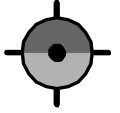


**PUD-VURDERING AV
NATURFORHOLDENE PÅ
ORMEN LANGE**



Rapport

RAPPORTTITTEL		GRADERING
PUD-VURDERING AV NATURFORHOLDENE PÅ ORMEN LANGE		Offentlig <input checked="" type="checkbox"/>
		Unntatt off. <input type="checkbox"/>
		Begrenset <input type="checkbox"/>
		Fortrolig <input type="checkbox"/>
		Strengt fortrolig <input type="checkbox"/>
		RAPPORTNUMMER
FORFATTER/SAKSBEHANDLER		
Arne Kvitrud		
ORGANISASJONSENHET	GODKJENT AV/DATO	
P-Ormen Lange		
SAMMENDRAG		
<p>Det er gjort en vurdering av de meteorologiske og oseanografiske forholdene på Ormen Lange i forhold til det som er spesifisert av Norsk Hydro.</p> <p>Vi slutter oss i all hovedsak til de konklusjonene som Norsk Hydro har kommet til.</p> <p>Vi foreslår to vilkår i forbindelse med utbyggingen. Det ene knyttet til strømmålinger i områdene med steinbunn og det andre på opprettelse av en ny meteorologisk og oseanografisk stasjon.</p>		
NORSKE EMNEORD		
Konstruksjonsanalyser, rørledninger, stigerør, forankring, bølger, strøm, vind, jordskjelv, ising, marin begroing, klimaendringer, sjøtemperaturer, lufttemperaturer og sikt.		
PROSJEKTNUMMER	ANTALL SIDER	OPPLAG
20W1	31	
PROSJEKTTITTEL		

INNHOLDSLISTE

INNLEDNING	4
SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER	5
DATAGRUNNLAG	7
Meteorologi	7
Bølger	7
Oseanografi	7
Jordskjelv	8
Generelt datagrunnlag for varsling	8
VIND 10	
Vindhastigheter	10
Polare lavtrykk	12
Vindlaster	12
BØLGER	13
Ekstremverdier	13
Enkeltbølger	14
Høyden på bølgekammen	14
Bølgeperioder	15
Bølgelaster og utmatting	15
Refraksjonsanalyser for landfall	15
Langsomt varierende laster	16
STRØM	17
Tidevannsstrøm	18
Strømprofil	18
Operasjonell strøm	18
Strømlaster	19
Dynamisk strøm og indre bølger	19
Erosjon	21
VANNDYP	23
Batymetri	23
Tidevann	23
Stormflo	23
MARIN BEGROING	23
TEMPERATURER	24
Lufttemperaturer	24
Sjøtemperaturer	24
SIKT 24	
IS OG SNØ	25
Sjøis	25
Ising	25
Snølaste	25
KLIMAENDRINGER	26
JORDSKJELV	26
REFERANSER	27

INNLEDNING

Utgangspunktet for vår jobb var å se om det er forsvarlig å anbefale planene for utbygging (PUD) av Ormen Lange. Videre å vurdere behovet å gi anbefalinger om vilkår for utbyggingen.

Utbyggingen av Ormen Lange er den første utbyggingen på norsk sokkel med vanddyp over 500m. Utbyggingen skal skje i en rasgrop med vanskelig topografi. Det er ikke foreslått noen bemannede innretninger i den første produksjonsfasen. Vi har tatt utgangspunkt i at en skal drive forboring med en halvt nedsenkbar installasjon (semi submersible) eller boreskip. En skal installere brønnrammer og rørledninger, og ha steindumping. Videre skal brønnrammene og rørledningene fungere under bruk. Det skal plasseres en semi/TLP etter noen års bruk. Sikkerheten for personell er derfor de første årene i hovedsak knyttet til produksjonsboringen, installeringer, vedlikehold, reparasjonsarbeider og fjerning av innretninger og utstyr. Produksjonen vi i hovedsak være gass, men også noe kondensat. Muligheten for oljeflak i havflaten vil være liten, og utslipp vil trolig fordele seg i vannsøylen. Muligheten til å samle opp utslipp i vannsøylen vil være svært liten. Ved utslipp må derfor kilden til utslipp stenges fort. I en senere del av utbyggingen skal det plasseres en kompresjonsplattform på feltet. Den vil være utstyrt med forankring og stigerør. Brudd eller skader på disse vil kunne føre til storulykker.

Jeg har laget en sammenstilling av kunnskap om naturforholdene på Ormen Lange ut fra de opplysningene jeg har. En del forhold er bare grovvurdert, da det Hydro har spesifisert er i rett størrelsesorden eller konservativt.

Det er i hovedsak en vurdering mot Norsk Hydros: Ormen Lange seabed metocean report, Norsk Hydro dokument 37-00-NH-X15-00073 av 18.7.2003. Denne er utarbeidet av Norsk Hydro i Oslo av Petter Bryn, Reidar Lien og Lars Ingolf Eide. Sintef har verifisert bølge- og strømdelene. Gudmund Kleiven i Norsk Hydro, Bergen har verifisert strømdelen.

Jeg har avgrenset meg til området med vanddyp som er større enn 500m, det vil si selve utbyggingsområdet og skråningen. Jeg har ikke sett på rørledningstraseen mot land. Rørtraseen til land ble behandlet på møtet med Hydro og Statoil 4.1.2003.

SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER

I forbindelse med utbyggingen er det særlig vandypet, topografien og de oseanografiske forholdene som er spesielle, - og som er av stor betydning for sikkerheten. Prosjektet har i forbindelse med utbyggingen gjort en omfattende datainnsamling, analyser og simuleringer av de oseanografiske forholdene. De har også lagt ned mye arbeid i å forstå de fysiske prosessene som er spesielle for rasgropa og dyptvannsområder.

Prosjektets arbeid så langt viser at:

- a) Bølger og vind vil være sammenliknbare med Nordsjøen og Norskehavet. Denne konklusjonen er basert på matematiske simuleringer. Aktuelle målinger er langt unna.
- b) Dynamisk strøm med perioder 1-10 sekunder er målt på havbunnen rundt en kolle, - der slike hastigheter kan tenkes å være størst. Energien i strømmen er liten. Det vil kunne påvirke rørledninger i frie spenn og staver i brønnrammene, men bare i liten grad.
- c) Det er oppdaget av flere av de bratteste skråningene består av stein - som ei steinur. Steinura tilsier at en kan ha hatt svært høye strømhastigheter. Det kan her ha vært strømhastigheter som er langt høyere enn det en har målt til nå, og trolig også betydelig større enn det som er lagt til grunn i prosjekteringen av rørledningene. En mulig kandidat er indre bølger. Norsk Hydro skriver til oss at indre bølger kan gi strømhastigheter opp til 0,7-0,8 m/s. Det er likevel et fenomen som vi har lite kunnskap om.
- d) Norsk Hydro mener at energien i bølger omkring ett minutt vil være neglisjerbar. Strømhastighetene vil vanskelig kunne bli særlig mer enn en meter i sekundet. Strøm med en periode omkring ett minutt vil kunne påvirke rørledninger under legging, borerisere, brønnrammer som installeres og steindumpingen. Dynamisk strøm med perioder fra 10 minutter og oppover, og statisk strøm vil være dekket opp av de vanlige strømmålingene, og bli dekket i designen på vanlig måte. Det vil kunne gi VIV og draglaster. Det forutsettes at fenomenene er så hyppige at de er fanget opp av det måleprosjektet en har hatt. Strøm med energi i området 1-10 minutter er da ikke dekket av strømmålingene.
- e) Sjøtemperaturen er lavere og vanntrykket er høyere enn det en har hatt på tidligere utbygginger på norsk sokkel. Det krever varsomhet og at en tester utstyr for disse forholdene.
- f) Prosjektet vil vurdere behovet for strømmålinger og forsøke å få til varsling av strøm for installeringsfasene. Måling blir bare aktuelle dersom en kan gjøre tiltak ved målt høy strøm. I motsatt fall vil en legge inn konservative strømverdier og la være å måle. En vil måle strøm under produksjonsboringene.
- g) Sandbunnen med sandbølger ved rørtraseen på ca 200 m vandyp tyder på høy strøm- eller bølgeaktivitet. Sanden er ikke datert. Hydro vil ta prøver fra sanden i høsten 2003. Strøm med hastigheter på 0,5-1 m/s vil kunne skape sandbølger. Det vil være innenfor de strømhastighetene som legges til grunn for rørledningsanalysene.
- h) Hydros designspesifikasjoner er verifisert hos Sintef og Norsk Hydro i Bergen.

Steinura i brattskråningene opp mot eggakanten har kommet som en stor overraskelse. En mulig årsak kan være strømhastigheter som forekommer sjeldent ved helt spesielle oseanografiske eller meteorologiske omstendigheter. En annen mulig årsak til steinura kan være indre bølger. Indre bølger vil kunne ha perioder fra ett til femten minutter. Skader i borerisere er uønsket sikkerhetsmessig, men under produksjonsboringen vil de ikke være hydrokarbonførende. Havbunnsventiler og nedihullsventiler vil være barrierer mot blow-out. De høye strømhastighetene i skråningen vil også kunne påvirke rørledningene. Dersom de høye hastighetene er forårsaket av indre bølger vil de trolig være i retning opp og ned langs

skråningene. Da er ikke rørledningene så utsatt, men rørtraseene går likevel ikke hele veien rett opp skråningene. Dersom årsaken er andre strømfenomener – kan de gå på tvers av rørledningene og medføre skade. Norsk Hydro forklarer utvaskingen av steinene med at dette skjedd i siste fase av Storegga-skredet, og mener at det ikke vil oppstå tilsvarende sterke strømmer i dag. Hvis dette er riktig har det ikke vært sedimentasjon i disse delene av skråningen etterpå.

