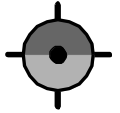


PUD vurdering - Ormen
Lange skredfare



Rapport

RAPPORTTITTEL		GRADERING	
PUD vurdering - Ormen Lange skredfare		Offentlig	<input checked="" type="checkbox"/>
		Unntatt off.	<input type="checkbox"/>
		Begrenset	<input type="checkbox"/>
		Fortrolig	<input type="checkbox"/>
		Strengt fortrolig	<input type="checkbox"/>
		RAPPORTRUMMER	
FORFATTER/SAKSBEHANDLER			
Tor Eidvin, Arne Kvitrud og Fridjof Riis			
ORGANISASJONSENHET		GODKJENT AV/DATO	
P-Ormen Lange			
SAMMENDRAG			
<p>For 8200 år siden gikk det et enormt skred ("Storegga-skredet") utenfor Midt-Norge. Ormen Lange-feltet ligger midt i den gropen som ble dannet av skredet. Skredet førte til omfattende oversvømmelser i Norge, Skottland og på Vesterhavsøyene. Hvis et tilsvarende skred går i dag vil det medføre omfattende skader på mennesker og materiell i alle disse områdene.</p> <p>Vi har i hovedsak å vurdere mulighetene for å få nye skred i forbindelse med Ormen Lange utbyggingen.</p> <p>Videre gir rapporten konklusjoner i forhold til vilkår som vi mener er nødvendige i forbindelse med utbyggingen.</p>			
NORSKE EMNEORD			
Skred, Storeggaskredet, kvalitetssikring, morfologi, stabilitet, jordskjelv, rørledninger, turbiditter, gasshydrater, risikoanalyser, pålitelighetsanalyser			
PROSJEKTNUMMER	ANTALL SIDER	OPPLAG	
20W1	22		
PROSJEKTTITTEL			

INNHOLD

1. Innledning og bakgrunn.....	4
2. Prosjektgjennomføring og vår oppfølging av prosjektet	5
2.1. Kvalitetssikring av prosjektet.....	5
2.2. Personellkvalifikasjoner hos utførende parter	5
2.3. Norsk Hydros verifikasjon av skredrisikoen	5
3. Geografisk utbredelse og morfologi av raset.....	7
4. Forklaringsmodell – utløsning og videre utvikling av raset	9
4.1. Utløsningsmekanismer	9
4.2. Jordskjelv	9
4.3. Gasslekkasje og gasshydrat.....	10
4.4. Ooze	10
5. SKRÅNINGSSSTABILITET I dag	12
5.1. Stabilitet av brattkanten.....	12
5.2. Undersøkelser langs rørledningstraseene.....	12
5.3. Jordskjelv	13
6. Påvirkning av stabilitet ved utbygging og produksjon	15
6.1. Legging av rørledninger	15
6.2. Underjordisk utblåsning og lekkasjer fra produksjonen	15
6.3. Alternativ prøving av formasjonslagene	15
6.4. Overvåking av reservoar og overburden	16
6.5. Turbiditter	16
6.6 Gass og gasshydrat.....	16
6.7. Produksjonsinduserte jordskjelv	16
6.8. Reservoarinnsynking.....	17
7. Konsekvenser av ras: Utrasning og bølger.....	18
7.1. Vannstandsendinger som følge av skred.....	18
7.2. Virkning av skred på undervannsinnretninger og -utstyr.....	18
8. Akseptkriterier og risikovurdering	19
8.1. Akseptkriterier	19
8.2. Risikoanalyse	19
8.3. Pålitelighetsanalysen	20
8.4. Sporbarhet og dokumentasjon av de ”usannsynlige” årsakene	21
8.5. Dimensjonerende skredlaster	22
9. Konklusjon og anbefalinger, forslag til vilkår.....	23
10. Referanser.....	25

1. INNLEDNING OG BAKGRUNN

For 8200 år siden gikk det et enormt skred ("Storegga-skredet") utenfor Midt-Norge. Ormen Lange-feltet ligger midt i den gropen som ble dannet av skredet. Skredet førte til omfattende oversvømmelser i Norge, Skottland og på Vesterhavøyene. Hvis et tilsvarende skred går i dag vil det medføre omfattende skader på mennesker og materiell i alle disse områdene. Et skred vil sannsynligvis ikke gi større skade på offshore innretninger (muligens med unntak av Heidrun innretningen og på forankringssystemer), men kan gjøre betydelig skade på land. Et slikt skred, forårsaket helt eller delvis av petroleumsvirksomheten, ville kunne medføre betydelige økonomiske krav for lisensen og den norske stat.

Norsk Hydro har gjort en omfattende utredning om faren for skred i Ormen Lange området. En har både undersøkt muligheten for naturlige skred, og om petroleumsvirksomheten kan medføre økt skredfare. Undersøkelsen har involvert store deler av det norske og det internasjonale fagmiljøet, og Storegga-skredet er i dag det undersjøiske skredet i verden som er best undersøkt og forstått.

2. PROSJEKTGJENNOMFØRING OG VÅR OPPFØLGING AV PROSJEKTET

Vi har fulgt opp Norsk Hydros undersøkelser gjennom uavhengig faglig arbeid, deltakelse på møter og seminarer og ved to tilsyn spesielt rettet mot skredfare. I vurderingen av risiko for skred har det vært viktig for oss å kunne fastslå om det er mulig å finne fram til mekanismer for utløsning av Storeggaraset som kan forklare raset for ca 8000 år siden og se på risikoen for om de samme mekanismene eksisterer og om de kan utløse katastrofale skred i dag. Det har også vært viktig å vurdere konklusjonen om at hele Storeggaraset gikk som en hendelse over et begrenset tidsrom. Vårt faglige arbeid har derfor i hovedsak vært rettet mot biostratigrafi og seismisk tolkning for å dekke hele rashendelsen. Tilsynene ble gjennomført i 2001 og 2002, og har dekket hele prosjektgjennomføringen til Norsk Hydro.

