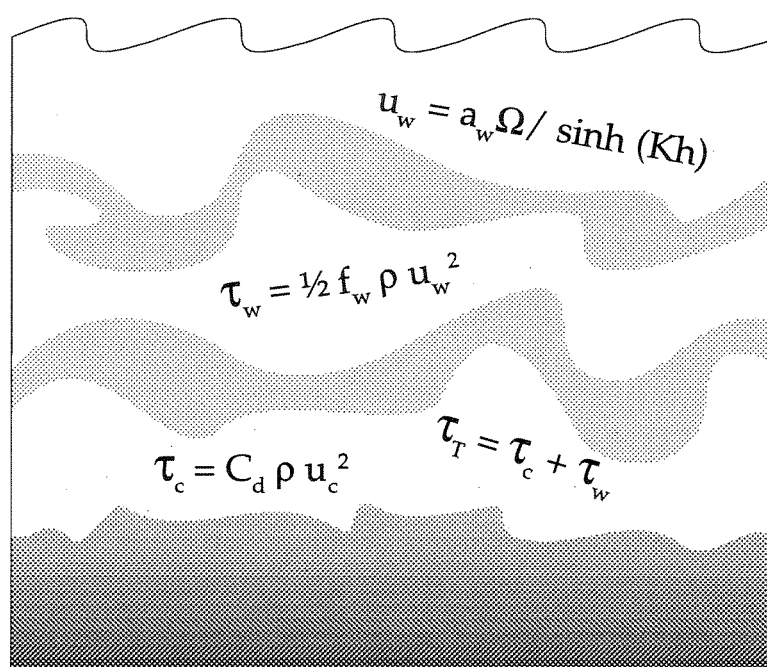


RAPPORT LNR 3425-96

## Zeepipe 2 B rørledning fra Draupner til Kollsnes

Vurdering av risiko for  
inntrenging av sedimentpartikler  
under fri fylling



# NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Prosjektnr.:	Undernr.:
95269	
Løpenr.:	Begr. distrib.:
3425	

<b>Hovedkontor</b>	<b>Sørlandsavdelingen</b>	<b>Østlandsavdelingen</b>	<b>Vestlandsavdelingen</b>	<b>Akvaplan-NIVA A/S</b>
Postboks 173, Kjelsås	Televeien 1	Rute 866	Thormøhlensgt 55	Søndre Tollbugate 3
0411 Oslo	4890 Grimstad	2312 Ottestad	5008 Bergen	9000 Tromsø
Telefon (47) 22 18 51 00	Telefon (47) 37 04 30 33	Telefon (47) 62 57 64 00	Telefon (47) 55 32 56 40	Telefon (47) 77 68 52 80
Telefax (47) 22 18 52 00	Telefax (47) 37 04 45 13	Telefax (47) 62 57 66 53	Telefax (47) 55 32 88 33	Telefax (47) 77 68 05 09

Rapportens tittel:	Dato:	Trykket:
<b>Zeepipe 2B rørledning fra Draupner til Kollsnes.</b> Vurdering av risiko for inntrenging av sedimentpartikler under fri fylling	5/3 1996	Mars 1996
	Faggruppe:	Oseanogr. modeller
Forfatter(e):	Geografisk område:	
<b>Lars G. Golmen, NIVA</b> <b>Aud Helland, NIVA</b> <b>Henrik Sjøland, HI</b>	Nordsjøen	
	Antall sider:	Opplag:
	18	

Oppdragsgiver:	Oppdragsg. ref.: Kontrakt Nr.
STATOIL Z2B prosjektet, Fabrikkeveien 7, 4035 Stavanger.	C-215063, v/ T. Kleppe

Ekstrakt: Det er foretatt beregninger for sannsynlighet for suspensjon av sedimenter ved Draupner plattform som følge av overflatebølger. Beregningene er basert på modeller for bunnstress og kritisk bunnstrøm for å mobilisere sediment med gitt karakteristikk, samt på bølgestatistikk for Sleipner fra Vervarslinga på Vestlandet. Resultatene viser at mobilisering tar til ved vedvarende bølgehøyder på rundt 6 meter, tilsvarende signifikant bølgehøyde på 7-8 meter. Vindgenererte bølger av denne størrelsesordenen opptrer sjeldnere enn 1,5 % av tiden i månedene september-desember. Lengste beregnede varighet av perioder med 7 m bølger er 54 timer, og for 8 m bølger 42 timer, med kun 1-2 slike perioder registrert innenfor 40 års statistikk. Beregningene indikerer at det er en viss risiko for at partikler kan mobiliseres, men at denne risikoen er liten. Det knytter seg en viss usikkerhet til beregningene på grunn av mulig effekt av lange bølger (dønning) og av bakgrunnsstrømmen, og det anbefales om mulig å foreta en feltmessig verifisering av disse effektene.

4 emneord, norske

1. Bølgeindusert bunnstrøm
2. Sedimenter
3. Resuspensjon
4. Bunnstress

4 emneord, engelske

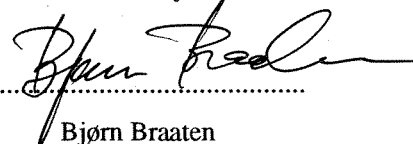
1. Wave induced bottom currents
2. Sediments
3. Resuspension
4. Bottom stress

Prosjektleder



Lars G. Golmen

For administrasjonen



Bjørn Braaten

ISBN 82-577-2958-2

**O-95269**

**Zeepipe 2 B rørledning fra Draupner til Kollsnes**

**Vurdering av risiko for  
inntrenging av sedimentpartikler  
under fri fylling**

NIVA-Vest, Bergen

5/3 1996

Lars G. Golmen, NIVA prosj.leder

Medarbeidere:

Aud Helland, NIVA

Einar Nygaard, NIVA-Vest

Magnar Reistad, VPV

Henrik Sjøiland,

Marin geologi

Databehandling

Bølgestatistikk

Havforskningsinstituttet, modellberegninger

## FORORD

STATOIL skal stå for legging av en rørledning fra Draupner plattformen inn til Kollsnes i Øygarden. Ledninga legges tom. Når ledninga er lagt, skal den først fylles med sjøvann en gang på høsten 1996 eller tidlig vinter 1996-67. Vannet vil bli sugd inn gjennom et inntak nær bunn ute ved plattformen. I starten av denne operasjonen vil det være svært stor innsugingshastighet, som så gradvis vil avta. Hele fyllingsoperasjonen vil ta noen få dager.

Selv ved maksimal innsugingshastighet regner ikke STATOIL med noen risiko for at sedimentpartikler skal bli sugd opp fra bunnen nær inntaket og inn i røret. Men det er blitt reist spørsmål om store overflatebølger i uværperioder kan medføre risiko for oppvirvling av partikler som så kan bli sugd inn i røret.