Basert på vår vurdering anbefaler vi følgende vilkår til PUD-en for Ormen Lange, begrunnet primært ut fra hensyn til strømningsikkerhet: *”Steinbunnen i skråningene tilsier at det kan være langt høyere strømhastigheter enn det som er lagt til grunn i prosjekteringen av rørledningene. Lisensen skal over en toårsperiode før rørledningene tas i bruk, måle strøm der det er steinbunn. Måleprogrammet skal være slik at en også kan måle eventuelle indre bølger. Basert på målingene, skal det om nødvendige gjøres tiltak for å hindre skader”*.

Lokasjonen på Ormen Lange ligger langt unna de målestedene på Haltenbanken og i Nordlig Nordsjø. For land har området ved Mørkekysten de høyeste dimensjonerende vindhastighetene på norsk sokkel. Det er ønskelig å få flere målestasjoner i dette havområdet, for å supplere vårt observasjonsnett. Vi har også forelagt for Meteorologisk institutt i hvilken grad en har tilfredsstillende datagrunnlag for dette området. Vi har fått tilbakemelding fra dem 18.12.2003 at de ønsker å få en målestasjon i området.

Basert på anbefalingen fra Meteorologisk institutt vil vi foreslå følgende vilkår. Dette kan også gis som enkeltvedtak etter rammeforskriften § 25: *”Det skal foretas innsamling og sann tidsrapportering av meteorologiske og oseanografiske data under produksjonsboringen på Ormen Lange. Når feltet produserer bare med undervannsanlegg skal det måles bølger og vind. Målingene skal da gjøres på den planlagte lokasjonen for den halvt nedsenkbare flyteren og rapporteres i sanntid. Når kompresjonsplattformen eventuelt installeres skal det utføres meteorologiske målinger, herunder bølge- og vindmålinger. I tillegg skal nær-sanntids målinger av vannstand og strømprofilforetas ved Ormen Lange. Alle målingene og dataanalyser skal utføres, kontrolleres og rapporteres i samsvar med NORSOK N-002”*.

DATAGRUNNLAG

Ormen Lange er omtrent ved 63 grader 30 minutter nord og 5 grader 15 minutter øst.

Meteorologi

Datagrunnlaget for meteorologi er i stor grad værskipet Polarfront (posisjon MIKE) på lokasjon 66 grader nord og 2 grader øst siden 1949.

Ormen Lange ligger slik at det kan være fornuftig å gjøre avveininger mellom informasjon innsamlet fra sørlig del av Haltenbanken (Draugen og Heidrun) og nordlig del av Nordsjøen (Gullfaks og Statfjord). For vind og bølger har Norske Hydro brukt Statoil til å analysere hindcast-data. De har brukt både WINCH og NEXT, men funnet best samsvar med WINCH. I tillegg har de korrigert dataene med nærliggende målinger. Disse målingene er bare over noen få måneder og har da liten verdi.

Bølger

I dyphavsområdene har værskipet Polarfront (posisjon MIKE) målt med shipborn waverider på lokasjon 66 grader nord og 2 grader øst. Vi har i tillegg målt med waverider ved siden av Polarfront i to perioder (14.9.89-14.11.1989 og 1.2.91-1.7.1991). Sammenlikninger viser at bølgedataene fra værskipet i perioder er feil. Bølgehøydene var i perioder omkring dobbelt så store som det som ble målt fra på Polarfront (Barstow, 1991). Det er ikke noe tegn på at det er noe galt med dataene i perioden fram til 1988 (Barstow, 1991). Det blir i tillegg gjort meteorologiske observasjoner på skipet og herunder vindmålinger.

Det har vært omfattende innsamling på Statfjord/Gullfaks, Heidrun, Draugen og I1 (i ODAP-prosjektet). Den nærmeste stasjonen er M6, som ODAP sto for, men det ble bare målt i en kort periode. Statoil har på oppdrag fra lisensen gjort noen sammenstillinger av data der de har brukt M6-dataene.

Oseanografi

Tidligere datagrunnlaget for strøm på dypt var ganske beskjedent. Vi har noen få målinger som er utført av oss på Vøringplataet, undersøkelser utført av operatørene (ODAP og NDP) og UiB (Svinøy-profilet).

Norsk Hydro (2003, side 39) skriver:

Current measurements in the deepwater area, i.e. the slide area, have been carried out in two batches. The first measurements started in October 1999 and lasted until May 2001. The positions are shown as OL I – OL IX in Figure 30. Sites OL I and OL II included measurement of the whole current profile. Typical deepwater moorings are shown in Figure 31. The other sites included only seabed currents, with mooring similar to that at site 6 in Figure 28. Site OLI also included wave measurements for 6 months. Sites OLII, OLV, OLVIII and OLIX were occupied the whole period (18 months), the other sites from 6 months to 1 year.

The deepwater measurements were resumed in November 2001 at site Th7 in Figure 30 and extended by site Th8 in May 2002. These measurements are scheduled to last until the end of 2003. Both these moorings included the whole current profile.

From October 2001 to January 2002, additional measurements of seabed currents were carried out around a 20 m high mound on the seabed in 670 m water depth on the planned pipeline route. The purpose of these measurements was to study high frequency (period 5 – 10 seconds) current variations as well as the influence of the mound on the local current pattern. Measurements were carried out on top of the mound, on each side as well as in the expected downstream side, using current meters 5, 10 and 20 m above the seabed. Position and the used mooring are shown in Figure 32.

High frequency current measurements were repeated February – June 2003 in four locations where long free spans are expected. Figure 33 shows the location and the measurement layout at one of these locations. Measurements were carried out 3 m above the seabed.

ADCP på borerigger blir påvirket av støy fra trustere (Hans Jørgen Sætre, 25.9.2003).

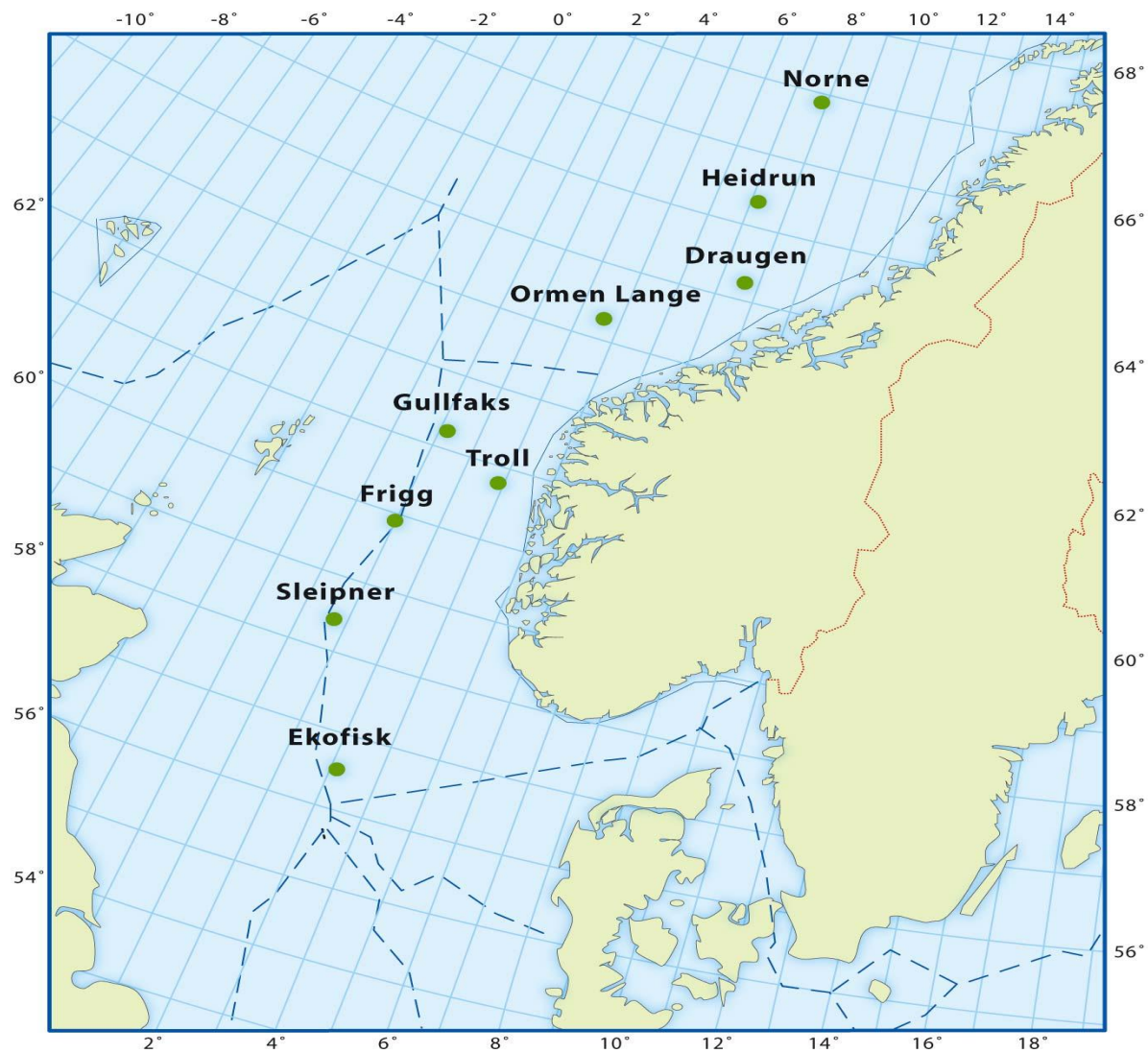
Jordskjelv

For jordskjelv er det en god database (SEISNOR) som går fra 1991 og som har med seg alle jordskjelv av betydning. Disse skjelvene er også godt dokumentert. En har også eldre databaser. Rapporteringen av disse er ikke så god, men de største skjelvene er godt dokumentert.