2.1. Kvalitetssikring av prosjektet

Norsk Hydro har laget en prosjektbasert kvalitetssikringsplan for prosjektet som beskriver hvordan en sikrer kvaliteten i prosjektet. Det er brukt vanlige rutiner for bruk i offshore industrien, og i stor grad er det brukt selskaper som er vant med å arbeide etter slike rutiner.

VI har også gjort tilsyn med Norsk Hydros egen oppfølging av kvalitetssikringssystemene, uten at vesentlig mangler ble avdekket.

Det selskapet som har hatt hovedansvaret for utførelsen av analysene og for deler av laboratorieprogrammene har vært NGI. NGI har siden tidlig på 1980-tallet arbeidet etter nøye beskrevne prosedyrer.

Det er likevel i dette prosjektet også brukt organisasjoner – i hovedsak universiteter – som ikke er vant med å arbeide etter slike strenge rutiner. Det er likevel laget kontrakter med dem, der det var stilt krav om at de skulle ha et generelt kvalitetssikringssystem som tilfredstilte ISO-9001 og for programvare ISO 9000-3. Norsk Hydro har hatt ekstra oppfølging av dem for å påse at kvalitetssikringskravene ble etterlevd.

2.2. Personellkvalifikasjoner hos utførende parter

NGI har hatt hovedansvaret for utførelsen av analysene og for deler av laboratorieprogrammene. De har gjort mye selv, men en god del er satt ut til andre norske og utenlandske selskaper, universiteter og forskningsinstitusjoner. Etter vårt skjønn er kompetansen på de som har ledet arbeidet meget bra. Svært mange av disse har doktorgrad og professorkompetanse. I tillegg er det mange andre som gjør arbeid for prosjektet, som prosjektmedarbeider, vitenskaplig ansatte og studenter. Vi har ikke vurdert deres kompetanse.

2.3. Norsk Hydros verifikasjon av skredrisikoen

Rammeforskriften § 15 setter krav til verifikasjon. I NOROK N-001 punkt 5.2.2 er omfanget av en slik verifikasjon utdypet – med krav om organisatorisk uavhengig verifikasjon.

Norsk Hydro har valgt å sette verifikasjonen ut til Sintef i Trondheim. De har igjen trukket på ekspertise utenfor Sintef i den grad det har vært ønskelig eller spesialkompetanse manglet hos Sintef. Det er etter vårt skjønn brukt av den beste ekspertisen i verden til dette formålet. BGS ble brukt både som utførende og verifiserende, men det ble påsett at BGS ikke verifiserte rapporter som BGS hadde laget.

I NORSOK N-001 punkt 5.2.2 bokstavpunkt e) er det vist til at en bør verifisere anvendbarheten av programvare, og at programmene er testet og dokumentert. Videre er det angitt at dette er særlig viktig når programmene brukes i nye problemstillinger og ved ny programvare. Det er ikke gjort alternativ utvikling av den nye programvaren i Ormen Lange-prosjektet, men resultatene fra analysene er rimelighetsvurdert av Sintef.

Prosjektansvarlig hos Sintef mener at de har fått den tid de trengte, og lov til å bruke det personell de ønsket uavhengig hvor i verden det var. Sintef stiller seg bak de konklusjonene som Norsk Hydro og NGI har kommet fram til både med hensyn til Storeggaskredet og vurderingene av stabiliteten ved Ormen Lange i dag.

3. GEOGRAFISK UTBREDELSE OG MORFOLOGI AV RASET.

Utbredelsen av Storeggaraset er vist i figur 1. I den øvre delen av rasområdet fra sokkelkanten ned til ca 2800 m havdyp er det en netto fjerning og transport av masse. Lengre ut og på dypere vann er det netto avsetning. Ulike anslag på volumet av raset er ligger mellom 3500 og 5500 km³.

Morfologien av raset er blitt bedre og bedre kjent gjennom prosjektperioden, og i løpet av 2002 er havbunnen i rasområdet dekket med nøyaktige kart ned til ca 2800 m dyp. Tolkningen av morfologien er viktig for å forstå utviklingen av raset. I sluttrapporten konkluderer Norsk Hydro med at hovedraset ble utløst langt nede i skråningen og at bakkanten beveget seg oppover. Vi har sett på aldersrelasjonene mellom forskjellige elementer i raset, og er i hovedsak enige i denne vurderingen, bl.a. ut fra at flere av brattkantene nede i rasgropa er overskredet av ras som kommer ovenfra. Det ligger en usikkerhet i aldersforholdet mellom den nordlige og den midtre delen av raset.

Storeggaraset kan morfologisk deles inn i tre hoveddeler og en lang rekke mindre utrasninger (figur 1). Den nordlige delen har gått som et flakskred på et grunt glideplan, og har tatt vekk opp til 50-100 m masse over et stort område. Den midtre delen skjærer mye dypere ned i grunnen, og er skåret ned i det nordlige raset. Opptil 3-400 m masse er fjernet over deler av området der Ormen Lange ligger. Den sørlige delen synes å ha rast ut som en følge av at massene ble ustabile ved utglidningen av den sentrale delen, og både dype og grunne glideplan er involvert.

Den morfologiske analysen viser at den midtre delen av raset var tilbakeskridende. I Ormen Lange området er det mange eksempler på at de dypere raskantene ble dekket av seinere skred som kom ovenfra. Materiale fra det nordlige raset krysset også raskanter dypere ned i rasgropa, men seismisk tolkning tyder på at dette er raskanter som stod igjen fra eldre skred, før siste istid. Vi kan slutte seg til konklusjonen til Hydro, men påpeker at morfologien ikke utelukker at Storeggaraset kan ha blitt utløst i nord, høyt oppe i skråningen.