STATOIL har derfor bedt NIVA om å vurdere denne risikoen gjennom en kort utredning. STATOIL ønsket først og fremst å få et tidlig varsel på om muligheten for sedimentinntrenging var reell eller kun hypotetisk i forhold til de forestående operasjonene. En preliminær rapport blei sendt til STATOIL 22. desember 1995. Denne indikerte at risikoen var reell, under gitte betingelser. Foreliggende versjon bygger videre på den rapportutgaven.

Utredningsarbeidet har i utgangspunktet bydd på faglige utfordringer når det gjelder interaksjon bølger-sediment på dypt vann, dels opp mot kunnskapsgrensen i følge litteraturen. En kort utredning kan ikke bli dypttrekkende i denne sammenhengen, men ved å flette sammen ulike elementer har det vært mulig å nærme seg problemstillingen og å gi faglig begrunnede svar på STATOILs spørsmål.

Hos STATOIL i Stavanger har Terje Kleppe vært saksbehandler og kontakt mot NIVA. Oseanograf Henrik Sjøiland på Havforskningsinstituttet har vært behjelpelig med formuleringer og beregninger, og meteorolog Magnar Reistad på Vervarslinga på Vestlandet har bidratt med bølgestatistikk. Geolog Aud Helland hos NIVA bidro med data for sedimentkarakteristikk, og oseanograf Einar Nygaard ved NIVA-Vest bidro med bølgeberegninger m.m..

Lars G. Golmen

# INNHOOLD

<b>FORORD</b> .....	2
<b>SAMMENDRAG</b> .....	4
<b>1. INNLEDNING</b> .....	5
1.1. BAKGRUNN .....	5
1.2. OPPDRAGET.....	5
1.3. NOEN PROBLEMSTILLINGER.....	5
<b>2. BEREGNINGER OG VURDERINGER</b> .....	7
2.1. BØLGEHØYDER OG OPPVIRVLING. ....	7
2.2. SANNSYNLIGHETEN FOR OPPVIRVLING AV SEDIMENTER I PERIODEN SEPTEMBER TIL DESEMBER (1996).....	9
2.2.1. Forekomst av bølger.....	9
2.2.2. Varighet av perioder med høye bølger.....	10
2.3. FORVENTET STØRRELSE PÅ OPPVIRVLEDE PARTIKLER.....	13
2.4. FORVENTET VERTIKALFORDELING (AV PARTIKLER I VANNSØYLEN).....	13
2.5. FORVENTET TID TIL VANNSØYLEN ER FRI FOR OPPVIRVLEDE PARTIKLER (ETTER EN STORM).....	14
<b>3. SLUTTKOMMENTARER OG KONKLUSJONER</b> .....	15
<b>4. LITTERATUR</b> .....	16
<b>VEDLEGG 1</b> .....	17

## SAMMENDRAG

I løpet av høsten/vinteren 1996 skal STATOIL gjennomføre en sjøvannsfylling av ZEEPIPE 2B rørledningen som går fra Draupner plattformen på Sleipnerfeltet til Kollsnes i Øygarden. Bunn dyptet ved plattformen er 65 meter. Fylling vil skje gjennom et vanninntak som ligger om lag 1,5 m over bunn. Hele fyllingsoperasjonen vil ta anslagsvis 4-5 dager dersom den kan foregå uavbrutt.

Det er behov for å unngå at partikler kommer inn i røret ved fylling. Det foreligger vurderinger som indikerer svært liten eller ingen risiko for at sedimentpartikler vil kunne bli sugd direkte opp fra bunn og inn i røret under fyllingen. STATOIL har imidlertid knyttet visse spørsmål til muligheten for at sedimentpartikler kan bli virvlet opp på grunn av bølgeaktivitet, og dernest bli sugd inn i røret. NIVA er derfor bedt om å utrede risikoen for dette gjennom denne teoretiske utredningen.

Gjennom anvendelse av kjent teori for bunnstress og modellberegninger for bølgeindusert bunnstrøm har vi beregnet hvilke bølgeperioder eller bølgelengder som må til for å mobilisere sedimentpartikler ved Draupner. Data for sedimentkonsistens og densitet er basert på tidligere registreringer på Sleipnerfeltet, som viste at kornstørrelsen vesentlig ligger mellom 100 og 200  $\mu\text{m}$ . Følgende tabell viser at beregnet kritisk bølgeindusert bunnstrøm ligger i området 14-17 cm/s for typiske vindgenererte bølger med perioder inntil 9-10 sekunder, og noe høyere for dønning. Bølgeperioden må overskride 8,2 sekunder for å generere bunneffekter. For bølger med perioder i intervallet 8,5-9,5 sekunder vil bølgehøyden måtte ligge vedvarende rundt 6 meter for at sedimentpartiklene skal kunne mobiliseres. Dette vil tilsvare signifikant bølgehøyde på 7-8 meter.

Periode, s	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$u_w$ , cm/s	14,9	15,6	16,2	16,8	17,4	17,9	18,4	18,8	19,2
H, m	-	-	6,0	3,9	3,0	2,4	2,0	1,8	1,7
L, m	-	-	150	156	175	215	235	275	320

På basis av langtids beregnet bølgestatistikk fra Vervarslinga på Vestlandet er det gjort anslag for sannsynligheten for at bølger med signifikant høyde på 7-8 meter skal forekomme i de aktuelle månedene september-desember. Resultatene viser at slike bølger forekommer relativt sjelden (mindre enn 1,4 % av tiden), og at sannsynligheten er størst i november måned. Varighetsanalyse av tilsvarende statistikk viste at vedvarende bølgehøyder på over 8 m kan opptre inntil 42 timer i strekk i ekstreme situasjoner (kun én episode på 40 års statistikk). For 7 m bølgehøyde er det en viss mulighet for perioder av inntil 54 timers varighet (to slike perioder beregnet gjennom siste 40 år).

Beregningene og tabellen over viser at lange bølger (dønning) også vil kunne mobilisere sedimentet, selv ved moderate bølgehøyder. Statistikken viser at slik dønning framtrer relativt hyppig (anslagsvis 10-15 % av tiden). Vi har imidlertid lagt mindre vekt på resultatene for effekter av slik dønning, i det vi regner det for mindre sannsynlig at sedimenter holdes i suspensjon såpass hyppig og lenge på det aktuelle feltet i Nordsjøen. Det synes her å være behov for en bedre kalibrering av modellene.

Anslagene gitt ovenfor tar ikke omsyn til bunnstress forårsaket av ordinær tidevannsdrevet eller vinddrevet strøm. Vi har antatt at dette stresset har liten effekt på sedimentmobilisering, men vi har ikke hatt tilgang til strømmålinger fra det aktuelle området som kunne dokumentere dette. Men både dønning og bakgrunnsstrøm vil sannsynligvis i perioder kunne bidra til sedimentoppvirvling, uten at vi har kunnet kvantifisere dette. Vindgenererte bølger i forbindelse med kuling- og stormperioder gir mest sannsynlig det viktigste bidraget.