Generelt datagrunnlag for varsling

En har siden forskrifter om E- og P-data ble fastsatt i 1978 bygget opp et stasjonsnett langs norskekysten for målinger av meteorologiske og oseanografiske data. Operatørene er ansvarlige for innsamling, kvalitetskontroll og rapportering av data. De er i tillegg ansvarlige for å oversende data til Miljødatasenteret ved DNMI.

Ormen Lange ligger i et havområde der det er langt til andre målestasjoner både i nord og sør – se figur 1. Vi har derfor forelagt DNMI behovet for en ny målestasjon. Vi fikk da svar tilbake med ønske om en slik stasjon, og et forslag til vilkår. Vi har bearbeidet tekstforslaget fra DNMI videre.



Figur 1: Stasjonsnettet for måling av meteorologiske og oseanografiske data - når målingene på Ormen Lange igangsettes.

VIND

Vindhastigheter

Ormen Lange er i et område hvor vestlige vinder dominerer. Lavtrykk dannes normalt i Nordatlanten; langs den såkalte Polarfronten. Polarfronten er grensen mellom kald polarluft og varm subtropisk luft. Lavtrykkene beveger seg så i nordøstlig retning. Høytrykksområder finner en i hovedsak i islagte områder (Arktis) og omkring 30 grader nord. Trykkgradiene i disse områdene er størst om vinteren (Bjerke mfl, 1990).

Datagrunnlaget som er brukt for Ormen Lange er (Johannessen mfl, 2000, side 4): vind fra Haltenbanken 1980-2000, WINCH punkt 1319 for 1955-1999 samt NEXT punkt 13721 1964-1998. De har altså brukt ett datapunkt fra hver base. Merk at Esso eller eventuelt ExxonMobil i sine analyser tar ut fire punkter til sine analyser. De har korrigert WINCH med de målte dataene.

Ulike personer har gjort analyser av vindforhold på Midt-Norge :

Målested	Måleperiode	Referanse	Vindhastighet-100 år
Polarfront	1949-72	Olsen (1974)	42 m/s (10 min middel)
Polarfront	1949-76	Marex (1980)	41 m/s (10 min middel)
Polarfront	1949-93	Harstveit mf (1994)	38 m/s (3-5 sek vindkast) dvs ca 30 m/s for 10 min middel
Molde	1972-92	Harstveit mf (1994)	54 m/s (3-5 sek vindkast) dvs ca 43 m/s for 10 min middel
Kristiansund	1970-93	Harstveit mf (1994)	55 m/s (3-5 sek vindkast) dvs ca 44 m/s for 10 min middel
Vigra	1959-93	Harstveit mf (1994)	56 m/s (3-5 sek vindkast) dvs ca 45 m/s for 10 min middel
Ørlandet	1964-93	Harstveit mf (1994)	52 m/s (3-5 sek vindkast) dvs ca 42 m/s for 10 min middel
Fruholmen	1969-93	Harstveit mf (1994)	44 m/s (3-5 sek vindkast) dvs ca 35 m/s for 10 min middel
Sula	1957-93	Harstveit mf (1994)	50 m/s (3-5 sek vindkast) dvs ca 40 m/s for 10 min middel
Svinøy fyr	1974-93	Harstveit mf (1994)	46 m/s (3-5 sek vindkast) dvs ca 37 m/s for 10 min middel

Figur 2: Sammenstilling av hundreårsvindhastigheter beregnet av ulike personer; med ulike data, lokasjoner og måleperiode. Harstveit mf (1994) har tilpasset årsekstremer til Gumbelfordelinger. Middelet for alle er ca 40 m/s, men lavest er verdien offshore (Polarfront).

Det er også gjort analyser og vurdering av data fra Gullfaks og Statfjord. Jeg har tidligere notert meg med grunnlag i data fram til 1983:

Statfjord	1966-76	ESSO	38 m/s
Brent "B"	1976-78	Marex	44 m/s
Brent "B"	Ikke oppgitt	DoE	40 m/s
Brent+ Statfjord	1976-83	Statoil	41 m/s
Brent+ Statfjord	1976-83	Statoil	40 m/s
Statfjord	Ikke oppgitt	DoE	42 m/s
Stevenson	1973-76	Marex	34 m/s
Stevenson	Ikke oppgitt	DoE	42 m/s
Møre	1966-76	ESSO	30 m/s
Sula	1957-76	DnV	47 m/s

Figur 3: Sammenstilling av gamle hundreårsvindhastigheter beregnet av ulike personer; med ulike data, lokasjoner og måleperiode. Verdien til høyre gir hundreårsvind (m/s) med midlingsperiode på 10 min.

En rimelig størrelsesorden på hundreårs vindhastighet vil være omlag 40 m/s midlet over 10 minutter og i 10m høyde. Verdiene er i samme størrelsesorden som det en får fra Nordsjøen og Haltenbanken.

Johannessen mfl (2000, side 14) har brukt en treparameter Weibullfordeling i 10m høyde og midlet over en time. De forklarer de høye designverdiene i Nordlig Nordsjø med målingene på Brent i 1975-80 (39-41 m/s), som ga svært høye verdier. En finner dem ikke igjen i hindcastdatabasene. Brent-dataene er ikke brukt på Ormen Lange. Weibull-plottet på side 16 tilsier at kurvetilpasningen gir en høyere vindhastigheter enn WINCH, for høye vindhastigheter. Dvs OK!, men reflekterer kanskje også at parametrene i WINCH-modellen er tilpasset midlere forhold, snarere enn ekstremer? Usikkerheten i modellen er nok også størst her.

Norsk Hydro (2003, side 45) har spesifisert:

	Return period (years)			
	1	10	100	10000
Significant wave height (m)	11.7	13.9	16.0	20.0
Expected maximum wave height (m)	22.2	26.4	30.4	38.0
Wind velocity, 1 hour mean, 10 m height (m/s)	29.5	33.0	36.0	42.0

Figur 4: Bølger og vind med ulike returperioder (Norsk Hydro, 2003).

Forskjellen er i første omgang i midlingsperioden. Bruker en NORSOK N-003 formel (6.4) får en at en times verdien skal multipliseres med 1,084. 36 m/s for en time tilsvarer da 39 m/s over 10 min. Norsk Hydros verdi er da rimelig. Forholdet mellom 3 sek og 10 min er ca 14%. Norsk Hydros verdi er da rimelig.

Polare lavtrykk

Et større forskningsprosjekt er utført av flere norske institusjoner og firma for å undersøke polare lavtrykk (Lystad, 1986). Det er lavtrykksdannelser som dannes i grenseområdet mellom is og hav i nordområdene. De er små i størrelse - typisk 100 til 500 km - og er vanskelige å oppdage og varsle. Det mest utsatte området er området fra Lofoten til Nordkapp. Det er likevel observert flere polare lavtrykk også lengre sør like til Nordsjøen.

Høyeste målte vindhastighet i noe norsk polart lavtrykk er 35 m/s i 10 m høyde og midlet over 10 min. En av konklusjonene fra prosjektet var at det var lite trolig at polare lavtrykk ville gi høyere vindhastighet enn vanlige stormforhold. Ekstremverdistatistikk gav 38 m/s for Tromsøflaket, med en årlig sannsynlighet for overskridelse på 10^{-2} (Houmb og andre, 1986). Fordi dette er basert på data for ett større område vil ekstremverdiene for en bestemt lokasjon være lavere enn dette. På Ormen Lange vil en ha lavere verdier enn på Tromsøflaket.

Ved prosjektering av innretninger er polare lavtrykk da ikke noe stort problem. De fører ikke til økte ekstremestimat av vindhastighet, bølgehøyde, lufttemperatur eller ising (Houmb og andre, 1986). På den andre sida skaper polare lavtrykk vanskeligheter for operasjoner og planlegging av operasjoner over lang tid. Et tilfelle er Norsk Hydros boring på blokk 7321/9-1 høsten 1988. To polare lavtrykk førte da til borestans i 22 timer (Halleraker, 1988).

En vil kunne få polare lavtrykk også på Ormen Lange, men størrelsen antas å være mindre enn for Barentshavet ved større avstand til iskanten (i vest!).

Vindlaster

For strekkstagkonstruksjoner som Snorre og Heidrun var vind viktige i lastberegningene. Et installeringsfartøy eller en borerigg som ligger for anker vil ha høye egenperioder i jag og svai. Ved slike perioder er det et viktig dynamisk bidrag i vinden. Bidraget blir også større med økende egenperiode.

Olufsen og Nordsve (1994) angir at for en boreriser med 0,5m diameter, er den første egenperioden på 1500m typisk omkring 58 til 78 sekunder. Dynamisk vindbelastning vil her kunne gi bevegelser på konstruksjonene; som igjen kan gi tilleggseffekter i boreriseren eller i en rørledning under legging.

BØLGER

Ekstremverdier

Generelt har man lave hundreårsbølger sør i Nordsjøen. Tallverdien vokser når man beveger seg nordover og størst verdi får man i et område fra nordlig del av Nordsjøen til Trænabanken. Hundreårsverdiene avtar så igjen nordover. I Barentshavet er verdiene sammenliknbare med det som finnes i den sørligste delen av norsk sokkel.

En merker seg at Statoil bare er brukt et hindcastpunkt og ikke flere, som Exxon bruker.

I vårt tilsyn (oppgave 0212.Å12) av Statoil i forbindelse med Kristin-prosjektet i 28.6.2002 hadde vi følgende observasjon: " Ved kontroll av den sammensatte dataserien for bølger av 8.1.1980 klokka 6 skulle dataene være hentet fra hindcast-databasen og skulle være $H_s=2,8m$. Ved en kontroll mot hindcast-databasen WINCH fant vi ikke igjen dette tallet." Statoil svarte på møtet 4.11.2003 at dette var rettet.