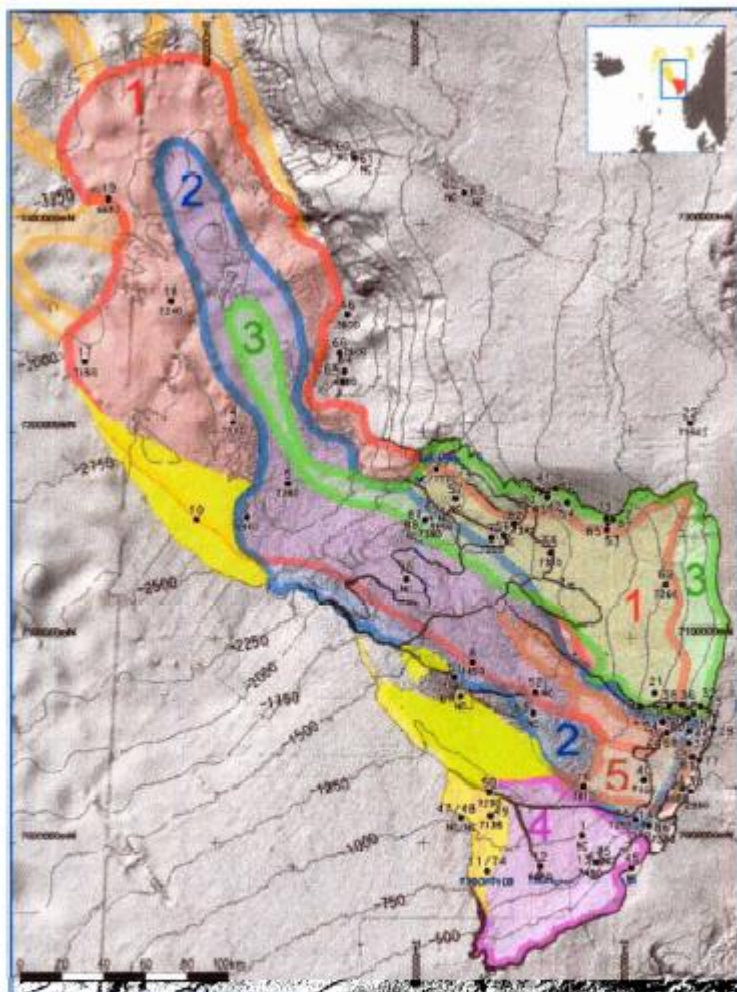


Figure 6.1 The mapped extents of the first five identifiable lobes formed during the Storegga Slide. Dated locations are indicated by black dots. The numbers over the dots give the site ID and the number below show the estimated age of the slide at that location. Note that these ages are given as 14C years, whereas the age of the slide, 8100 years BP, is calendar years.

Morphology and the development of the Storegga Slide

Morphological analyses of high-resolution bathymetry, TOBI and seismic data show that the Storegga Slide was complex, with numerous superimposed events contributing to the present seafloor configuration. Careful mapping of the morphological features has allowed a reconstruction of a likely sequence of events (Fig. 6.1). These show that the main slide was probably triggered on the mid to lower slope, either directly or as a result of impact from a shallow slide higher up on the slope. In either case the initial trigger was probably an earthquake combined with the

Figur 1: Morfologi og utvikling av Storeggaskredet - det nordlige delen av raset er nummer 1, det midtre 2 og det sørlige 4 (fra Norsk Hydros sluttrapport)

4. FORKLARINGSMODELL – UTLØSNING OG VIDERE UTVIKLING AV RASET

Norsk Hydro har i en egen rapport beskrevet den regionale geologiske utviklingen som ligger til grunn for Storeggaraset. Den seismiske tolkningen viser at det har gått flere store ras i området i de siste 1,0 millioner år. Modellen går ut på at under store nedisinger er det blitt lastet store sedimentmengder på sokkelkanten. I mellomistidene blir det avsatt tynne konturitt-lag som fungerer som glideplan. Vekslingen mellom istider og mellom-istider legger tilrette for at det i enkelte områder, slik som Storegga, kan gå store ras. Men etter at et stort ras er gått, er det nødvendig å bygge ut en ny sedimentlast i en ny istid før skråningen igjen blir ustabil. Storeggaraset gikk i de ustabile massene nede på skråningen og beveget seg oppover og bakover mot sokkelkanten helt til det grep inn i masser som var så stabile at det ikke kunne rase mer.

Forklaringsmodellen har fått bred aksept i miljøene som har arbeidet med raset. Vi er enig i modellen.

4.1. Utløsningsmekanismer

Selv om det store bildet er kjent ligger det en usikkerhet i hvordan raset er utløst. Sporene av utløsningsmekanismen vil som regel være skjult på grunn av den seinere utviklingen av raset, og derfor er en henvist til å gjette på forskjellige muligheter og modellere om de er fysisk mulige og sannsynlige.

Det er velkjent at kraftige jordskjelv kan utløse ras, og jordskjelv regnes av Norsk Hydro som den mest sannsynlige triggermekanismen. De geotekniske beregningene viser at det neppe vil bli utløst ras hvis ikke stabiliteten er svekket som følge av oppbygging av poretrykk. Poretrykk kan bygges opp på forskjellige måter: sedimentlast fra istidene, oppbygging av overtrykk i sedimentene som følge av gasslekkasjer og dannelse av gasshydrat, lekkasje av vann fra overtrykk i ooze-sedimentene under istidsavsetningene eller fra petroleumsvirksomheten.

4.2. Jordskjelv

Vi har gode jordskjelvsregistreringer fra norske områder fra noe over 100 år tilbake. Det mest aktive jordskjelvsområdet på norsk sokkel ligger sør for Ormen Lange, rundt ca 62grader. De største registrerte skjelvne er oppe i magnituder på 5,5. I selve Storegga-raset er det langt mindre aktivitet i dag. Like etter istida var bildet trolig annerledes, på grunn av stresset som ble utløst da isen smeltet av. NORSAR har modellert at den største jordskjelvsaktiviteten har vært 2-4000 år etter isavsmeltingen. NGU har påvist en forkastning på land (Berill-forkastningen) som viser at det var et kraftig jordskjelv i denne perioden.