# 1. Innledning

## 1.1. Bakgrunn

Zeepipe 2B rørledningen fra Draupner plattformen i Nordsjøen inn til Kollsnes ved Bergen skal fylles med sjøvann etter at den er lagt. Fyllingen vil skje en gang i tidsrommet september-desember 1996.

Fyllingen vil ta noen dager, og foregå ved at vann suges inn gjennom et vertikalt inntak like over bunn (ca 1,5 m over). Diameteren på inntaket er ca 25 cm. Bunn-dypet på fyllingsstedet er ca 65 m.

STATOIL har selv beregnet at det ikke er praktisk risiko for at sedimentpartikler løftes fra bunn på grunn av selve innsugingen. STATOIL har imidlertid stilt spørsmål om en ved enkelte situasjoner med spesielle vær/bølgeforhold kan ha betingelser for oppvirvling av sedimenter (partikler) som så kan suges inn i inntaket. NIVA er i denne sammenhengen bedt om å vurdere om slike betingelser kan inntreffe, og risikoen for dette gjennom foreliggende kortfattede utredning.

## 1.2. Oppdraget

Konkret har STATOIL bedt om å få utredet følgende (se også vedlegg A):

1. Hvilke bølgehøyder som skal til for at bunn-sedimentene blir virvlet opp fra bunnen og holdes i suspensjon i de frie vannmassene.
2. Sannsynligheten for at dette vil finne sted i perioden september til desember (1996).
3. Forventet størrelse på oppvirvlede partikler.
4. Forventet vertikalfordeling (av partikler i vannsøylen).
5. Forventet tid til vannsøylen er fri for oppvirvlede partikler (etter en storm).

## 1.3. Noen problemstillinger

Innsugingshastigheten vil være kraftigst i starten, for så å avta gradvis. Ut fra beregninger har STATOIL antatt at det er liten risiko for at partikler suges inn i røret som følge av selve fyllingen (vakuum-effekt), selv i starten da innsugingshastigheten vil være svært høy (opp til 40 m/s).

Det sees da bort fra svært små partikler (typisk mindre enn ca 20  $\mu\text{m}$ ) som alltid vil finnes i visse mengder i sjøvannet. I Nordsjøen kan det dreie seg om fra 0,5 mg/l (Atlantehavsvann) til 2-10 mg/l (Hutnance, 1991).

De faktorene som så vil kunne bidra til at partikler virvles opp, er sterk strøm ved bunnen. Det vil alltid være en viss strøm i det aktuelle området, generert av trykkrefter fra bl.a. vind og tidevann. Men vanligvis er denne strømmen ikke sterk nok til å løfte partikler fra bunnen.

Episodevis sterkere strøm (med bunn-turbulens som kan være i stand til å virvle opp sedimenter) kan bl.a. skyldes markerte variasjoner i ytre trykkfelt (vind, lavtrykkspassasjer, "storm surges"), kraftig vannstandsvariasjon og/eller forbigående barokline effekter i samband med større vannutskiftinger.

Slike effekter kan oppstå, særlig i den aktuelle perioden av året, september-desember, men er vanskelig å forutsi på grunn av komplisert dynamikk.

Strømmen i bunnlaget er bestemt av både bølgeindusert strøm og bakgrunnsstrøm. Trykkpulser (dynamisk trykk) og hastighetsfluktuasjoner som er indusert av overflatebølger, avtar i størrelse med økende avstand fra overflaten. Som en tommelfingerregel regnes det at bølgeeffekter kan merkes ved bunn når bølgelengden overskrider to ganger havdypet. I et tynt sjikt (noen få desimeter tykt) nær bunn vil det oppstå oscillatoriske bevegelser.

Samspeillet mellom bølgebevegelser og bunnstrøm er komplisert, og vanskelig å modellere. Lineær bølgeteori gir imidlertid et rimelig godt utgangspunkt for å kalkulere bølgeindusert strøm nedover i vannsøylen. Feilen (i forhold til målinger) er i felteksperimenter funnet å ligge innafor 10 % (Drennan et al. 1992). For å beregne sediment-transport må en bl.a. ha en viss kjennskap til, eller gjøre visse forutsetninger om, strømhastighets-profilet nær bunn.

Bølger med bølgehøyde over en viss størrelse vil kunne generere sterk nok strøm til å virvle opp partikler fra bunn. Dette er velkjent fra grunnere kystområder, men effekten vil også kunne gjøres gjeldende på dypere vann. Jamfør NIVAs erfaringer fra ZEEPIPE RFO vinteren 1993-1994, da partikler blei registrert gjennom hele vannsøylen ved Sleipner-øst, der bunn-dypet er over 80 m (Golmen et al. 1993). En regner at de lengste havdønningene kan generere målbar strøm helt ned til 150-200 dyp.

For deler av Nordsjøen som er grunnere enn ca 70 m kan en i følge litteraturen regne med bølge-generert bunnstrøm for bølger lengre enn 150 m (periode større enn 10 sek, resp. høyde større enn ca 9 m). Denne grensen kan imidlertid ligge ved noe kortere bølger enn dette. For bølgeindusert bunnstrøm er det først og fremst bølgehøyden som er bestemmende. Vindgenererte bølger vil ha en annen karakteristikk (fasong) enn dønninger, med et høyere forholdstall mellom bølgehøyde og bølgelengde.

Bølgene vil generere en ekstra bunnstrøm, med tilhørende bunnstress. Siden bevegelsene fra bølger er fram og tilbake, vil stresset ha en annen karakter enn vanlig stress fra en ensretta strøm.



## 2. Beregninger og vurderinger

### 2.1. Bølgehøyder og oppvirvling.

For å bedømme om sediment blir oppvirvlet eller ikke, er det totalt bunnstress  $\tau_T$  som er interessant:

$$\tau_B = \tau_T = \tau_c + \tau_w.$$

Det strøminduserte stresset kan beregnes fra formelen

$$\tau_c = C_D \rho u_c^2,$$

der  $C_D$  er drag koeffisient, og er avhengig av avstand fra bunn. 0,0025 regnes som nedre grense (minste verdi) for  $C_D$ .

Det bølgeinduserte stresset kan beregnes fra

$$\tau_w = 1/2 f_w \rho u_w^2$$

der  $u_w$  er bølgeindusert strømhastighet (amplituden) og  $f_w$  er bølgefriksjonsfaktor. Typiske verdier for  $f_w$  er: 0,02 (Davies og Lawrence 1995), 0,04 (Friedrich og Wright 1995).

$f_w$  er funksjon av kornstørrelse og den faktiske lengden på partikkelbanen i bølgebevegelsen nær bunn. Den maksimale bølgeinduserte strømhastigheten  $u_w$  nær bunn kan beregnes som (lineær bølgeteori):

$$u_w = a_w \Omega / \sinh(Kh), \quad a_w = H_w/2 \text{ (bølgehøyde amplitude), } K = 2\pi/L \text{ (hor. bølgetall).}$$

For beregninger av resuspensjon av sediment brukes Shields nummeret,  $S$ , definert som

$$S = |\tau_B| / (\rho_c - \rho_0) gD,$$

der  $D$  er typisk partikkel størrelse,  $\tau_B$  totalt bunnstress og  $\rho_c$  er densiteten til sedimentet.