Torsethaugen (1985) angir basert på målinger fra Polarfront midlere H_{m0} for perioden som 2,3m og Iden (1995) angir 2,2 m. Største målte signifikante bølgehøyde var 15m for Polarfront i perioden 1980-93 (Iden, 1995).

Ulike personer har gjort analyser av hundreårs bølgeforhold for Midt-Norge :

Målested	Måleperiode	Referanse	HS-100 år
Polarfront	1982-84	Torsethaugen (1985)	14,9m
Polarfront	1982-88	Barstow (1990)	16,5m
Vøring	1989-91	Schjølberg (1992)	16,1m
Vøring	1989-91	Bjerken mfl (1994)	16,3m
HAMS - alle	1980-88	Johannessen mfl (2000)	16,2m
Seawatch	1992-95	Johannessen mfl (2000)	16,6m
Draugen	1996-99	Johannessen mfl (2000)	14,0m
Heidrun	1996-99	Johannessen mfl (2000)	14,4m
M6 (Møre)	1989-91	Johannessen mfl (2000)	10,9m
M7 (Stad)	1989-91	Johannessen mfl (2000)	14,6m
Samlet Haltenbanken	1980-99	Johannessen mfl (2000)	16,0m
Magnus	1985-99	Johannessen mfl (2000)	16,7m

Figur 5: Hundreårsbølger for Midt-Norge utført av ulike personer.

Selv om kvaliteten av dataene fra Polarfront er usikker, virker en hundreårsbølge i størrelsesorden av 16,5m rimelig. Det er ikke noe tegn på at det er noe galt med dataene fra Polarfront i perioden fram til 1988 (Barstow, 1991).

Generelt synes bølgehøydene å øke med avstanden fra land. For feltet Foinaven vest av Shetland skal en dimensjonere med en signifikant bølgehøyde med returperiode på 100 år på 18m (Grant mfl, 1995).

Norsk Hydro (2003) har spesifisert en signifikant hundreårsbølge på 16,0m. Det kan virke som om det er noe lavere enn hva en har funnet lengre nord, men Ormen Lange ligger noe

nærmere land og er lengre sør. Hundreårsverdien for nordlig Nordsjø er 14,5m. Tallet virker derfor ikke urimelig.

Johannessen mfl (2000, side 33) har med bruk av WINCH fått en bedre tilpasning i den midtre og nedre delen av fordelingen enn for de største bølgehøydene. Tilpasningen i halen ser likevel ut til å være lagt på den sikre siden. Det reflekterer kanskje også at parametrene i WINCH-modellen er tilpasset midlere forhold, snarere enn ekstremer? Usikkerheten i modellen er nok også størst her. De har brukt en toparameter Weibullfordeling i en LoNoWe-fordeling (etter Haver).

Enkeltbølger

Bjerken m.fl (1994) angir at forholdet mellom H-10.000 og H-100 for Vøringplatået er 1,25. De har en enkeltbølge H-100 = 31,3m og TP-100 = 17,5 sek. Enkeltbølgen er beregnet med en overgangsfaktor på 1,92 fra den signifikante bølgehøyden. Ved bruk av 16,5m signifikant bølgehøyde får en på samme måte en hundreårsbølge på 31,7m.

Hydro (2003) har spesifisert en 10.000 års signifikant bølgehøyde for Ormen Lange på 20m. Det tilsvarer et forhold $20/16 = 1,25$, som er i samsvar med NORSOK N-003.

Johannessen mfl (2000, side 59) har funnet en hundreårs bølge på 30,5m. $30,5m/16m = 1,906$ – som er innenfor akseptabelt område. 10.000 årsverdien er på 38,5m. Forholdet $38,5/30,5m = 1,26$ – som er ok etter NORSOK N-003.

Høyden på bølgekammen

På Snorre ble det i modellforsøkene vist at bølgekammene kom høyere opp enn det de hadde forutsatt. Det førte til en heving av dekket. Likevel slo bølger opp i dekket på Snorre i to hendelser i 1993 og 1995. Økt bølgekam ble også vist på Heidrun i de modellforsøkene de gjorde i 1990. Det førte til en heving av dekket her også. Tilsvarende ble vist på Draugen. Målingene her ga 5m høyere bølgetopp foran søyla enn forutsatt. På den halvt nedsenkbare innretningen på Veslefrikk har Statoil øket dypgangen i storm med 3 m; etter at dekket var blitt truffet av bølger ved et par anledninger.

Barstow, Bern og Krogstad (1992) angir at bøyer gir et helt annet bilde av forholdet enn målinger fra plattformer. Bøyene gir systematisk lavere verdier. De anser derfor bøyedata som ubrukbare for dette formålet. Tidligere vurderinger har i stor grad vært bygd på bøyedata; som da gir for symmetriske bølger

Med bakgrunn i data fra Gullfaks C (Haver, 1992) vises det at bølgefordelingen er nær Gaussiske. Han får en skeivhet på 0,15 med et standardavvik på 0,07. Videre en kurtosis på 3,09 med et standardavvik på 0,24. Haver viser også at kurtosis varierer lite med steilheten. Disse verdiene bør også kunne brukes som grunnlag for simuleringer og modellforsøk for Ormen Lange.

Johannessen mfl (2000, side 59) skriver at de har en 100-års bølgekam på 17,2m og en 10.000 års verdi på 22m. De er funnet ved bruk av Jahns og Wheeler teori. En skal så tilpasse dette til en Stoke V- teori. Norsk Hydro spesifiserte (Tom Marthinsen, møte 4.11.2003) at forholdet skulle være 0,6 mellom bølgekam og enkeltbølgehøyde. Det ga 22,8m. Bruk av Forristals metode ga 23,5m (Kenneth Eik, møte 4.11.2003).

Statoil skrev 100 årsverdier i sine rapporter, men hadde regnet ut 10^{-2} -verdier (Kenneth Eik, møte 4.11.2003).

Bølgeperioder

En del halvt nedsenkbare innretninger har ofte egenperioder like i overkant av 20 sekunder og for eksempel Troll-olje har en egenperiode på 26 sekunder i hiv. Egenperioden vil være tilnærmet uavhengig av vanddypet.

Torsethaugen (1985) angir basert på målinger fra Polarfront midlere T_p på 10,0 sek. Iden (1995) angir 7,5 sek. Største målte peakperiode (T_p) var 19 sekunder for Polarfront i perioden 1980-93 (Iden, 1995). Om en korrigerer dataene fra Polarfront med målingene fra bøylene vil en ha mange observasjoner med peak periode over 20 sekunder (Barstow, 1990). Det er da grunn til å tro at energien i bølger med perioder over 20 sek er noe større på Vøringplatået enn på Haltenbanken og Trænabanken (Barstow, 1990). Hvordan dette så vil være på Ormen Lange er litt uvisst.

En må på Ormen Lange kunne gjøre regning med avbrudd i boringen og problemstillinger ved innstalleringen på grunn av lange bølgeperioder. Energien ved så lange perioder er nok begrenset, men resonanseffektene kan være betydelige – jamfør installeringen av dekket på Kvitebjørn sommeren 2003.

Bølgelaster og utmatting

Det store vanddypet gjør at en kan få egenperioder på konstruksjoner som en ikke er vant med. Det kan også være at det dukker opp laster som en i liten grad er klar over, jf ringing som ble oppdaget i forbindelse med dyptvannsløsninger (3-400m) med egenperioder på 4-5 sekunder.

Bølgelaster er i liten grad påvirket av vanddypet. Lastene blir da ikke større på Ormen Lange enn andre steder; forutsatt samme størrelse på bølgene.

Om en ser på fordelingen av bølger for ytre deler av Haltenbanken; har en flere større bølger enn andre steder på sokkelen. Avhengig av hvilken type innretning en har vil betydningen av dette på utmatting variere.

Refraksjonsanalyser for landfall

Statoil er ansvarlig for refraksjonsanalyser. Analysene vil bli presentert 4.11.2003. De har brukt (Eide, 25.9.2003) et program fra den amerikanske marinen STWAVE ("Steady state wave modell"). Den tar hensyn til ulike fenomener ved at bølgene går mot grunnere vann og i fjorder. En har brukt bølgespredning med $n=4$ og $n=10$. Programvaren testes ut i forbindelse med Snøhvit-utbyggingen. De har der tre bølgemålere langs traseen og sammenlikner målte verdier med resultatene fra analysene. Samsvaret er rimelig, men ikke så god for en del retninger. Målingene mente Nygaard og Eik ga tillit til programvaren de brukte for Ormen Lange. De hadde også sammenliknet modellresultater med målinger fra M6 for en toårsperiode. Modellen ga høyere verdier enn de målte.

Langsamt varierende laster

Bølgedrift er relatert til differansen i bølgefrequenser, mens springing/ringing er knyttet til summen av bølgefrequenser. Samvirke mellom to bølgekomponenter gir en last som virker ved differansen av enkeltbølgenes bølgefrequenser. I prinsippet er det en uendelig mengde kombinasjoner av bølger som i sum kan gi en gitt frekvens som svarer til en egenperiode.

Natvig (1993) skriver at følgende forhold gir langsamt varierende laster. De er alle lite avhengige av vanddypet. Det skulle da ikke være noen spesielt forhold på Ormen Lange.

- a) variabel væting,
- b) det kvadratiske hastighetsleddet i Bernoullis likning,
- c) innkommende og reflekterte bølgefelt,
- d) translasjons- og rotasjonsbevegelser av konstruksjonen

En strekkstagkonstruksjon vil på 1000m typisk ha egenperioder i surge og sway på 150-300 sekunder og i jaging på 100-200 sekunder (i henhold til Stein Fines, Saga 10.8.1995). Grovt kan en anta at egenperiodene er proporsjonale med kvadratrota av vanddypet. En slakkforankret innretning vil ha enda høyere egenperioder. Troll-olje har egenperioder i surge og sway på ca 180 sekunder og i jaging på 125 sekunder. En har da noe erfaring i nedre område av det en kan forvente på Ormen Lange. På Troll-olje ble det rapportert om bra samsvar mellom modellforsøk og analyser (KDOC, 1992).