Vi er enige i at det kan ha vært betydelige jordskjelv i Storegga-området for 8000 år siden. Det kan bemerkes at ut fra dagens observasjoner og betraktninger om islast og sedimentlast kan det synes mer sannsynlig med kraftige jordskjelv i de øvre delene av raset enn lengre ned.

4.3. Gasslekkasje og gashydrat

Naturlig forekommende gashydrat er en forbindelse av vesentlig metan og vann som danner isliknende krystaller i porerommene i sedimentene ved tilstrekkelig høyt trykk og lav temperatur. Gashydrater er observert på seismiske linjer i nordlige del av rasområdet, og de ble dannet ved havbunnen da det lakk mindre mengder gass ut fra boringen 6305/1-1. Der det er dannet større mengder gashydrat i sedimentene, kan sedimentlage bli helt tilfrosset og fungere som barriere for gass som lekker opp fra større dyp. I teorien vil gassen dermed bli ledet opp under gashydratlaget og opp til et dyp der gashydrat ikke er stabilt. Dette dypet ligger normalt rundt 600 m. I perioder med store endringer av havnivå eller vanntemperatur kan stabiliteten av gashydrat endre seg, og dermed også gasstrykket i sedimentene. Denne problemstillingen er nøye utredet av Norsk Hydro, som konkluderer at den kan ha hatt betydning for utløsning av raset, men at disse endringene går for langsomt til å trigge nye ras i Ormen Lange området.

Det kan synes som om mange ras på kontinentalmarginene er utløst i dyp - som er aktuelle for gasslekkasjer. Rasene i Trænadjupet er et nærliggende eksempel. I Storeggaraset er det velkjent at det lekker betydelige mengder gass fra nordlige del av Ormen Lange og videre mot nord. Vi mener at økt poretrykk som følge av gasslekkasje kan ha bidratt både til utløsningen og den videre utviklingen av Storeggaraset. Vi er enige i at endringer i naturlig forekomst av gashydrat er for langsomme til å påvirke stabiliteten i produksjonstida i Ormen Lange. ***Betydningen av gasslekkasje er mer uviss, og en bør søke å overvåke poretrykket i de grunne lagene over reservoaret.***

4.4. Ooze

Under de glasiiale sedimentene, i Norskehavet, ligger det flere hundre meter med avsetninger som betegnes som "ooze". Dette er sedimenter som består av skall fra forskjellige typer mikrofossiler (mer enn 30%) og leire. Fossiler med skall av silikat (amorf kvarts) dominerer, men i deler av lagpakken er det også store innslag av kalkskallfossiler. Slike sedimenter ble avsatt i perioden fra ca 35 til ca 3 millioner år siden. En framtrædende egenskap ved sedimentet er en høy porøsitet. Strukturene holdes sammen av en kompleks kornform og muligens sementerte kontaktpunkter.

Kaldnes (1999, side 11) skriver at det ble funnet oozen på Gjallarryggen i 99m dyp. Vanninnholdet var over 100%. Udrenert styrke var omtrent som leira. Når den ble omrørt mistet den omtrent all sin styrke. Uomrørt styrke var 25kPa. Omrørt styrke så lav som 10 kPa ble funnet på 250m dyp. Dette tilsvarer grovt forskjellen mellom en sikkerhetsfaktor på 2,5 og 1,0 om materialet er langs hele glideflaten. Oozene her er en del av Kai-formasjonen (Kalnes mfl, 1999, side 20).

Kaldnes (1999, side 10) skriver at på Helland Hansen ble det funnet oozen på 250m dyp. Denne var svært forskjellig fra Gjallarryggen. Vanninnholdet var mye mindre. Og en fikk ikke vesentlige endringer om prøven ble omrørt. Det er ikke oppgitt hvilke organismer det er i de forskjellige oozene.

På grunn av sin sammensetning har ooze-avsetningene svært høyt vann-innhold. Tettheten kan gå ned mot 1,5 og lavere, selv ved dyp begravning. Ooze-sedimentene er lavpermeable, og letehullene på Havsule, Ellida og 6305/1-1 har vist betydelig overtrykk (mudvekt 1,4 er

typisk). Studier utført blant annet av oss tyder på at på grunn av disse egenskapene reagerer oozen på helt spesielle måter når de overliggende sedimentene utsettes for ras. I de tilfellene der raset skjærer ned i ooze-avsetningene kan disse bli tilstrekkelig omrørt til at det løsner store blokker. Disse vil deretter flyte oppover i raset, og det dannes kraterer som rasmaterialet legger seg ned i. Disse kraterne kan bli mer en 10 km i diameter og flere hundre meter dype.

Nederst i Storeggaraset ligger det to bassenger ("Solsikke" og "Gloria Valley") som trolig opprinnelig ble utviklet som slike kraterer. Seismisk tolkning viser at disse to bassengene ble dannet ved påvirkning av ras mye tidligere enn Storeggaraset. Reaktivering av disse bassengene i Storeggaraset kan ha bidratt til å øke energien i de nedre delene av raset slik at det skar seg dypere ned enn det ellers ville gjort.

I Ormen Lange området ligger ooze-avsetningene så dypt at en kan utelukke at de vil bli reaktivert i framtidige ras. De dypere bassengene kan imidlertid tenkes å bli reaktivert igjen, dersom det går nye ras av Storegгатypen.

5. SKRÅNINGSSSTABILITET I DAG

5.1. Stabilitet av brattkanten

NGI har utført vurderinger av stabiliteten langs flere profiler som krysser brattkanten i Storeggaraset. Profilene er lagt der skråningene er steilest. Generelt er leirene i Storeggaområdet svært plastiske og har lav sensitivitet – de har da svært gode deformasjonsegenskaper. De tåler mye før de raser ut. Høyoppløselig seismikk har ikke påvist bløte sedimenter avsatt etter raset i den bratte delen av bakkanten. Dette henger trolig sammen med den kraftige strømmen som eroderer og fjerner fine partikler eller at strømhastigheten kan være for store til at sedimentasjon kan finne sted..