Verdiene  $\rho_c = 2.500 \text{ kg/m}^3$  og  $D = 2 \times 10^{-3} \text{ m}$  for densitet og partikkelstørrelse er brukt i litteraturen (Utnes, 1993).

Shieldsnummeret ligger et sted mellom grenseverdiene 0,1 og 0,75.

0,1 tilsvarer når sedimentet begynner å bli suspendert (oppvirvlet).

For partikkelstørrelse på 150  $\mu\text{m}$  (jmfør med avsnitt 2.3) tilsvarer dette et nødvendig minimums-stress  $\tau_B$  fra "bølgestrøm" på ca 0,2 Pa (pascal).

Maksimalt Shieldstall tilsvarer  $\tau_B = 1,65 \text{ Pa}$ , d.v.s. helt mettet bunnsjikt.

På bakgrunn av det laveste (kritiske) Shieldstallet kan en beregne seg bakover og først finne minimumsverdi for bunnstrøm  $u_w$  for å begynne oppvirvling, og dernest finne tilsvarende bølgehøyde eller bølgeperiode ut fra relasjon for korte bølger.

$\tau_B = 0,2 \text{ Pa}$  tilsvarer i følge ovenstående formler  $u_w$  lik 13-14 cm/s for  $f_w$  satt lik 0,03, som en middelvei for bølgefriksjonsfaktoren.

Tabell 2.1 viser at av størrelsesorden 13-14 cm/s bølgeindusert bunnstrøm for 65 m dyp kan tilsvare flere bølgeperioder og bølgehøyder, avhengig av "fasongen" på bølgen. Svært lange bølger (med periode opp mot 15 sekunder eller mer) kan generere så sterk bunnstrøm, selv ved moderate bølgehøyder på et par meter. For den aktuelle delen av Nordsjøen vil dette kunne representere havdønning generert i Norskehavet.

For mer hyppig forekommende vindgenererte bølger med perioder mellom 7-10 sekunder (se avsnitt 2.2 og Vedlegg 1) tilsvarer denne induserte strømstyrken bølgehøyder på 5-6 meter og over.

**Tabell 2.1.** Beregnet bunnstrøm (cm/s) for 65 m havdyp for ulike bølgehøyder resp. bølgeperioder, basert på forutsetninger og verdier nevnt i teksten.

		Periode (s)										
		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
B ø l g e h ø y d e (m)	1	0	0.1	0.4	1.3	2.8	4.6	6.7	8.7	10.8	12.7	14.5
	2	0	0.1	0.9	2.6	5.5	9.2	13.3	17.5	21.5	25.4	29
	3		0.2	1.3	4	8.3	13.9	20	26.2	32.3	38.1	43.6
	4			1.7	5.3	11.1	18.5	26.7	35	43.1	50.8	58.1
	5				6.6	13.8	23.1	33.3	43.7	53.8	63.5	72.6
	6					16.6	27.7	40	52.5	64.6	76.2	87.1
	7						32.3	46.6	61.2	75.4	88.9	101.6
	8							53.3	70	86.1	101.6	116.1
	9								78.7	96.9	114.3	130.7
	10									107.7	127	145.2
	11										139.6	159.7
	12											174.2
	13											
	14											
	15											

For å verifisere de ovenstående beregningene har vi også benyttet en modell for bølgeindusert bunnstrøm opprinnelig formulert av Komar og Miller (1975). Modellen beregner hvor dypt ned gitte bølger genererer tilstrekkelig strøm til å mobilisere sediment med gitt karakteristikk. Tabell 2.2 gir noen resultater fra beregningene med modellen, som er relevante for foreliggende problemstilling, for bølgeperioder på 7 sekunder og oppover.

Med tilsvarende kornstørrelse som ovenfor, og med sediment-densitet på  $2,65 \text{ g/cm}^3$ , gir denne modellen også sammenliknbare, om enn litt høyere kritiske strømstyrker enn beregningene foran. En merker seg at kritisk strømstyrke er noe avhengig av bølgeperioden. Korte, høyfrekvente bølger gir en lavere kritisk verdi enn lengre bølger. Men til gjengjeld når ikke disse bølgene så dypt. Først når bølgeperioden overskrider 8,2 sekunder vil indusert strøm på 65 m dyp være sterk nok til å kunne mobilisere sedimentet.

Det framgår av modellen at bølger med 7-8 sekunders perioder for vanlig dispersjonsrelasjon ikke kan generere sterk nok bunnstrøm. Perioder på 9 sekunder må ha bølgehøyder på over 6 m for å generere sterk nok strøm.

For lengre perioder (og dermed lengre bølgelengder) enn 9-10 sekunder avtar den nødvendige bølgehøyden. Det dreier seg da om svært lange bølger, d.v.s. dønning, med bølgelengder på over 150 m. F.eks. tilsvarer bølgehøydeverdien H for en 15 sekunders bølge en teoretisk bølgelengde på hele 320 m.

**Tabell 2.2.** Beregnede verdier for kritisk bunnstrøm,  $u_w$ , for gitt bølgeperiode, og minste tilsvarende bølgehøyde (H) og bølgelengde (L), som gir sterkere strøm enn  $u_w$  på 65 m dyp.

Periode, s	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$u_w$ , cm/s	14,9	15,6	16,2	16,8	17,4	17,9	18,4	18,8	19,2
H, m	-	-	6,0	3,9	3,0	2,4	2,0	1,8	1,7
L, m	-	-	150	156	175	215	235	275	320

## 2.2. Sannsynligheten for oppvirvling av sedimenter i perioden september til desember (1996).

### 2.2.1. Forekomst av bølger

Fyllingen med sjøvann skal etter planene foregå i perioden september-desember 1996. Siste del av denne perioden har erfaringsmessig sett relativt hyppig innslag av sterk vind.

Foregående beregninger (pkt. 2.1) synte at oppvirvling ved vindgenererte bølger kan skje ved bølgehøyder på rundt 6 m (bølgelengde 150 m). For lengre bølger (dønning) vil sedimentet kunne mobiliseres ved noe lavere bølgehøyder.

For å kunne beregne sannsynligheten for at gitte bølgetyper skal forekomme, har vi benyttet Vervarslinga for Vestlandets bølgestatistikk beregnet for Sleipnerfeltet (hindcastarkiv basert på vind i månedene september-desember for perioden 1955-1994). Resultatene som er synt i Vedlegg 1, gir beregnede signifikante bølgehøyder, d.v.s. gjennomsnitt av de høyeste 1/3 av bølgene. Tyngdepunktet eller gjennomsnittlig bølgehøyde vil ved et gitt tidspunkt ligge noe lavere (20-30 % lavere) enn signifikant bølgehøyde. Det er også gitt at det tidvis vil kunne oppstå vesentlig høyere enkeltbølger enn det statistikken viser.

