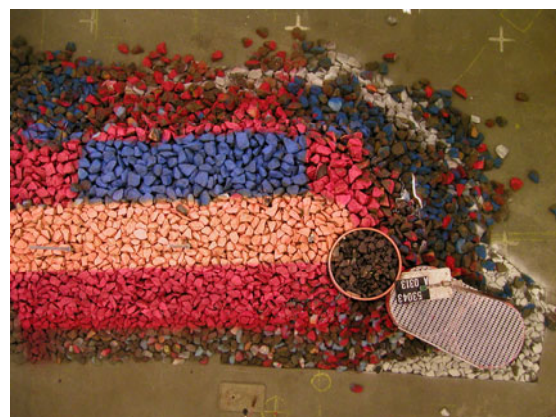
Før forsøg 311



Efter forsøg 311



Efter forsøg 312



Efter forsøg 313



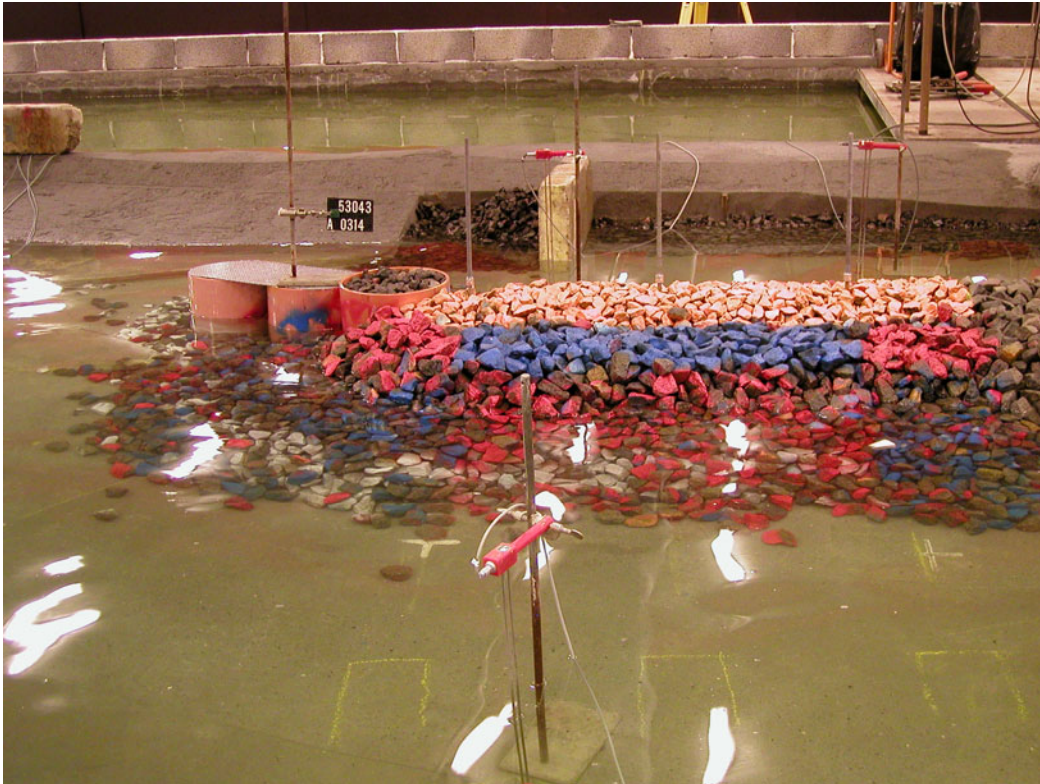
Efter forsøg 314



Efter forsøg 314