Dagens kunnskap synes å gi en rimelig god analytisk forutsigelse av langsamt varierende bevegelser også for de vanddyp som en kan forvente på Ormen Lange.

STRØM

Den nordatlantiske strømmen som transporterer varmt vann inn i Norskehavet går gjennom renna mellom Færøyene og Shetland i nordøstlig retning. Mellom Island og Færøyene møter det atlantiske vannet den Øst-Islandske strømmen som transporterer kaldt vann fra nord for Island og sørøstover mot sentrale deler av Norskehavet. I Norskehavet dukker den Øst-Islandske strømmen inn under de atlantiske vannmassene. Utenfor midt-Norge følger det atlantiske vannet topografien. En del av strømmen dreier nordøst mot Jan Mayen. I dette området vil en få en blandingssone mellom atlantisk og arktisk vann (Melle mfl, 1993). Kyststrømmene ligger mellom Atlanterhavsstrømmen og land. Når en kommer ut i skråningen er det Atlanterhavsstrømmen som dominerer.

Disse strømmene blir så influert av vær og tidevann. Målingene på Ormen Lange (Petter Bryn, 25.9.2003) viser store sesongmessige variasjoner.

Forsøk på å simulere matematisk de hele bildet av havstrømmer på Vøringplatået har så langt ikke vært vellykket når det gjelder å beregne brukbare verdier på strømhastighetene (Martinsen mfl, 1995 og Furevik, 1995). Modellene forteller likevel en del om de generelle strømningsmønstrene.

Det vil kunne bli sterk strøm og det er store variasjoner av strømhastigheter i området. Det vil generelt være nødvendig å gjøre omfattende målinger på aktuelle lokasjoner for konstruksjoner der strøm er av betydning.

Norsk Hydro (2003, side 47) skriver:

Factors that make Ormen Lange challenging with respect to metocean relative to e.g. the North Sea include:

- Strong currents over a large depth. Design values for current speed exceed 1 m/s (2 knots) over a vertical distance of more than 500m
- Current shear in form of northward current in the upper layer and opposite current in the lower layer
- Strong bottom currents in connection with steep topography, e.g. in the slide headwall area and in the “Buadjupet” (between Buagrunnen and the nearshore islands).
- Rapid changes in current speed and direction. In deep water these changes often occur with variations in temperature, as shown in Figure 36. An example from “Buadjupet” is shown in Figure 37.
- Changes in current speed and direction over short distances due to slide blocks and other topographic features on the bottom. These may affect free spans. (The high frequency measurements have shown that the turbulence spectrum around these features are as expected from turbulence theory, i.e. with energy levels decreasing with exponent 5/3 with increasing frequency).

Nær land er det på stasjon 8 målt sterk strøm. Det er i nærheten av der en har sandbølgene.

Tidevannsstrøm

Numeriske beregninger (Gjevik mfl, 1990) og målinger for Vøringplataet viser at tidevannsstrømmene er lave; mindre enn 10 cm/s. Verdiene for Ormen Lange er også trolig lave.

Strømprofil

Schjøllberg (1992) angir for Vøringplataet vil det være rimelig rett og på den sikre siden å anta at strømretningen er den samme i hele profilet. Maksimal strøm forekommer ikke samtidig i alle dyp. Om en har behov for lavere strøm er det likevel et visst potensiale i å gjøre slike analyser. Analysene må i så fall være basert på målinger på den aktuelle lokasjonen. EOF gir fornuftige svar når en ikke tar med retning, men ubrukelige svar når en også forsøker å få med retningen (Gudmund Kleiven, 25.9.2003).

Null graders isotermer varierer med +/- 300 meter (Gunnar Furnes, 25.9.2003). En får også oppstuvning oppover skråningen som ved en bølge som renner innover en strandsand. Den vil gi variasjoner og vertikalkomponenter av strømmen. Det er Ekman-transport som gjør det (Furnes). En har også opplevd å få det arktiske vannet opp på plataet.

Depth	Current velocity (m/s) with different return periods		
	1 year	10 years	100 years
Surface	1.15	1.30	1.40
20 m	1.15	1.30	1.40
60 m	1.10	1.20	1.30
100 m	1.10	1.20	1.30
200 m	1.10	1.20	1.30
300 m	1.05	1.15	1.25
400 m	0.95	1.05	1.10
500 m	0.85	0.95	1.05
750 m	0.65	0.70	0.75
5 m above seabed (850 m)	0.60	0.65	0.70

Figur 6: Strømprofil på Ormen Lange produksjonsområde (Norsk Hydro, 2003).

Operasjonell strøm

Hundreårs strømhastigheter i overflaten på Ormen Lange er høye og sammenliknbare med de verdier som en har i Troll-området. Slike høye strømhastigheter vil influere på innretninger og påvirke nøyaktigheten i arbeid de gjør. Det vil også øke kollisjonsfaren mellom innretninger og fartøy. De høyeste hastighetene er likevel så uvanlige at det unntaksvis vil bli problemer.

I juli 1995 hadde en en hendelse på Troll A der sterk og skiftende strøm førte til en ukontrollert frakobling av broa mellom innretningen og flotellet like ved. Flotellet lå da på dynamisk posisjonering. På Troll på 31/2-2 ble West Venture på DP "forced off" ved sterk strøm. Det var strøm på 3,5 knop. Scarabeo 5 (Saipem for Statoil) 5.4.2002: "During ordinary drilling operation, in auto DP, the rig started progressively to move sideways, increasing the offset from the wanted position to max 15 mt., with no apparent reasons."

En hadde i 2000 og 2001 borestrengsbrudd på Bucentaur. Det var pga dårlig utforming ved koblingen til dekket. En hadde i tillegg aluminiumsriser som har dårlige utmattingsegenskaper.

Ved Foinaven er det lagt vekt på å få gode bunnstrømsmålinger (Grant mfl, 1995). Det kan være nødvendig å ha bunnstrømsmålinger for installering av boreriser også ved leteboring. Norsk Hydro vurderer å få til strømvarsling på Ormen Lange for installeringsarbeidene. En har ikke så god kontroll med virvlene på Ormen Lange, som på Troll i forhold til simuleringer (Gunnar Furnes, 25.9.2003). Norske Shell vil kreve strømmålinger for boreoperasjonene (Hans Jørgen Sætre, 25.9.2003).

Strømlaster

Da bølgelastene avtar raskt med dybden vil strømlastene dominere for mesteparten av vannsøylene.

For en boreriser angir Olufsen og Nordsve (1994) at med 0,5m diameter er den første egenperioden på 1500m typisk omkring 58 til 78 sekunder. Jeg vet ikke hva det blir for Ormen Lange (850m). På Ocean Alliance forøkte en å måle VIV med en måling på en borestreng, men en fikk bare VIV (kanskje) en gang (Hans Jørgen Sætre, 25.9.2003).

Virvelavløsning rundt stigerør vil kunne opptre som in-line (i bevegelsesretningen) med redusert hastighet ($U \cdot T_n / D$) større enn ca 1 og som tverrsvingning med redusert hastighet større enn ca 4. En boreriser vil få virvelinduserte tverrsvingninger i første svingform ved svært lave strømhastigheter ($= 4 \cdot 0,5m / 60s = 0,3 \text{ m/s}$). Modellforsøk viser at tverrsvingningene forsvinner når reduserte hastigheter blir større enn ca 8 (her 0,6 m/s). Selv her er hastigheten lav og en vil sjelden få tverrsvingninger; og når det inntre vil lasten være liten. Utmatting vil neppe være noe stort problem. Grunnen er at utsvinget blir omtrent det samme i alle svingformer - ca en rørdiameter.

Høyere svingformer blir også utsatt, da de har lavere egenperioder. Beregninger gjort at Nils Terje Nordsve (september 1995) viser at en lett får utmatting med høyere svingformer. Høyere svingformer vil gi kortere lengder for hver utsvingning, større bøyning og større spenninger.

Dersom en har flere risere i en gruppe (to eller flere) vil en i tillegg kunne få effekter som gjør at området for virvelinduserte tverrsvingninger (redusert hastighet) vil øke kraftig (se f eks Overvik mfl, 1983). Tverrsvingningene vil kunne skje ved langt høyere redusert hastighet og vil kunne bli dimensjonerende også i første svingform. Ormen Lange er dette bare aktuelt ved TLP/semien.

For rørledningen vil en få VIV med frie spenn over ca 100 m med strømhastigheter på 0,4 m/s (Gudmund Kleiven, 25.9.2003).

Dynamisk strøm og indre bølger

På Ormen Lange ligger relativt varmt og salt Atlanterhavsvann over kaldt Norskehavsvann. I denne sonen kan det dannes indre bølger. Indre bølger dannes i grenseflaten mellom væsker med ulik tetthet hvor væskene beveger seg i motsatt retning av hverandre (Cooper, 1986). Bølgene vil få perioder i området flere minutter.