Bryn og Berg (2003) skriver at NGI har gjort beregninger av skråningsstabiliteten i bakkanten på bakgrunn av geotekniske boringer, og kommet fram til at skråningen har en sikkerhetsfaktor på 1,5 – 1,7 (Bryn og Berg, 2003, side 21) for skred på dype glideplan (tilsvarende Storeggaskredet). Naturlige utløsning av store skred fra bakkanten ovenfor Ormen Lange anses ikke som noen risiko. Utrasninger i overflaten har lavere sikkerhetsfaktor i de bratteste skråningene (1,1 – 1,25), og er derfor vurdert i forbindelse med rørledningstraseer. *Slike overflate-utrasninger vil ikke være noen trussel mot produksjonsinnretninger eller kompresjonsplattformen direkte, men kan berøre et eventuelt forankringssystem.* Det er lavere enn det som normalt vil være akseptabelt for rasutsatte bolig- og industriområder på land. En må her holde seg unna disse områdene, gjøre lokale tiltak – som å fjerne masse eller dimensjonere rørledningene og kablene for lokale utrasninger.

Ankring medfører at store anker slippes fra et fartøy og ned i havbunnen, hvor den fester seg og vil bidra til å holde fartøy på plass. Ankerslippert kan i verste fall føre til lokal utrasning av masser. Bryn og Berg (2003, side 19) skriver at Norsk Hydro vil begrense ankringen i den øvre brattveggen.

Ved steinfylling slippes stein ned gjennom et rør fra et steindumpingsfartøy til havbunnen. Det er stein med diameter typisk på 7 cm. Steinene brukes til å fylle igjen ujevnheter i sjøbunnen og til å dekke over rørledninger. Selve steindumpingene gir en fall-last på sjøbunnen som kan gi lokal utrasning av masser. Videre kan steinhaugene i seg selv bli så store at de kan påvirke stabiliteten. Bryn og Berg (2003, side 19) skriver at virkningen av steindumpingene vil være liten på stabiliteten, men at Norsk Hydro vil gjøre lokale detaljerte analyser senere.

Grøfting utføres når en ønsker å grave ned rørledninger eller fjerne masser for å få en jevnere rørledningstrase. Om grøftene legges parallelt med bakkanten kan de svekke stabiliteten. Igjen skriver Bryn og Berg (2003, side 19) skriver at virkningen av grøfting vil være liten på stabiliteten, men at Norsk Hydro vil gjøre lokale detaljerte analyser senere.

5.2. Undersøkelser langs rørledningstraseene.

Det er utført en rekke geotekniske boringer langs rørlednings- og MEG-traseer i 2003. Sensitiviteten av massene i skråningen er på 1,5 til 5 (møtet 29.10.2003).

Nye videobilder viste mye stein i bakkanten i 350-500m dybde (møtet 29.10.2003). På bildene så det nesten ut som ei steinur eller som en elvebunn med sterk strøm – der mindre partikler har gått i suspensjon.

En mulig tolkning er at det er stein som ligger igjen etter kraftig erosjon av utrast og omarbeidet morenemateriale (såkalt ”lag”-avsetninger). 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 hele denne tidsperioden er representativ for dagens situasjon. Dersom de blir satt i bevegelse kan nok kampesteiner også ha muligheter for å trille ned og skade rør og rørkapper? Se videre om Petroleumstilsynets vurdering i Kvitrud (2004).

Ved undersøkelsene i 2003 ble det funnet bløte lag ved foten av de siste skråningene før plataået. Geotekniske boringer viser at de noen steder har over 8m tykkelse. De er normalkonsolidert. De er ikke datert. Det er antatt å være senglasialt / holocent materiale fra før Storeggaskredet, som har sklidd ned skråningen i eller i forbindelse med skredet, - og lagt seg nederst som vifter. Hellingen på skråningen der viftene ligger er opp til ca 15 grader.

Vi slutter oss til de vurderinger som Norsk Hydro her har gjort, med de forpliktelser til lokale analyser som ligger i deres rapport. Dersom sikkerhetsfaktorene er under 1,3 må Hydro gjøre tiltak for å redusere prosjektrisikoen for forankringen på kompresjonsplattformen. Slike tiltak kan for eksempel være å fjerne rasutsatt masser eller dimensjonere rørledningene og kablene for lokale utrasninger. Det enkleste tiltaket vil være påpasselige med å legge ankerne unna de mest rasutsatte områdene.

5.3. Jordskjelv

Jordskjelv er en av de viktigste utløsningsmekanismene for skred. For å vurdere risikoen for at det skal bli utløst et skred i Ormen Lange – området er det nødvendig å vurdere sannsynligheten for kraftige jordskjelv. En må også se på risikoen for at produksjonsinduserte skjelv og en kombinasjon av naturlige og produksjonsinduserte, jamfør avsnitt 6.

Etter NORSOK N-003 kan en i skredområdet forvente akselerasjoner opp til 3 m/s^2 med årlig sannsynlighet på 10^{-4} . Dette er verdier ved fjellgrunn. Dette er også den verdien som Kvalstad mfl (2003, side 15) angir som aktuelt for Ormen Lange,

Det er også gjort analyser med jordskjelv med størrelser mellom $M=5,2-6,9$. Det er ikke beskrevet hvor episenteret for disse er plassert (Kaldnes mfl, 1999, side 16). Disse ga skjærtøyninger som er vesentlig lavere enn det som trengs for å få en vesentlig reduksjon i skjærstyrken. Kaldnes mfl (1999, side 16-17) konkluderer med at et jordskjelv ikke kan føre til global instabilitet i skråningen. Dersom det er et svakt lag kan jordskjelvet være utløsende. Kvalstad mfl (2003, side 16) skriver at dersom en har pga på over $6,5 \text{ m/s}^2$ så kan en få betydelige deformasjoner dersom en samtidige har svake lag eller høyt poretrykk.