Figur B.1 Fotos fra oven før forsøgsserien og efter forsøg 311, 312, 313 og 314

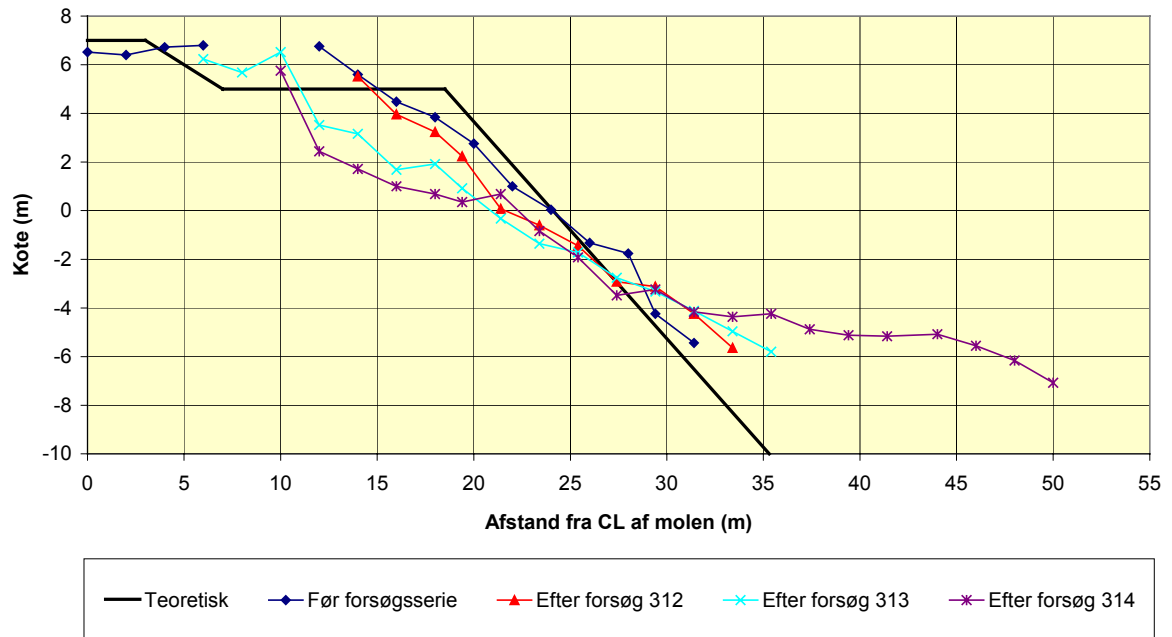




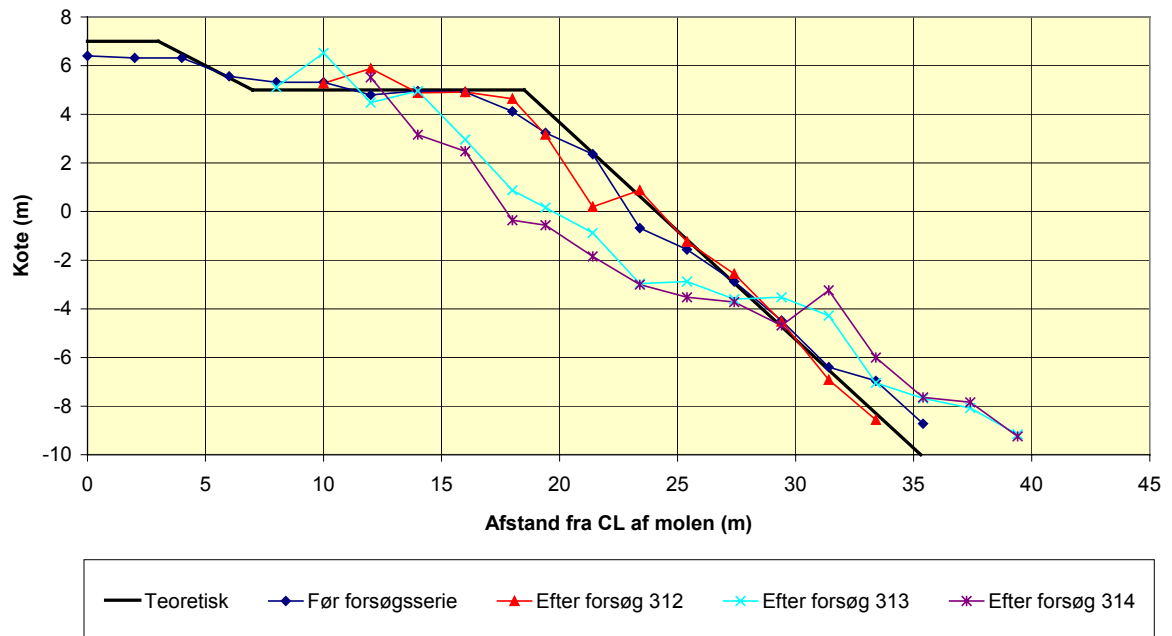
Figur B.2 Havsiden af molekrop efter forsøgsserien