For våre betraktninger vil det være et spørsmål hvilke statistiske bølgehøyder en skal ta utgangspunkt i. Signifikant bølgehøyde er gjerne knyttet til spektralområdet med mest energi. For bølgeoppvirvling vil sannsynligvis virkningen av større enkeltbølger kunne være ekstra effektiv for å sette sedimentet i bevegelse. Men det er vedvarende aktivitet som sannsynligvis er mest interessant når det gjelder å holde sedimentene i suspensjon. Modellberegningene foran er basert på slik vedvarende aktivitet. Det er derfor aktuelt å gå ut fra 6 m som nødvendig "middelverdi" for bølger i samband med våre betraktninger. Dette vil tilsvare en signifikant bølgehøyde på 7-8 meter.

Tabell 2.3 gir sannsynlighet (som % forekomst av tiden i hver måned) for at signifikante bølgehøyder over h.h.v. 7 og 8 m skal forekomme i månedene september-desember.

**Tabell 2.3.** Forekomst av beregnede bølger med signifikant høyde over h.h.v. 7 m og 8 m på Sleipnerfeltet, basert på 40 års vindstatistikk. Tallene er framkommet ved at det er beregnet verdier for hver 6. time gjennom hver måned. For 40 år gir dette 4.800 verdier for en måned med 30 dager (f.eks. september).

Måned	7 m bølgehøyde		8m bølgehøyde	
	Antall forekomster	% av tiden	Antall forekomster	% av tiden
September	16/4.800	0,33	7/4.800	0,146
Oktober	45/4.960	0,91	21/4.960	0,423
November	66/4.800	1,38	32/4.800	0,667
Desember	66/4.960	1,33	19/4.960	0,383

Det framgår at sannsynligheten for signifikante bølgehøyder over 8 m er størst for november (32 av 4.800 beregnede tilfeller), og minst for september (7 av 4.800 tilfeller). Selv for november dreier det seg om under 1 % sjanse i følge statistikken. For 7 m bølgehøyde øker forekomsten (eller sannsynligheten), og ligger rundt 1,3 % av tiden både for november og desember.

### 2.2.2. Varighet av perioder med høye bølger

Sannsynlighetsfordelingen ovenfor sier ikke noe om tidsfordelingen i forhold til lengde eller varighet på perioder med bølger vedvarende over en gitt høyde. Derfor har Vervarslinga på Vestlandet framskaffet ekstra statistikk for sannsynligheten for hvor lenge hver periode vil vare. D.v.s. beregninger for varigheten av perioder med bølgehøyder vedvarende over gitte verdier. 6 timer er korteste periode modellen oppløser. Resultatet er framstilt i tabell 2.4 for bølgehøydene 6m, 7m, 8m og 9m, som dekker de mest aktuelle verdiene.

Tabell 2.4 viser naturlig nok at lange perioder med vedvarende høye bølgehøyder forekommer sjelden. Og dess høyere bølgehøyde, dess sjeldnere forekomst både av korte og lengre perioder.

Det framgår at for månedene september-desember er lengste sannsynlige varighet for perioder med bølgehøyde over 8 m 42 timer. Oktober måned har størst sannsynlighet for at en slik lang periode skal inntreffe.

For 7 m signifikant bølgehøyde framgår det to perioder med opp til 54 timers varighet; én i oktober og én i november. Det er hyppigere innslag av kortere perioder. F.eks. framgår det fem perioder med varighet inntil 24 timer; 3 i november og 2 i desember.

Resultatene kan vinkles på flere måter. Om en betrakter forekomst av kortere perioder, er disse vel så hyppig forekommende i perioden januar-april som i høstmånedene når det gjelder 6-8 m bølgehøyde, mens høstmånedene dominerer for perioder med høyere bølger.

**Tabell. 2.4.** Beregnet prosentvis varighet av perioder med bølgehøyde vedvarende over 6 og 7 meter signifikant bølgehøyde for hver måned, samt varighetsfordeling (i timer) for samme. Beregningene gjelder for Sleipnerfeltet, posisjon 58.3°N, 2.5°E. Kilde: VpV.

Per cent frequency and duration of significant wave height greater than 6m.  
 Years 1955-1994.  
 Grid point 1361. Position: 58.3 N 2.5 E.

Per cent frequency of significant wave height greater than 6m.

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Year
Frequency													
(Per cent)	3.71	2.24	2.16	1.29	0.59	0.25	0.08	0.08	0.73	2.34	2.98	3.59	1.68

Duration of significant wave height greater than 6m  
 Total number of occurrences for each month and for the whole year.

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Year
Duration (hours)													
6	25	6	15	9	2	0	2	1	5	12	14	21	112
12	24	14	20	9	5	3	1	0	2	15	11	15	119
18	11	7	6	0	2	0	0	1	1	7	6	13	54
24	7	1	3	3	0	0	0	0	3	1	8	6	32
30	1	3	2	3	0	0	0	0	1	2	3	5	20
36	2	1	2	2	1	1	0	0	1	2	3	2	17
42	1	3	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	8
48	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2
54	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3
60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	2

Per cent frequency and duration of significant wave height greater than 7m.  
 Years 1955-1994.  
 Grid point 1361. Position: 58.3 N 2.5 E.

Per cent frequency of significant wave height greater than 7m.

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Year
Frequency													
(Per cent)	1.29	0.77	0.59	0.42	0.14	0.10	0.00	0.04	0.33	0.91	1.38	1.33	0.61

Duration of significant wave height greater than 7m  
 Total number of occurrences for each month and for the whole year.

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Year
Duration (hours)													
6	16	6	6	3	1	1	0	0	1	13	4	10	61
12	9	4	5	3	3	0	0	1	0	5	2	9	41
18	5	2	1	1	0	0	0	0	5	1	10	8	33
24	2	0	0	2	0	1	0	0	0	0	3	2	10
30	0	3	2	0	0	0	0	0	0	2	0	0	7
36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
42	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2
48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2
60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**Tabell 2.4.** fortsatt, for bølgehøyder 8 og 9 meter.

Per cent frequency and duration of significant wave height greater than 8m.  
 Years 1955-1994.  
 Grid point 1361. Position: 58.3 N 2.5 E.