I stabilitetsanalysene har NGI gjort beregninger kun med en horisontal komponent av jordskjelvene. NORSOK N-003 punkt 6.5.1 sier at *”Unless more accurate calculations are performed, the orthogonal horizontal component may be set equal to 2/3 of the major component and the vertical component equal to 2/3 of the major component, referred to bedrock. The earthquake may be scaled with the given factors”*. Analysene bør gjøres i samsvar med NORSOK N-003. Norsk Hydro svarer slik vi leser det at for svært lange, nær

horisontale skråninger vil ikke vertikalkomponenten av jordskjelvet ha noen betydning. Vår merknad her var ut fra dagens situasjon, der en kan se for seg skred med brattere glideflater. Vertikalkomponenten av jordskjelvet vil i mer bratte glideplan gi en komponent langs glideplanet.

Norsk Hydro skriver at "*årsaken til at den vertikale komponenten av jordskjelv ikke er tatt med i den seismiske analysen av skråningsstabilitet er gitt i kapittel 2.1 i NGI rapport 993016-14, Rev. 1, 30. Oktober 2002. I en dynamisk stabilitetsberegning av en undersjøisk leirskråning der jordresponser fra jordskjelvbeklastningen i hovedsak er udrenert, er jordskjelv-genererte spenninger normalt på potensielle glideplan uvesentlige. Manglende drenering i løpet av jordskjelvperioden gjør at endringer i normalspenningene er lik endringer i poretrykk og effektivspenning i den dynamiske stabilitetsanalysen er det bare krefter parallele med midlere skråningsvinkel som er viktige. Dette betyr at standard, endimensjonale responsmodeller kan brukes for å evaluere jordskjelvsrespons av en svært lang skråning dersom man tar med de permanente skjærspenningene som skyldes gravitasjonen.*" NGI har også forelagt det for verifikatørene, og de har kommet til samme konklusjon som dem. Det forutsetter altså at en har leire.

Kvalstad mfl (2003) skriver at et ekstremt jordskjelv er den eneste realistiske måten å få satt i gang nye skred i Ormen Lange-området. De mener likevel at slike skred ikke vil kunne utvikle seg til store retrogressive skred – som Storeggaskredet.

6. PÅVIRKNING AV STABILITET VED UTBYGGING OG PRODUKSJON

6.1. Legging av rørledninger

Det er ikke noe regelverk som setter krav til sikkerhet mot skred for offshoreindustrien. På land er det likevel vanlig å bruke en sikkerhetsfaktor på 1,3. NORSOK N-001 punkt 7.2.3 sier at en i geotekniske analyser normalt ikke skal være lavere enn 1,25. NORSOK gir i tillegg noe høyere faktorer (1,3) for peler og anker. Kommentarene til Canadian Standard S472-M1989 tabell 5.2.2A anbefaler en sikkerhetsfaktor på 1,5 for skråningsstabilitet. Finner ikke noe krav til skredsikkerhet i DNV rørledningsregler. Norsk Hydro ønsker å bruke 1,25 som krav.

NGI (møtet 29.10.2003) har brukt middelvei minus ett standardavvik ved fastsettelse av styrkeparametre. De har antatt 10% poreovertrykk, men tror ikke at de har det i skråningen. Laveste sikkerhetsfaktor er på 1,2 mot mindre skred. Mest kritisk er drenert brudd kun med egenvekt. Det er et grunt brudd som tar med seg "lite" volum. Mest trolig ville dette føre til et sig av masser og ikke et brått brudd. Sintef har verifisert analysene.

Vi har følgende forslag til vilkår: Det skal minst være en sikkerhetsfaktor mot skred som kan skade innretninger – herunder stigerørssystemer på minst 1,3.

6.2. Underjordisk utblåsning og lekkasjer fra produksjonen

En underjordisk utblåsning vil kunne forårsake hydrostatisk overtrykk i jorda og utløse skred. Det er viktig at grunne permeable lag blir nøyaktig fastlagt, og at utbredelsen av lagene blir kjent. NH opplyste at de ved feltundersøkelsene i år vil kunne bestemme omfanget av permeable lag.

Bryn og Berg (2003, side 18) skriver at undersøkelser i området ikke har påvist noe sandlag, der en kan få innstrømning av væske. De har ikke undersøkt for template lokasjon C. Prøvetakingen under geotekniske undersøkelser er likevel ikke alltid kontinuerlig. Sand- eller siltlag kan ha blitt oversett. De geotekniske undersøkelsene er bare små "nålestikk" over et stort område. Prøvetakingen kan i teorien ha unngått å treffe slike lag. De har likevel simulert blow-out fra reservoaret inn i et mulig sandlag. De skriver at stabiliteten fortsatt er god i slike tilfeller.

Vi vil foreslå et vilkår for template lokasjon C og eventuelle andre nye lokasjoner (som ved oljeutvinning). En må kunne vite det og kunne gjøre tiltak dersom en skulle få en grunn utblåsning.

6.3. Alternativ prøving av formasjonslagene

For å vurdere skredfaren ba vi Hydro vurdere destruktive småskalaforsøk på Ormen Lange for å se skredsikkerheten er som en forventer.

Hydro har svart at de ikke ser det som nødvendig med destruktiv testing. Vi er enige i svaret.

6.4. Overvåking av reservoar og overburden

Vi spurte Hydro om det forelå planer for overvåking av reservoar og overburden. NH viste til at det var gjort mye arbeid på dette, blant annet permanente trykkmålere og reservoarinnsynkning.

Her var vi usikre på om vi skulle foreslå vilkår knyttet til trykkmålere og seismologi. Det skal nok likevel en svært stor innsynkning til her før det skal bety noe. Forslaget til vilkår om overvåking av poretrykket vil delvis dekke dette.