Figur B.3 Molehovedet efter forsøgsserien

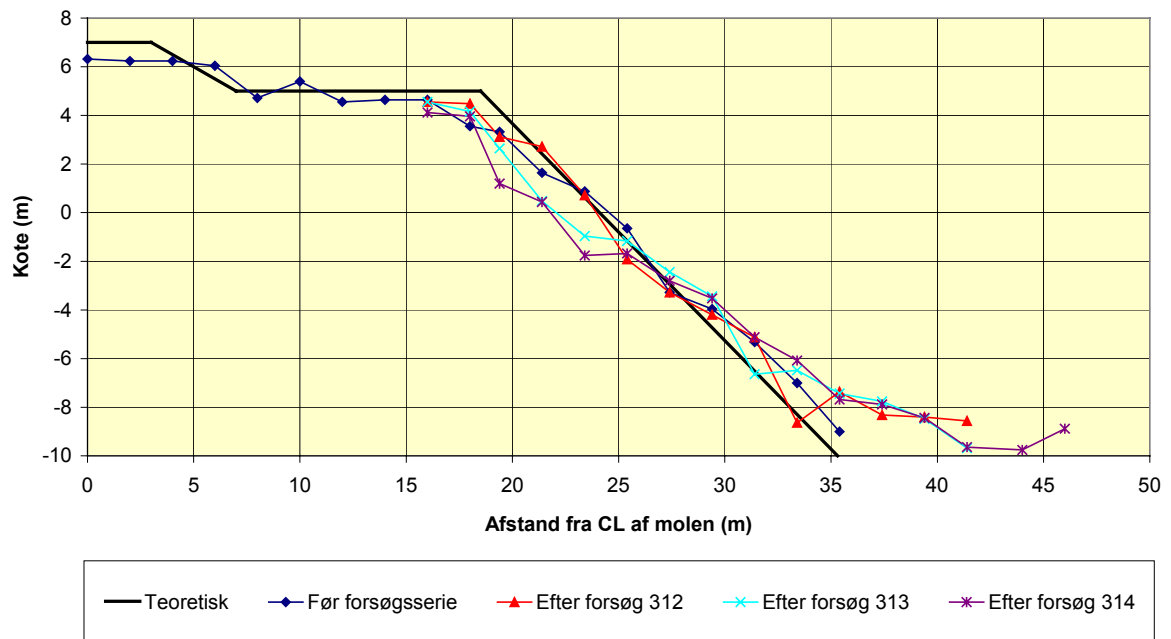


Figur B.4 Udvikling af profiler (sektion 5) under forsøgsserien

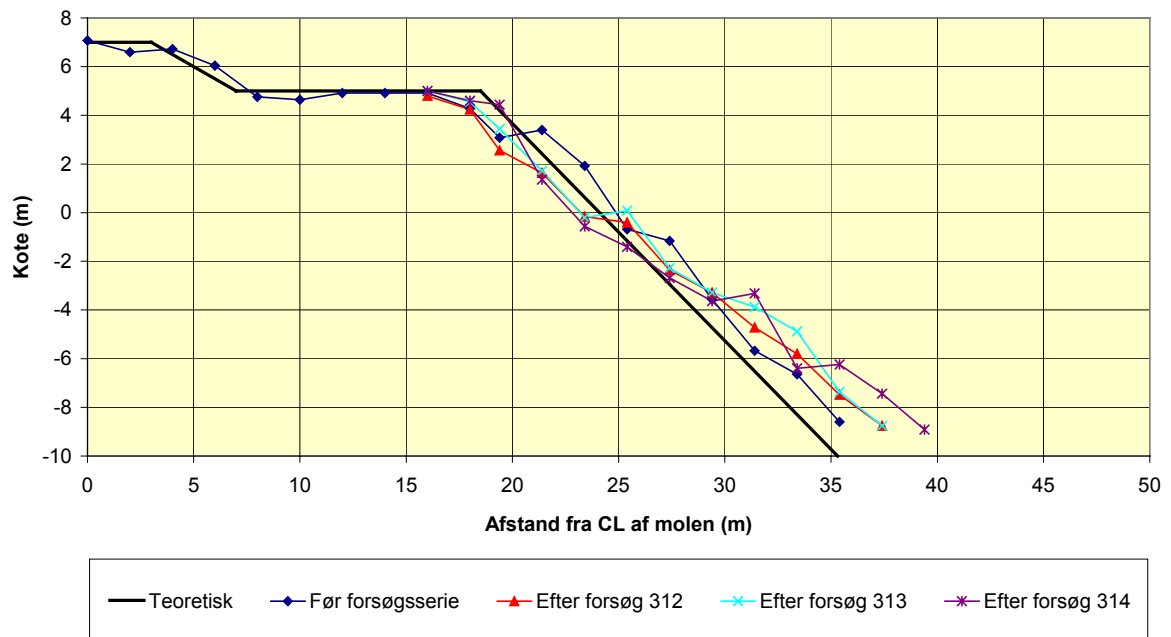


Figur B.5 Udvikling af profiler (sektion 4) under forsøgsserien

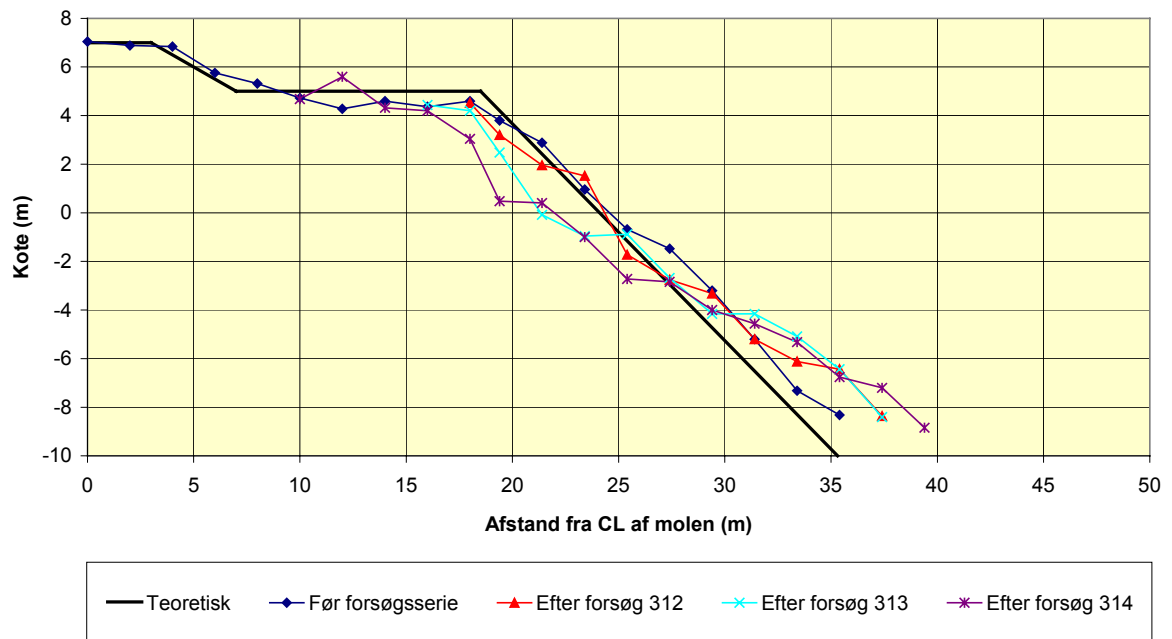