Per cent frequency of significant wave height greater than 8m.  
 Month 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 Year  
 Frequency  
 (Per cent) 0.30 0.33 0.20 0.13 0.04 0.00 0.00 0.00 0.15 0.42 0.67 0.38 0.22

Duration of significant wave height greater than 8m  
 Total number of occurrences for each month and for the whole year.  
 Month 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 Year  
 Duration  
 (hours)  
 6 9 2 1 0 0 0 0 2 2 3 4 23  
 12 1 1 1 3 1 0 0 1 2 7 3 20  
 18 0 1 1 0 0 0 0 1 1 3 3 10  
 24 1 2 1 0 0 0 0 0 0 0 0 4  
 30 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 1  
 36 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1  
 42 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 1  
 48 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0  
 54 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0  
 60 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0  
 66 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0  
 72 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

Per cent frequency and duration of significant wave height greater than 9m.  
 Years 1955-1994.  
 Grid point 1361. Position: 58.3 N 2.5 E.

Per cent frequency of significant wave height greater than 9m.  
 Month 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 Year  
 Frequency  
 (Per cent) 0.06 0.13 0.04 0.04 0.00 0.00 0.00 0.00 0.04 0.20 0.25 0.12 0.08

Duration of significant wave height greater than 9m  
 Total number of occurrences for each month and for the whole year.  
 Month 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 Year  
 Duration  
 (hours)  
 6 0 0 0 0 0 0 0 2 0 3 3 8  
 12 0 3 1 1 0 0 0 0 1 1 1 7  
 18 1 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 4  
 24 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 1  
 30 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1  
 36 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0  
 42 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0  
 48 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0  
 54 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0  
 60 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0  
 66 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0  
 72 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

### **2.3. Forventet størrelse på oppvirvlede partikler.**

Tidligere miljøstudier på og rundt Sleipner feltet (v/IKU og SINTEF) har inkludert analyser av toppsedimentet. Flere stasjoner (prøver) tatt i ulike avstander og retringer fra Sleipner A avdekket temmelig like forhold. Materialet fra disse stasjonene antas også å være representative for området rundt Draupner.

Følgende tall for kornstørrelsesfordeling er representative for forholdene ved Sleipner-A:

Diameter ( $\mu\text{m}$ )	Vekt-%	Kumulativ vekt (%)
500	0,52	0,52
355	0,79	1,31
250	3,14	4,45
180	34,82	39,27
125	50,26	89,53
90	7,59	97,12
63	0,79	97,9

Det er analysert for materiale mellom 63 og 500  $\mu\text{m}$ . Det er lite materiale (mindre enn 0,5 % vekt) med større diameter enn 500  $\mu\text{m}$  (0,5 mm). Ca 2 % er finere enn 63  $\mu\text{m}$ .

Det faktum at Draupner ligger noe grunnere enn Sleipner A, kan tilsi at sedimentet er noe grovere på Draupner. Foreliggende materiale (prøver) kan derfor gi et noe konservativt eller "pessimistisk" anslag for grad av, eller risiko for, oppvirvling.

### **2.4. Forventet vertikalfordeling (av partikler i vannsøylen)**

Det er lite litteratur å henvise til når det gjelder hvor høyt i vannsøylen partikler vil fordele seg. Det har ikke vært rom for å utarbeide algoritmer eller beregningsmetoder for dette innenfor rammen av prosjektet. En vet ut fra observasjoner at større partikler faktisk kan nå til overflaten på Sleipnerfeltet i lengre uværperioder, som under Zeepipe I RFO vinteren-våren 1993. Denne perioden var preget av vedvarende sterk vind og høye bølger, og var ekstremt lang. Sannsynligheten for at en slik periode skal inntreffe igjen på høstparten 1996 er liten. En gjennomgang av værstatistikk for denne perioden vil kunne gi mer holdepunkt for denne sannsynligheten.

For en uværperiode av varighet opptil 1-2 døgn der bølgehøyden overskrider kritisk verdi (7-8 m signifikant), vil partikler bli ført opp fra det tynne bølge-grensesjiktet (20-30 cm tykt) og opp i det overliggende sjiktet der bakgrunnsstrømmen også påvirker turbulensen (strømskjæret) og løfter partikler videre opp i vannsøylen. Hvor høyt opp avhenger igjen av varigheten av perioden med høye bølger. Men det skal lite til før partikler løftes opp til det aktuelle inntaksdypet (1,6 m o. bunn) når de først er brakt i suspensjon. Sannsynligvis skjer dette etter ca 1 time etter at bølgehøyden er overskredet.

## 2.5. *Forventet tid til vannsøylen er fri for oppvirvlede partikler (etter en storm).*

Den viktigste parameteren for å beregne tiden til vannsøylen er "klar" igjen etter en storm, er partiklenes synkehastighet  $w_s$ :

Eksempel:

$w_s = 4 \times 10^{-4}$  m/s eller  $\approx 43$  m/dag for  $D = 19 \mu\text{m}$  (Warren & Johnsen 1991).

Hagatun & Eidsvik (1986) brukte  $2.650 \text{ kg/m}^3$  som verdi for sedimentets densitet, og fant som eksempel:

$$\begin{array}{ll} w_s = 5 \times 10^{-3} \text{ m/s}, & D = 10^{-4} \text{ m, (100 } \mu\text{m)}, \\ w_s = 5 \times 10^{-2} \text{ m/s}, & D = 4 \times 10^{-4} \text{ m, (400 } \mu\text{m)}. \end{array}$$

Dette tilsvarer ca 400 m/dag (18 m/time) og 4.000 m/dag (180 m/time) henholdsvis.

Det er m.a.o. rimelig samsvar mellom tall/metoder fra litteraturen.

Fra partikkelfordelingen (avsnitt 2.3) ser en at storparten av sedimentet på Sleipnerfeltet ligger i intervallet 100-200  $\mu\text{m}$ . Dette skulle tilsi en større synkehastighet enn 18 m/time i følge sistnevnte beregninger. D.v.s. at vannsøylen kan være klarnet etter 3-4 timer etter at bølgene har lagt seg dersom storm/bølger reduseres relativt raskt. I praksis vil gjerne bølgene dempes gradvis, og sjøen legger seg gjeme etter 2-4 timer etter at vinden har løyet. Derfor må en beregne noen timer (2-4 timer) ekstra for å være gardert i de tilfellene en har hatt oppvirvling helt til overflaten.



### 3. Sluttkommentarer og konklusjoner

Beregningene antyder en kritisk grense for bølgehøyde på 7-8 meter signifikant, ut fra aktuell partikkelkonsistens og bunndyp ved Draupner. Dette er basert på en rekke antakelser om bølgeteori og parameter-størrelser. Fysiske faktorer slik som bunntopografien (flatt eller kupert o.l.) vil kunne bidra til å modifisere resultatene. Resultatene vil dermed ha en viss usikkerhet i seg.

Modellberegningene viser også at lange bølger (dønning) med bølgelengder på ca 200 m og lenger vil kunne mobilisere sedimentet, selv ved moderate bølgehøyder. Dette dreier seg om bølger med perioder fra ca 10 sekunder og oppover. Vedlegg 1 syner at slike bølger framtrer relativt hyppig, innafor et relativt vidt spekter av bølgehøyder. De lengste av disse dønningene vil måtte være generert utenfor Nordsjøen (sannsynligvis i Norskehavet).