6.5. Turbiditter

Turbidittstrømmer fra utrasninger i brattkanten kan bevege seg lengre enn debris-strømmer, og har potensiale for å gjøre skade på innretninger. NH hevder at materialet som raser ut vil ha stort leirinnhold og høy kohesjon og ikke gi grunnlag for store turbidittstrømmer. Bryn og Berg skriver at det ikke er nødvendig å vurdere dette (s. 28), men innrømmer at det er en forenkling.

Forslaget til vilkår for kompresjonsinnretningen vil dekke dette.

6.6 Gass og gasshydrat

Hydro har analysert mulige konsekvenser av oppvarming av sedimentene og mulig oppsmelting av gasshydrat rundt produksjonsrørene.

Brønnstrømmen vil typisk ha en temperatur på 50 grader ved havbunnen. Riseren er slik bygget opp at brønnstrømmen er ytterst og borevæskene er på innsiden. Det brukes stålrør både mellom brønnstrøm og borevæske og ut mot jorda. Arne Enoksen (1.8.2000) vurderte at brønnstrømmen bare hadde innflytelse på temperaturen i leira noen få meter ut fra borerøret.

Peling vil føre til friksjonsvarme i pelen og i jorda, men på samme måte ha innflytelse på temperaturen i leira et lite stykke ut fra pælen.

Rørledningene vil også medføre en lokal temperaturøkning av havbunnen omkring ledningene. Rørtrasene vil i hovedsak gå opp skråningen og ikke på tvers. Gasshydrat-smelting i rørtraseen vil neppe føre til skredfare.

Beregningene under detaljprosjekteringen må koordineres med NHs vurderinger av morfologien på raskanten, slik at en også får vurdert områder der det kan være grunne gasslekkasjer eller andre anomalier.

6.7. Produksjonsinduserte jordskjelv

Vi har muligheter for produksjonsinduserte jordskjelv. Dette er noe som må følges opp i driftsfasen med tanke på monitorering.

Et sammendrag av hendelsene på Ekofisk som er gitt til HSE er: "May 7th 2001 an earthquake occurred at Ekofisk. It is logged in earthquake catalogues to have a size of about 4.5 to 5 on the Richter scale - based on an assumption of a deep failure. After the event it was found that the platforms at the Ekofisk centre tilted slightly to the east (15 cm at the helicopter deck level), and they have moved downwards 8 cm. The earthquake was observed differently depending on the location of the observer. The most frightening observation was from a man on a bridge observing the floor under him suddenly falling downwards about half a meter. In an area north of the Ekofisk 2/4-B platform (north of the Ekofisk field centre) there is an area where the sea bottom has been elevated about 20 cm since 1999. This area is in the order of magnitude 3km*3km. In the overburden in this area there has since 1999 accidentally been pumped in major volumes of seawater, due to a leakages in a water injection well. The volume of water is in the order of magnitude three millions cubic meters. The leakage was at about 2100m depth. The trigger of the earthquake can be a small natural earthquake or the induced water pressure in it self."

På Troll A har en et sandlag på 189m dybde under havbunnen som trolig er 100% gassmettet. En har her gasslekkasje opp mellom to "casinger" til borerøret, slik at det lekker gass inn i betongcellene. Lekkasjen er ca 0,7 liter gass i timen. Her er jordskjelvmulighetene mindre.

En lekkasje i overburden må sette opp et svært stort trykk før det kan føre til jordskjelv.

6.8. Reservoarinnsynking

Det kan forventes en reservoarkompaksjon på inntil 1,8m (Bryn og Berg, 2003, side 18 og Kvalstad mfl, 2003, side 10). Halvparten av dette vil kunne komme til havflaten. Dette vil ifølge dem ikke påvirke skråningsstabiliteten. Disse tallene virker rimelige ut fra vår erfaring med andre felt som kompakterer.

Vi har ikke sett at det er noe grunnlag for å sette noe vilkår her av sikkerhetsgrunner. Vi forventer overvåking av kompaksjonen av reservoaret.

7. KONSEKVENSER AV RAS: UTRASNING OG BØLGER

7.1. Vannstandsendringer som følge av skred

Feltarbeid viser at norskekysten, Shetland og Skottland ble rammet av en flodbølge for ca 8200 år side, og det er enighet om at denne skyldtes Storeggaskredet. Hydro har fått utført modelleringer av Storeggaskredet og mindre skred for å vurdere hvilke forhold som skal til for å sette opp bølger som kan gjøre skade langs kysten.

Harbitz (1988) har simulert Storeggaskredet. Bunnhelningen var opp til 0,72 grader. Vanddyb fra 320m til 3500m. Lengden på skredet er 400 km. Skredmassen er i dag 5500 km³. Dette er sedimenter som skled ut i turbiditetsstrømmer og består av ca 60 % vann i tillegg til sedimentpartiklene. Den totale blandingen er anslått til 13750 km³. Høyden på skredet var opp til 500m. Han har variert skredhastigheten, og angir nedre og øvre grense som 50 og 100 m/s. Kaldnes mfl (1999, side 12) skriver at Harbitz har beregnet en hastighet på i størrelsesorden 15-25 m/s i Storeggaskredet....

Bryn og Berg oppsummerer undersøkelsene med at det er kombinasjonen av volum og hastighet på skredet som bestemmer størrelsen på en eventuell flodbølge. Selv relativt små skred kan i teorien sette opp bølger med skadepotensial. Bryn og Berg gir som eksempel et skred på 3 km³ med hastighet 4 m/s, som kan sette opp bølger på 0,75 m.

Hydro har gjort en vurdering av hvor store tsunamibølger som er akseptable. Deres vurdering virker rimelige.