Figur B.6 Udvikling af profiler (sektion 3) under forsøgsserien



Figur B.7 Udvikling af profiler (sektion 2) under forsøgsserien



Figur B.8 Udvikling af profiler (sektion 1) under forsøgsserien



## **B I L A G C**

### ***Resultater fra stabilitetsforsøg med vertikalmole, Profil 3***



*Før Forsøg 331*



*Efter Forsøg 331*



*Efter Forsøg 332*



*Efter Forsøg 333*



*Efter Forsøg 334*

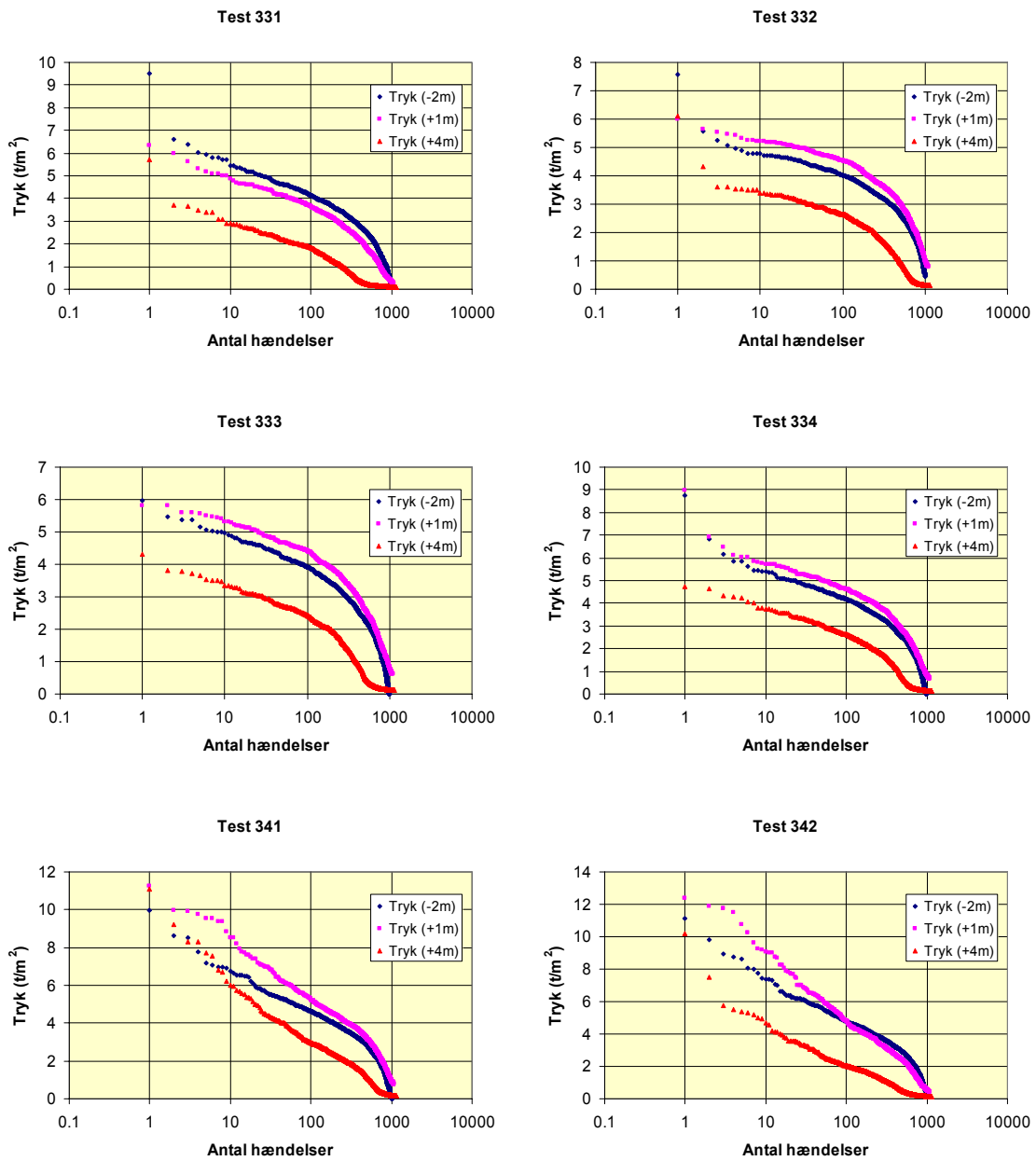


*Efter Forsøg 341*



*Efter Forsøg 342*

*Figur C.1 Bagsiden under forsøgsserien*



Figur C.2 Fordelingen af tryk på havsiden af vertikalmolen