Gjevik (2000, side 36) skriver at indre bølger med perioder på 1-15 min og bølgelengder på 100-1000m kan oppstå i grenseflaten mellom Atlantisk vann og det kalde vannet fra Norskehavet. Gunnar Furnes (25.9.2003) mente at bølger ved 1min ikke vil ha energi av betydning. Tetthetsforskjellene på Ormen Lange er så moderate at eventuelle bølgedannelser vil bli liten. En kunne ha bølgehøyder på 200m (Gunnar Furnes, 25.9.2003). Det ga strandeffekter i skråningen. Jarle Berntsen skriver i en e-post til meg 13.11.2003 at "*det er en god del målinger som antyder at skilleflaten mellom Atlantisk vann og Norskehavsvann som ved Ormen Lange feltet ligger på ca 5-600 m dyp kan "svinge" opp/ned ca 200m inn mot sokkelskråningen. Max avstand i vertikalen fra bunn til topp omlag 400m. Dette har vi også i senere år fått fram i en rekke simuleringer. Vi mener også at sterke strømhendelser i disse dyp er knyttet til bevegelser av denne skilleflaten og passasjer av den forbi eller nær målepunkter.*" Han mener altså at vi kan ha bølgehøyder på 400m! Jon Grue skrev i en e-post til meg 13.11.2003 at "*.. Vi vet imidlertid at langperiodiske indre bølger setter opp sterke Strømmer på OL, opptil ca. 0.5 m/s. Slike strømmer er reproduisert i presise lab forsøk, som skalerer til stor skala (1:5000)*".

Måleprogrammet har ikke vært tilpasset for å kunne måle interne bølger (Lars Ingolf Eide, 25.9.2003). ADCP-en midler over et for stort område til at den kan måle indre bølger.

Eksempler på målte indre bølger

Referanser	A (m)	U (m/s)	L (m)	P (min)	N	C (m/s)
Osborne and Burch (1980)	60	1.8	<15 000	40	5	2.14
Apel et al (1985)	<90	<1.1	6 300	45	3-10	<2.6
Holloway (1987)	30	-	428	20	12	<0.92
Zheng et al (1994)	25	-	1800	18	12	1.7
Nagovitsyn et al (1991)	5-10	-	-	10-15	-	0.7
Pingree og Mardell (1985)	30	-	1000	-	-	0.7
Holligan et al (1985)	50-80	-	1000-1500	-	2-6	1.1
New og Pingree (1990)	60-70	>0.85	1000-2000	20-30	2-8	1.0
Allen (1983)	-	-	500-1000	-	4-10	-
Watson og Robinson (1990)	<60	1	500-1000	10-15	1-7	<2.5
Sapia og Salutsi (1987)	10-17	-	-	2-7	-	0.72
Halpern (1971)	<10	-	200	6-8	-	0.88
Haury et al (1983)	<30	-	300	8-10	-	0.6
Sandstrom og Elliot (1984)	60	-	-	-	2-4	1.0
Sandstrom et al (1989)	30	-	-	-	7-8	-
Brickman og Loder (1993)	20	-	2000	-	-	0.4
Zheng et al (1994)	5.6	0.13	600	23.8	5	0.42
Gaparovic et al (1988)	8	0.42	-	-	-	0.7
Gan og Ingram (1992)	2-3	-	-	2-6	3-6	-
Cummins og LeBlond (1984)	35	-	-	10-15	1-3	-
Gargett (1976)	-	<0.25	50-100	-	-	0.25
Howell og Brown (1985)	29	0.14	-	28	-	-
Fu and Holt (1984)	50	-	<2000	-	10-20	1.2
Apel og Gonzalez (1983)	56	-	200-1600	-	2-20	-

Figur 7: Observasjoner av interne "soliton waves". A = amplitude, U = strømhastighet, L = lengdeskala, P = periode, N = antall bølger i hvert bølgetog, C = fasehastigheten (fra Gerhard Ersdal 17.11.2003 - etter Roth, 2000).

Normalt antas det at strømhastigheten er konstant innenfor en 10 min periode. Rundt en forhøyning på havbunnen er det installert flere strømmålere som målte hvert sekund. Det er funnet komponenter i strømmen på 1-100 sekunders området, men energien i denne strømmen var liten (Gudmund Kleiven, 25.9.2003).

Erosjon

De tilfeller en til nå har av erosjon på norske innretninger har skjedd i områder hvor en har sandbunn (Idland, 1993). Havbunnen på Ormen Lange er silt og leire. Det kreves betydelig strømhastigheter for å få silt, leire, grus og stein i suspensjon. Finsand er lettest å erodere.

Det er funnet sandbølger (Petter Bryn, 25.9.2003) nær land ved traseen på 200-300m dybde. Alderen er ukjent. De kan være forårsaket av strøm (Gunnar Furnes, 25.9.2003), men det kan også være 8000 år gamle sandbølger forårsaket av bølger. Hvis en finner skjell eller skjellfragmenter i prøvene kan disse dateres med C14-datering. En stor prøve kan også inneholde nok foraminiferer eller andre karbonatfossiler til en C14-analyse. Vi har forespurt om dateringer av dem. Petter Bryn svarte (e-post) 1.10.2003 at de vil ta prøver av sanden i neste tokt. Brew (1996) skriver: "High resolution seismic profiles from the North Sea, 20 km off Northumberland, have shown the presence of a 25 km² subaqueous dune field buried beneath Holocene marine mud. The dunes are composed of fine to medium sand with occasional pebbles and have heights ranging from 0.5 m to 5.5 m and spacings from 100 m to 600 m. Most larger dunes (>2 m high) have their steeper slopes facing to the south and internal reflectors representing foreset sets that dip to the south, suggesting dominant southward sand transport. The dunes are inferred to have been produced by tidal currents between 0.5 and 1.00 m/s in a shallow water tidal inlet or estuary during the initial stages of the post-glacial transgression in the area, sometime between about 10 700 and 9 700 yrs BP. Burial of the dunes occurred when the dimensions of the tidal inlet were increased, tidal current velocities reduced beneath the threshold for dune formation and finer-grained sediment was deposited. The tops of the dunes were eroded and a deflation surface formed before burial". En kan nok se for seg at tilsvarende strømhastigheter utenfor Aure kan ha laget sanddynene der. 0,5 til 10 m/s er ikke dramatisk eller problematisk for rørledningen.

Det er i oktober 2003 (møte RC/TC 29.10.2003) tatt videobilder i skråningene. Det er funnet mye stein i bakkanten i 350-500m dybde. På bildene så det nesten ut som ei steinur eller som en elvebunn med sterk strøm – der mindre partikler er vasket ut. Dette kan enten være:

- a) stein fra steinrike morenelag i flere nivåer som har trillet nedover skråningen når skredet gikk og fordelt seg utover. Finmassene (grus til leire) har blitt sortert ut og blitt sedimentert lengre nede i skråningen under rasprosessen.
- b) mest sannsynlig er det imidlertid stein som ligger igjen etter kraftig erosjon av utrast morenemateriale (såkalt "lag"-avsetninger) – det vil si det er eller har vært svært høye strømhastigheter i skråningen. Dette har ført til at det ligger igjen et teppe med stein på havbunnen. Noen steiner kan imidlertid ha trillet nedover skråningen etter hvert som matriksen rundt dem ble vasket bort. Steinene er sannsynligvis ikke sortert ut direkte fra de primære morenelagene, men fra "debris flow"-avsetninger som er avsatt i skråningen når raset gikk.

Den siste forklaringen er nok mest ubehagelig. Det vil i så fall bety at det er eller har vært svært høye strømhastigheter i skråningen. Vår forståelse er at det ikke har skjedd større endringer av de oseanografiske forholdene i området siden Storeggaskredet. Slik at strømforholdene i denne hele denne tidsperioden er representativ for dagens situasjon. Vi ba 31.10.2003 Norsk Hydro kort redegjør for hvilke strømhastigheter som har vært nødvendig for å vaske ut materialene, og hvordan slike strømhastigheter samsvarer med de strømhastighetene Norsk Hydro har lagt til grunn for prosjekteringen av rørledningssystemene. Norsk Hydro viste til Hjulstrømsdiagrammet og hvilke strømhastigheter som var nødvendige for å få erosjon. Etter vårt skjønn kunne de hastighetene som skulle til for å få erosjon i grus og småstein være større enn de strømhastighetene som Hydro hadde spesifisert for rørledningen.

VANNDYP

Batymetri

Normalt for kartleggingsformål av vanndyp sikter en seg inn på en nøyaktighet på omlag pluss/minus 1% av vanndypet. Med riktig instrumentvalg og god kontroll av lydshastigheten i vann kan denne usikkerheten reduseres en del. For Ormen Lange vil en slik nøyaktighet gi en usikkerhet på 5 til 8m. Hydro at derfor brukt andre teknikker blant annet bruk av ROV for kartleggingen og har fått en langt bedre nøyaktighet.

Tidevann

Vannstanden består av flere komponenter som normalt er ute av fase, men som av og til kommer i fase med hverandre slik at bidragene kan summeres. Numeriske simuleringer (Gjevik mfl, 1990) viser at tidevannsamplitudene for noen tilfeldig utvalgte punkter blir (cm):

Komponent	M2	S2	N2	K1	SUM
64 N 2 Ø	49	16	11	8	84
64 N 6 Ø	61	20	13	8	102
66,5 N 7 Ø	60	20	13	7	100
66,5 N 3 Ø	50	16	11	7	84

Figur 8: Tidevannskonstantene M2, S2, N2 og K1 etter Gjevik mfl (1990)

Slike simuleringer blir generelt bedre dess lengre unna land en er; slik at verdiene for Ormen Lange skulle være gode. Ormen Lange er omtrent ved 63 grader 30 minutter nord og 5 grader 15 minutter øst, slik at linje to i figur 6 her gir et rimelig overslag over verdiene. Tidevannsamplitudene er altså moderate (ca 1m) i forhold til vanndypet.

Stormflo

Beregninger gjort av Bjerke mfl (1990) for Haltenbanken gir en vannstandsøkning på 45 cm fra lufttrykk og 40 cm fra vind og andre effekter; med en returperiode på 100 år. Bjerke mfl (1992) gir samlet stormsurge på 0,8 m for Vøringplataet. Disse verdiene kan nok brukes som et overslag også for vannstandsendringer på Ormen Lange.