Bidraget fra dønning i sannsynlighetsvurderingene i denne rapporten er kun tatt med for signifikante bølgehøyder over 7 meter. Av Vedlegg 1 framgår det at også dønning med bølgehøyder i intervallet 2-3 m og opp til 7 m har et betydelig innslag, og at en for de lavere bølgehøydene har tilstedeværelse i langt større del av tiden enn det som er tilfellet for bølgehøyder over 6-7 meter. Det dreier seg om anslagsvis 10-15% av tiden i månedene oktober- desember (mindre i september).

Sannsynligvis er den faktiske effekten på sedimentforflytting fra slik moderat dønning mindre enn det modellresultatene viser. Det er lite sannsynlig at sedimentet befinner seg i suspensjon så stor del av tiden. I så fall ville en registrere store sedimentforflyttinger i det aktuelle området, noe som neppe er tilfelle. Vi har derfor lagt mest vekt på effekt av de kortere vindgenererte bølgene i våre sannsynlighetsbetraktninger.

Utredningen gir en indikasjon på hvilke måneder som har størst risiko for sedimentoppvirvling på grunn av kritiske bølgeperioder/bølgehøyder. I prinsippet vil slike perioder kunne inntreffe i alle de aktuelle månedene september-desember, selv om oktober og november framtrer som de minst gunstige.

Selve fyllingen vil ta noen få dager (4-5 dager er antydnet). Vær- og bølgevarsler med denne tidshorizonten er rimelig gode, og kan danne grunnlag for et klarsignal for start av fylling, dersom dette kan tilpasses tidsmessig, og en har tid til å vente på brukbart vær. Det vil også være mulig å avbryte fyllingen dersom forholdene skulle kreve det, enten basert på varsler eller på faktiske partikkelmålinger i sjøen.

Både for den forestående og for framtidige operasjoner av liknende karakter ville det vært konstruktivt å gjennomføre målinger av bølger og partikler i vannsøylen ved Draupner eller et tilsvarende område i en periode. Dette kunne gi nyttige data for kalibrering av formlene som er benyttet her, og således bidra til å øke forståelsen av suspensjonsprosessene. Spesielt viktig vil det være å få verifisert den faktiske effekten av havdønning.

## 4. LITTERATUR

Davies, A. M. and J. Lawrence, 1995: Modeling the effect of wave-current interaction on the three-dimensional wind-driven circulation of the eastern Irish Sea. *J. Geophys. Res.*, Vol. 25, 29-45.

Drennan, W. M., K. K. Kahma og M. A. Donelan 1992: The velocity field beneath wind-waves - observations and inferences. *Coastal Engineering*, Vol. 18, s. 11-136.

Friedrichs, C. T. and L. D. Wright, 1995: Resonant internal waves and their role in transport and accumulation of fine sediment in Eckernförde Bay, Baltic Sea. *Cont. Shelf Res.*, Vol. 15, No. 13, 1697-1721.

Golmen, L. G., K. Nygård og K. Sørensen 1993: Zeepipe Ready For Operation. Environmental monitoring of the discharge of inhibited sea water at Sleipner, January-March 1993. Rapp. nr. 2927, NIVA-Vest, Bergen.

Hagatun, K. and K. Eidsvik, 1986: Oscillating turbulence boundary layer with suspended sediment. *J. Geophys. Res.*, Vol. 91, 13045-13055.

Hutnance, J. M. 1991: Physical Oceanography of the North Sea. *Ocean & Shoreline Management*, Vol. 16, s. 199-231.

Komar, P. D. og M. C. Miller 1975: On the comparison between the threshold of sediment motion under waves and unidirectional currents with a discussion of the practical evaluation of the threshold. *Journ. Sed. Petrology*, Vol. 45, s. 362-359.

Utnes, T., 1993: Finite element current and sediment transport modelling. *Cont. Shelf Res.*, Vol. 13, No. 8/9, 891-902.

Warren R. and J. Johnsen, 1991: Cohesive sediment modelling for coastal lagoons. Techn. rep. Danish Hydraulic Inst..

# VEDLEGG 1

Tabell over beregnede signifikante bølgehøyder for månedene **september** og **oktober** basert på Vervarslinga for Vestlandets (DNMIs) vind-database (hindcastarkiv) for perioden 1955-1994.

AVERAGE MONTHLY OCCURENCES OF SIGNIFICANT WAVE HEIGHT AND PEAK PERIOD.  
NUMBER OF JOINT OCCURENCES AND CUMMULATIVE PER CENT FREQUENCY.

SEPTEMBER 1955-1994

GRIDPOINT 1361. POSITION: 58.3 N 2.5 E.

PERIOD(SEC)	0-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	>20	TOTAL	CUMMU- LATIVE
HMO (M)																				
0-0.5	76		9	12	8	8	15	17	5	3	1	3							157	3.271
0.5-1	41	177	62	89	51	39	19	22	24	16	14	1							555	14.833
1-1.5		150	250	154	118	70	39	28	24	20	30	7	2						892	33.417
1.5-2		11	161	356	134	95	78	47	31	17	34	10	4						978	53.792
2-2.5			19	226	291	93	89	41	38	21	11	5	2						836	71.208
2.5-3				62	210	119	48	28	26	17	9	4	3						526	82.167
3-3.5				3	92	134	32	26	20	11	14	7	3						342	89.292
3.5-4					10	86	35	28	13	15	10	8							205	93.563
4-4.5						34	38	28	13	3	2	3							121	96.083
4.5-5						2	27	23	6	4	2	1							65	97.438
5-5.5							10	22	10	6	3	2							53	98.542
5.5-6							1	15	12	4	2	1							35	99.271
6-6.5								6	3	1		2							12	99.521
6.5-7									3		4								7	99.667
7-7.5									4	1	1								6	99.792
7.5-8									1	1		1							3	99.854
8-8.5									1	1	1	1							4	99.938
8.5-9													1						1	99.958
9-9.5																				99.958
9.5-10											1								1	99.979
10-10.5																				99.979
10.5-11													1							1100.000
11-11.5																				100.000
11.5-12																				100.000
>12																				100.000
TOTAL	117	338	501	902	914	680	431	331	234	141	139	58	14						4800	
CUMMULATIVE	2.44	9.48	19.92	38.71	57.75	71.92	80.90	87.79	92.67	95.60	98.50	99.71	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

AVERAGE MONTHLY OCCURENCES OF SIGNIFICANT WAVE HEIGHT AND PEAK PERIOD.  
NUMBER OF JOINT OCCURENCES AND CUMMULATIVE PER CENT FREQUENCY.

OCTOBER 1955-1994

GRIDPOINT 1361. POSITION: 58.3 N 2.5 E.