MARIN BEGROING

En gjennomgang av observert begroing på norske jacket konstruksjoner i Nordsjøen (Dahle, 1995) viser gir følgende verdier for effektiv tykkelse på begroingen:

Vanndyp	Middelverdi		Standardavvik	
	56-59° N	59-61° N	56-59° N	59-61° N
Over + 2 m	0	0	0	0
+ 2 m til - 40 m	49mm	33mm	24mm	13mm
-40m til -116m	21mm	16mm	15mm	8mm

Figur 9: Marin begroing på jacketer (Dahle, 1995)

Tabellen viser at både middelværdier og standardavvik avtar når en beveger seg nordover i Nordsjøen. En vet likevel ikke i hvilken grad en kan ekstrapolere dette til Ormen Lange. Begroingen på 850m er trolig svært liten på grunn av lite lys. Erfaringer fra Snorre området (i henhold til Sveinung Finnset, Saga 1.8.1995) tilsier at det er nesten ingen begroing på 300m dyp. Grant mfl (1995) spesifiserer likevel en begroing på 40 mm i dyp fra 200m til 500m for Foinaven - vest av Shetland. Rørledningen inn mot land kan nok få begroing.

TEMPERATURER

Lufttemperaturer

En har på værskipet Polarfront observert temperaturer ned mot -10°C og opp til $+17^{\circ}\text{C}$ (Iden og Tønnesen, 1988). For arbeidsmiljø, operasjon, dimensjonering, materialvalg og materialtesting har disse temperaturene innvirkning. Med de materialkvalitetene en har tilgang til i dag er temperaturen ikke noe stort problem, om en tar hensyn tidlig nok. Ormen Lange er noe nærmere land.

Sjøtemperaturer

Ved målingene på stasjon H2 (65 27' N 05 47' Ø) er det målt sjøtemperaturer opp til 13°C (Volent, 1988). Så en kan nok forvente at største sjøtemperatur i overflaten kan komme opp i 15°C .

Atlantehavsstrømmen utgjør oftest de øverste 500 til 800m av vannsøylen. I denne vannmassen er temperaturen oftest i område $5-8^{\circ}\text{C}$. Under disse vannmassene er det kalde arktiske vannmasser som dominerer. Mathisen mfl (1986) rapporterer at det er målt temperaturer på ned mot minus 0,9 grader i 600-800 meters dyp på stasjon H12 (64° 24' N 05° 52' Ø). Det er også målt slike lave temperaturer på Ormen Lange. På 1960-tallet ble det målt (Gunnar Furnes, 25.9.2003) under null grader over eggakanten.

Materialer har ulike temperaturutvidelse. En må da være særlig oppmerksom der en blander materialer, at de er testet ved de aktuelle temperaturene.

Skillet mellom atlantehavsvann og arktisk vann gir endringer i lydshastighet. Det kan ha betydning for akustiske posisjonering med DP. Stein Weidel (25.9.2003) sa at det var gjort mange lydshastighetsmålinger på Ormen Lange, men de ga bare små variasjoner.

SIKT

For en del operasjoner; både nautiske og aeronautiske vil redusert sikt være en begrensende faktor. På Ormen Lange kan en stort sett vente god sikt, men dårligst i perioden juni-september. I juni kan det være sikt dårligere enn 1 km (tåke) i 5% av tida. Siktforholdene er likevel for hele året bedre enn for eksempel Ekofiskområdet og Tromsøflaket (Håland, 1978). Håland (1978) gir denne tabellen for hvor ofte sikten er mindre enn 1 km på Polarfront:

Periode	jan	feb	mars	april	mai	juni	juli	aug	sept	okt	nov	des	hele året
% av tid	1	1	1	2	2	5	4	4	3	2	0,5	0,5	2

Figur 10: Sikten i km ved Polarfront (Håland, 1978)

Sommeren 1995 var det langvarig skodde på Haltenbanken som stanset all helikoptertrafikk til Draugen. Mannskapsskifte foregikk da med båt til og fra land. Slike løsninger kan også bli aktuelle for Ormen Lange.

IS OG SNØ

Sjøis

I 1822 lå havisen like nord for Færøyene (etter Geir Kjernli) og i juni 1881 lå isen nesten inne ved kysten av Finnmark. I havområdene mellom hvor det sjelden har vært folk er kunnskapen om de historiske isforholdene dårligere. En har imidlertid satelittobservasjoner fra omkring 1970; så en har et rimelig godt grunnlag i nyere observasjoner. Det skulle ikke være nødvendig å ta hensyn til laster fra sjøis eller isfjell på Ormen Lange, jamfør NORSOK N-003.

Ising

Hyppigheten av værforhold som kan gi ising utenfor Midt-Norge er liten (Håland, 1978). NORSOK N-003 sin anbefaling har sitt opphav i et studium som Otter gruppa (1983) gjorde for Norsk Hydro til bruk på Oseberg. Disse verdiene er antatt å være generelt gyldig nord til ca 68 grader nord. Det som i praksis gir utslag er lasttilfelle 1 i NORSOK N-003. Lasttilfelle 2 gir mye mindre laster. En teoretisk utredning av de modellene som er brukt er gitt av Horje og Vefsmo (1985). Da modellene mellom annet:

- ikke tar hensyn til varmeegenskapene til innretningen
 - er bygd på erfaringer med små fiskefartøy som flytter på seg (Mertins)
- er trolig modellresultatene som reflektert i NORSOK på den sikre sida.

Det er få observasjoner av ising på innretninger i petroleumsvirksomheten. Det skal ha vært observert ca 300 tonn is på Treasure Seeker 20-21.04.1981 på Haltenbanken. Observasjonen er likevel beheftet med stor usikkerhet og kan være en tierpotens for høy.

For vurdering av fartøyer i bevegelse kan en bruke Mertins (1968) diagram over ising. Dette er basert på 400 observasjoner fra tyske trålere i nord-atlantisk farvann. De ble gjort under tråling med 2-5 knop og moderat størrelse på fartøyene.

Snølaster

En bør kunne bruke 0,5 kPa for Ormen Lange som for andre deler av sokkelen. 0,5 kPa er basert på målinger på Utsira. Knut Iden beregnet i 1984 at den største nedbørshøyden i løpet av ett døgn i form av snø var 21,9 mm. Tilsvarende for 2 døgn er 39,2mm. En Gumbelanalyse av årsekstremer ga verdier med en årlig sannsynlighet for overskridelse på 10^{-2} på 37mm og 52mm for 1 og 2 døgn. 50mm svarer da grovt til 0,5 kPa. Bruk av disse tallene forutsetter at snø blir måket vekk i løpet av en til to dager om det skulle opptre.

KLIMAENDRINGER

Diskusjonene om drivhuseffekter har gått høyt i flere år. En mener å kunne vise til en svak økning av temperaturen på jorda fra 1860 og fram til i dag. Enkelte mener at temperaturøkningen vil fortsette og forsterkes. Med økte vindhastigheter kan en også få større bølger og økte strømhastighetene i overflaten.

Flere forskningsmiljøer i Norge har gjennomgått data fra havområdene våre. De har lett etter trender for å se om det har skjedd reelle endringer - som skulle tilsi at en oftere fikk store bølger eller at de største bølgene ble større. For noen år siden ble det ut fra en lang britisk måleserie konkludert med at det var en klart økende trend i bølgehøydene. En tilsvarende trend kan en også vise til ut fra målinger på Tromsøflaket (Lie og Iden, 1990). Dette er likevel det eneste målestedet i våre farvann hvor en kan vise til noen klar trend, men lengden på måleserien er i denne sammenheng kort.

Ved prosjekteringen av Troll "A" la A/S Norske Shell inn en økt vannstand på 30 cm for å ta hensyn til mulige klimaendringer. På verdensbasis var det visstnok første gang det er gjort offshore. Troll "A" er dimensjonert for å stå i 70 år. Vi fulgte opp i 1992 med å anbefale de samme 30 cm i våre veiledninger, som en verdi for år 2050.

Når det gjelder stormklimaet har vi ikke våget å gi noen anbefalinger. Med det spinkle data- og modellgrunnlaget en har, vet en ikke om det blir verre. Vi vet heller ikke hva det betyr for strømhastighetene. Jeg spurte Gunnar Furnes (25.9.2003) hva han mente det hadde å bety for strømmen, men han hadde heller ikke noe godt svar. Den nord-Atlantiske strømmen kunne bli svekket og hastighetene lavere.

JORDSKJELV

Flere av de største jordskjelvene (over 5 på Richter skalaen) har vært utenfor Midt-Norge. Bunnfaste innretninger på Ormen Lange vil være utsatt for jordskjelvlaster. Virkningene på en bunnramme må en likevel anta er små. Det kan likevel bidra til skred, og må fastlegges.

REFERANSER

- Andersen O J og J Løvseth: The Frøya data base for gale force maritime wind, foredrag EUROODYN'93, Trondheim 1993, side 1091-1097.
- Bakken E, J Lahn-Johannessen og J Gjølseter: Bunnfisk på den norske kontinentalskråningen, Fiskets Gang nr 34 side 557-565, 1975
- Barstow S F: Assessment of wave measurements from the weather ship Polarfront, Oceanor rapport OCN R-90129, Trondheim 6.11.1990
- Barstow S F: Summary of work on shipborne wave recorder data from Mike (Polarfront), Oceanor technical report, Trondheim 28.10.1991
- Barstow S F: Comparison of ship born wave recorder MK II, Oceanor notat, Trondheim 20.8.1992
- Barstow S F, T-I Bern og Harald Krogstad: Wave crest analysis for the Draugen field, Oceanor rapport OCN R-92093, 7.10.1992.
- Bjerke P E, O J Andersen, S K Haver og P Strass: Environmental conditions Vøring plateau, feasibility study, Statoil, Stavanger, 14.7.1992
- Bjerke P L, M Mathiesen og K Torsethaugen: Haltenbanken area metocean study, main report, NHL report STF60 A90055, Trondheim, 1990
- Bjerken S, O Haug, J P Mathisen og P Schjølberg: Sammendrag av Oljedirektoratets målinger i Barentshavet og Norskehavet 1976-1992, Oceanor rapport OCN R-94026, Trondheim 6.5.1994
- Brew D S: Late Weichselian to early Holocene subaqueous dune formation and burial off the North Sea Northumberland coast, Marine Geology, Vol 134, 1996, p203-211.
- Bugge T, S Befring, R H Belderson, T Eidvin, E Jansen, N H Keynon, H Holtedahl og H P Sejrup: A giant three-stage submarine slide off Norway, Geo-Marine Letters, nr 7 side 191-198, New York, 1987
- Bugge T: Bunnforholdene i Vøringsområdet, nye sedimenttyper, grunn gass og undersjøiske ras, NIF kurs Dypvannsteknologi - Vøringplatået, Oslo, 21-22.11.1995.
- Børresen J A: Wind atlas for the North Sea and the Norwegian Sea, Universitetsforlaget, Oslo, 1987
- Christianidis S og K A Orvik: Current and hydrographic measurements, Haltenbanken, Trænabanken, march-april 1984, ODAP report no 47, IKU, Trondheim, 6.9.1984
- Cooper C: An overview of currents in deep water, OMAE, New Orleans, 1986.
- Dahle R M: Begroing på jacketkonstruksjoner i Nordsjøen, Oljedirektoratet, Stavanger, 1995

DNMI: Monthly mean sea ice charts, 1970-89, utgis månedlig fra DNMI, Oslo

Furevik T: Straumforholda på Vøringplatået, Norsk Hydro, Bergen, 27.6.1995.

Gjevik B, E Nøst og T Straume: Atlas of tides on the Shelves of the Norwegian and the Barents Seas, Universitetet i Oslo, 8.3.1990

Gjevik B: Summary and assessment of the NDP metocean project, UiO, 12.6.2000

Grant C K, R C Dyer og I M Legett: Development of new metocean design basis for the NW shelf of Europe, OTC 7685, Houston, 1995

Gudmestad O T: Jordskjelvrisiko i Norge, Naturen, Oslo, 1995

Hackett Bruce og Harald Engerdahl: Numerical modell study of slope and deep water currents. Phase III: regional archive evaluation and Ormen Lange hindcast, DNMI, research report no 93, Oslo, 12.5.2000.

Halleraker H: Operasjon med "Ross Rig", brønn 7321/9-1, License 141, Norsk Hydro, Sandnes 8.12.1988.

K Harstveit og L Andresen: Ekstremvindanalyse for kyststrekningen Rogaland- Finnmark, DNMI rapport nr. 07/94 Klima, Oslo, 1.3.1994.

Haver S: A discussion of the wave conditions in the Northern North Sea, Technical note, Shell, Troll prosjektet, 18.12.1992.

Horjen I og S Vefsnmo: Computer modelling of sea spray iceing on marine structures, IFIP/IFAC Symposium, Automation for safety in shipping and offshore petroleum operations - ASSOPO 85, Trondheim, juni 1985.

Houmb O G, L Lønseth, P Schjølberg og B Vollan: Environmental conditions under polar lows. Oceanor report OCN86022, Trondheim, 1986.

Hunstad G: Drilling in very deep waters: Weather Conditions at the Vøring Plateau, Norsk Hydro rapport R-052648, Bergen, 17.1.1994

Håland L: Bidrag til beskrivelse av klimaet på kontinentalsokkelen, DNMI, Oslo, 1978

Iden K A og H Tønnesen: Kart over lufttemperatur i området mellom Norge og Svalbard, DNMI, rapport 24/88 klima, Oslo, 1988.

Iden K A: bølgedata for Weather ship "MIKE" 1980-1993, på Miljødatasenteret i Oslo.

Idland M A: Erosjon rundt jacketer, Oljedirektoratet, rapport OD-93-24, Stavanger, 1993.

Jansen E, S Befring, T Bugge, T Eidvin, H Holtedal og H P Sejrup: Large submarine slides on the Norwegian continental margin: Sediments, transport and timing, Marine Geology, nr 78, side 7-107, Amsterdam, 1987.

Jenkins A D: Surface currents over the Norwegian continental shelf. Intercomparison of measurement techniques and analysis of wind effects. ANODA report no 22, SINTEF group, Trondheim, 1987.

Kleiven Gudmund og Lars Ingolf Eide: Ormen Lange current conditions, Preliminary Data, Temporary Phases, 20.12.2002.

KDOC (=Kværner+Doris): Troll Olje, Seakeeping and towing model tests interpretation, no storage concept, main report, rev 2F, Paris?, 13.11.1992

Lie H N og K A Iden: Mulig trend i midlere signifikant bølgehøyde (HS), DNMI rapport 21/90, Oslo, 1990.

Løken A E, O Mo, O Faltinsen, E Huse og A Nestegård: Non linear wave loading effects on offshore structures, Veritec report 92-3517, Oslo, 20.10.1992.

Lønseth Lasse, Grim Eidnes og Jan-Petter Mathiesen: Current measurements at Ormen Lange – Final report, Oceanor, rapport OCN R-21022, Trondheim, 19.12.2001.

Marex: Environmental Conditions in the Norwegian Block 7/12. Marex report no 422, februar 1980. NB! Marex gir Weibullplot. Verdiene over er mine ekstrapolasjoner på Marex plottene.

Martinsen E A: Hindcast of ocean currents, summary report, DNMI, Research report no 7, Oslo, 7.3.1995

Martinsen E A, H Engedahl, B Hackett, H Tønnesen, O Høvik og B Åndlandsvik: Hindcast simulations of the ocean response to storm events for the Halten Bank, Vøringplateau and Barents Sea, DNMI, Research report no 6, Oslo, 14.3.1995

Marthinsen T og S R Winterstein: On the skewness of random waves, Proceedings of the second (1992) international offshore and polar engineering conference, San Francisco, USA, 14-19. juni 1992.

Mathisen J P, P L Bjerke, RB Olsen og L Lønseth: Current measurements Halten - Shelf Edge October- December 1985, ODAP report no 76, Oceanor, Trondheim, 15.5.1986

Melle W, T Knutsen, B Ellertsen, S Kaartvedt og T Noji: Økosystemet i østlige Norskehavet; sokkel og dyphav, Havforskningsinstituttet, Senter for marint miljø, Bergen, 1993.

Mertins H.O.: Icing on fishing vessels due to spray, Marine Observer No.221, 1968.

Mobil Oil Canada og Mobil Exploration Norway: A synopsis of Canadian cold water environmental research, Stavanger, 1988.

Natvig B J: A technical note on TLP ringing, Norwegian Contractors, Oslo, 24.9.1992.

Natvig B J: TLP global motion analysis procedure, revisjon 0, Heidrun field development project, Norwegian Contractors, Oslo, 20.1.1993
NORSOK N-003

Norsk Hydro: Ormen Lange seabed metocean report, Norsk Hydro dokument 37-00-NH-X15-00073, 18.7.2003.

Norsk Hydro: Environmental conditions Ormen Lange Slide Area, Norsk Hydro dokument 37-00-NH-F50-00001, 15.1.2003.

Norsk Hydro: Environmental conditions Offshore Shallow Water, Norsk Hydro document 37-00-NH-F50-00005, 21.2.2003.

Olsen O A: Wind statistics for the North Sea and the Norwegian Ocean. DnV report 74-53-s. Dateret 22.10.1974. Verdiene i tabellen over er omregnet til 10m høyde.

Olufsen A og N T Nordsve: Deep water drilling risers in calm and harsh environment, foredrag Fourth international offshore and polar engineering conference, Osaka, Japan, 10-15.4.1994.

Orvik K A, A D Jenkins og J P Mathisen: Analysis of current and hydrographic data. Intensive survey Haltenbanken/Trænabanken 1985, Oseanografisk Senter, rapport ODAP NO. 61, Trondheim, 10.9.1985.

Otter gruppen: Oseberg Conceptual Study, Estimation of Loads due to platform icing, Trondheim, 1983

Overvik T, G Moe og E Hjort-Hansen: Flow-induced motions of multiple risers, Journal Energy resources technology, vol 105, no 1, side 83-89, mars 1983

Schjøelberg P: Miljøforhold i Barentshavet, Vøringplatået - periode: 1991, Oceanor rapport OCN R-92105, Trondheim 20.11.1992.

Skagseth Øystein og Kjell Arild Orvik: Empirical orthogonal functional analysis of the current structure at the Ormen Lange continental slope with reference to the Svinøy section, UiB, april 1999.

Spidsøe N and D Karunakaran: Effects of super harmonic excitation to the dynamic response of offshore platforms, E&P forum workshop on wave and current kinematics and loading, Paris, 1989.

Steinbakke P og Z Volent: Environmental data collection along the Norwegian Coast, surface current measurements and hydrographic investigations on Trænabanken, ODAP report no 58, Trondheim, 19.4.1985.

Sætre H J: Meteorological and oceanographic conditions at Vøringplatået, Shell, Stavanger, foredrag 31.1.1995.

Torsethaugen K: Analysis of wave data from the weathership "Polarfront" 1982-84. Summary report 1984, Oceanografisk Senter rapport STF 59 A85004, Trondheim 15.1.1984.

Vartdal L, H E Krogstad og S Barstow: Measurement of wave properties in extreme seas during the WADIC experiment, Proceedings OTC, OTC 5964, Houston, 1989

Yttervik Rune, Gunnar Furnes og Martin Mathiesen: Analysis of flow measurements in the bottom boundary layer in an area with a rough bottom topography, NTNU, Norsk Hydro og Sintef, 27.3.2003.