PERIOD(SEC)	0-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	>20	TOTAL	CUMMU- LATIVE
HMO (M)																				
0-0.5	47		1	1	4	2	1	2	3	4	2	3	1						71	1.431
0.5-1	28	97	27	28	47	22	8	21	6	18	14			1					318	7.843
1-1.5		94	156	109	78	88	39	27	15	29	28	7	3						673	21.411
1.5-2		6	125	328	121	95	75	43	39	25	27	10	3			1			898	39.516
2-2.5			12	211	227	110	91	56	37	24	26	14	5						813	55.907
2.5-3				74	246	112	66	70	55	16	24	11	5			1			681	69.637
3-3.5				6	112	189	58	63	53	16	19	11	3	3		1			534	80.403
3.5-4					22	136	76	34	44	31	20	5	3	4	1				376	87.984
4-4.5					2	41	67	31	24	21	10	7	1	2					206	92.137
4.5-5						12	35	31	15	16	13	6	4						132	94.798
5-5.5							11	27	14	16	6	6							80	96.411
5.5-6								24	13	9	10	5	1						62	97.661
6-6.5								13	10	6	1	4							34	98.347
6.5-7								6	14	10	4	3							37	99.093
7-7.5									8	4	4								16	99.415
7.5-8									2	4		2							8	99.577
8-8.5										5	1	2							8	99.738
8.5-9												1	2						3	99.798
9-9.5												1	1						2	99.839
9.5-10											1	1			2				4	99.919
10-10.5													3	1						4100.000
10.5-11																				100.000
11-11.5																				100.000
11.5-12																				100.000
>12																				100.000
TOTAL	75	197	321	757	859	807	527	448	352	254	210	99	35	13	2	2	2		4960	
CUMMULATIVE	1.51	5.48	11.96	27.22	44.54	60.81	71.43	80.46	87.56	92.68	96.92	98.91	99.62	99.88	99.92	99.96	100.00	100.00	100.00	

# VEDLEGG 1, forts.

Tabell over beregnede signifikante bølgehøyder for månedene **september** og **oktober** basert på Vervarslinga for Vestlandets (DNMIs) vind-database (hindcastarkiv) for perioden 1955-1994.

AVERAGE MONTHLY OCCURENCES OF SIGNIFICANT WAVE HEIGHT AND PEAK PERIOD.  
NUMBER OF JOINT OCCURENCES AND CUMMULATIVE PER CENT FREQUENCY.

NOVEMBER 1955-1994

GRIDPOINT 1361. POSITION: 58.3 N 2.5 E.

PERIOD(SEC) HMO (M)	0-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	>20	TOTAL	CUMMU- LATIVE
0-0.5	21		1	10	2	6	2	4	1		4	1							52	1.083
0.5-1	18	53	17	36	25	14	21	15	13	6	1		1						220	5.667
1-1.5		55	71	58	66	54	31	35	31	28	20	8	1						458	15.208
1.5-2		15	90	160	107	82	51	31	35	27	57	14	5						675	29.271
2-2.5			14	166	234	131	58	64	49	24	47	12	9	1			1		810	46.146
2.5-3			1	65	231	169	87	65	51	22	26	9	6	2	4		1		739	61.542
3-3.5				2	124	199	85	57	50	33	18	9	7	3			1		587	73.771
3.5-4					35	158	85	43	44	29	20	8	3	4					429	82.708
4-4.5					1	70	101	59	48	22	12	12	1						326	89.500
4.5-5						8	78	43	28	19	11	9							196	93.583
5-5.5							20	36	21	15	8	3	1						104	95.750
5.5-6								27	15	10	3	4	1	1					61	97.021
6-6.5								17	9	3	14	4	2	1					50	98.063
6.5-7								2	10	4	2	6	2	1					27	98.625
7-7.5									5	6	5	5							21	99.063
7.5-8									2	4	4	3							13	99.333
8-8.5										3	3	3	1						10	99.542
8.5-9										2	3	4	1						10	99.750
9-9.5										1	1	1							3	99.813
9.5-10												4							4	99.896
10-10.5											1								1	99.917
10.5-11													2	1						99.917
11-11.5													1						3	99.979
11.5-12													1							1100.000
>12																				100.000
TOTAL	39	123	194	497	825	891	619	498	412	258	260	122	42	13	4	2	1		4800	
CUMMULATIVE	0.81	3.38	7.42	17.77	34.96	53.52	66.42	76.79	85.38	90.75	96.17	98.71	99.58	99.85	99.94	99.98	100.00	100.00		

AVERAGE MONTHLY OCCURENCES OF SIGNIFICANT WAVE HEIGHT AND PEAK PERIOD.  
NUMBER OF JOINT OCCURENCES AND CUMMULATIVE PER CENT FREQUENCY.

DECEMBER 1955-1994

GRIDPOINT 1361. POSITION: 58.3 N 2.5 E.

PERIOD(SEC) HMO (M)	0-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	>20	TOTAL	CUMMU- LATIVE	
0-0.5	14		1	2	2	2	3	6	4	6	1								41	0.827	
0.5-1	13	43	9	18	23	23	5	7	8	10	15	3	2	3					182	4.496	
1-1.5		35	53	52	44	33	27	20	16	12	14	4	2						312	10.786	
1.5-2		7	75	158	81	76	46	32	22	18	30	4			1				550	21.875	
2-2.5			18	175	175	106	83	53	30	17	28	13	3	1					702	36.028	
2.5-3				69	227	120	90	97	57	28	26	12	9	3	2	1			741	50.968	
3-3.5				10	152	210	74	82	82	36	30	12	6						694	64.960	
3.5-4					45	190	126	66	91	59	31	12	1						621	77.480	
4-4.5					4	82	121	58	36	50	24	9			1				386	85.262	
4.5-5						18	106	51	27	25	22	18	5			1		1	272	90.746	
5-5.5							47	54	22	17	10	9	5	2					166	94.093	
5.5-6							2	53	19	10	17	11	2	1					115	96.411	
6-6.5								25	19	7	10	8	1						70	97.823	
6.5-7								3	13	6	4	16							42	98.669	
7-7.5									9	7	8	6	2						32	99.315	
7.5-8									6	2	1	4	2						15	99.617	
8-8.5										4	3	2							9	99.798	
8.5-9										1	2	1							4	99.879	
9-9.5											1								1	99.899	
9.5-10											3	1							4	99.980	
10-10.5																				1	99.980
10.5-11												1								100.000	
11-11.5																				100.000	
11.5-12																				100.000	
>12																				100.000	
TOTAL	27	85	156	484	753	860	730	607	461	315	280	146	40	10	4	1	1		4960		
CUMMULATIVE	0.54	2.26	5.40	15.16	30.34	47.68	62.40	74.64	83.93	90.28	95.93	98.87	99.68	99.88	99.96	99.98	100.00	100.00			

## **Norsk institutt for vannforskning**

Postboks 173 Kjelsås  
0411 Oslo

Telefon: 22 18 51 00  
Telefax: 22 18 52 00

Ved bestilling av rapporten,  
oppgi løpenummer 3425-96.

ISBN 82-577-2958-2