7.2. Virkning av skred på undervannsinnretninger og -utstyr

Preslan og Merrill (1983) skriver at i Mississippideltaet ble i 1965 en liten jacket ødelagt av et skred og i 1969 ble tre plattformer ødelagt eller alvorlig skadet av skred. Sharples mfl (1990) skriver at det har vært noen ulykker med skred i verden i perioden 1979-89. En jackup ble tapt i stormen Allan i 1980 på grunn av et skred. De skriver at det er en markert større risiko for skred i deltaområder. I et skred i november 1980 ble også en brønn til en semi tapt etter et skred. Det har på 1990-tallet vært en hendelse i Azerbasjan der en upelet jacket trolig ble tatt av et skred.

En vannstandssenking som beregnet av Harbitz (1988) vil være i grenseområdet til å gi slakk i strekkstagene på Heidrun, og dermed at innretningen kan velte. Virkningen på de andre innretningene i Midt-Norge vil være små.

Virkingen av skred som treffer innretninger eller rørledninger vil være avhengig av størrelsen på skredene. Egenvekten på massen vil være av betydning for lastberegningene. Vann har 1 tonn/m³ og jorda omkring 1,8-2 tonn/m³. Antar at skredet vil ha en egenvekt som er midt i mellom: 1,4 tonn/m³. Antar et noe mindre skred med en hastighet på 5 m/s. Ved havbunnen har Hydro spesifisert strømhastigheter i størrelsesorden 1 m/s for en hundreårssituasjon. Ved beregning etter Morisons formel vil forholdet mellom skredlast og strømlast være $(5/1)^2 * (1,4/1.0) = 35$. Altså en betydelig større last. En konstruksjon vil likevel normalt ikke være dimensjonert ut fra den lokale lasten, men fra lasten på hele konstruksjonen. For en rørledning vil et skred kunne gi betydelig større laster enn andre naturlaster.

8. AKSEPTKRITERIER OG RISIKOVURDERING

8.1. Akseptkriterier

Akseptkriteriene som er brukt i risikoanalysen er oppsummert av Bryn og Berg (2003), s. 32-34. Hydro og partnerne er enige om kriteriene.

Våre kommentarer:

Skred i størrelsesorden som Storeggaskredene vil være ødeleggende for alle bunnfaste konstruksjoner og rørledninger som blir truffet.

Skred på sokkelen er ikke bare et fenomen knyttet til avslutningen av siste istid. Det har vært skred på norsk sokkel også i historisk tid (Mohn, 1867).

Et skred av størrelse som Storeggaskredet vil føre til store skader i Midt-Norge, Vesterhavsyene, Skottland og kanskje i Nederland. Sannsynligheten for dødsfall er stor. Hendelsen er helt uakseptabel.

I et utkast til akseptkriterier for risiko forventer en at en skal måle risikoen ned til et årlig sannsynlighetsnivå på 10^{-9} . Det vil etter vårt skjønn være svært vanskelig å dokumentere at en tilfredsstillende slike kriterier. Som eksempel vil jordskjelvverdiene med et årlig sannsynlighetsnivå på 10^{-9} være vesentlig større enn de dimensjonerende verdiene med et årlig sannsynlighetsnivå på 10^{-4} .

Vi har som sådan valgt å ikke ta stilling til Hydros akseptkriterier for tredjepart, ut fra at vi vurderer det som ikke mulig å få skred forårsaket av petroleumsvirksomhet i Ormen Lange området som kan berøre tredjeparter på land i Norge eller i våre naboland.

8.2. Risikoanalyse

Styringsforskriften § 13 sier at ”*Det skal gå klart fram hva som er formålet med den enkelte analysen og hvilke betingelser, forutsetninger og avgrensninger som er lagt til grunn.*” For risikoanalysene skal det da settes opp en liste over hvilke forutsetninger og avgrensninger som er lagt til grunn.

Rammeforskriften § 9 sier at ”*Skade eller fare for skade på mennesker, miljø eller materielle verdier skal forhindres eller begrenses i tråd med helse-, miljø- og sikkerhetslovgivningen, herunder interne krav og akseptkriterier. Utover dette nivået skal risikoen reduseres ytterligere så langt det er mulig.*”, jmf. også veiledningen til § 9. Risikoanalysen bør beskrive mulige tiltak for redusere risikoen dersom en på tross av lav sannsynlighet skulle få skred av ulike størrelser. Tiltakslista kan være uavhengig av resultatene fra selve risikoanalysen.

Vi har her valgt å ikke foreslå vilkår.

8.3. Pålitelighetsanalysen

Kombinasjoner av risikoanalyse- og pålitelighetsanalysemetoder er lite brukt og det er ikke åpenbart hvordan disse skal kombineres. NORSOK N-001 punkt 7.2.2 sier “ *The design may be based on a more complete reliability design method, provided it can be documented that the method is suitable from a theoretical point of view, and that it provides adequate safety in typical, known cases. This opens for use of reliability methods which entail calibration of action and material coefficients against a given failure probability level, or direct design by means of such methods. The safety level can be calibrated directly against the safety of known structure types and be based on corresponding assumptions. When reliability methods are used, it shall be documented that the results are on the safe side.*” Intensjonen i NORSOK med uttesting av pålitelighetsmetodene og også koblingen med risikoanalysen bør testes for anvendelsen på Ormen Lange. I pålitelighetsanalysene er det for flere fysiske parametre brukt betafordelinger som gir en fysisk avgrensning av fysiske parametre som ikke har noen fysisk grense. Vi vil stille spørsmål ved valg av fordeling. Når en som på Ormen Lange er interessert i de mest usannsynlige verdiene – lang ute i halen på en fordeling, er det tvilsomt om det er riktig å bruke trunkerte fordelinger. NGI har så brukt andre fordelinger og funnet at virkningene er små.

Norsk Hydro skriver: “*Etter vår forståelse av NORSOK N-001 7.2.2, avsnittet før det som er sitert i OD’s kommentar, aksepteres det at en designs respons og motstand kan beregnes med deterministiske modeller hvor de normale usikkerhetene er dekket i material- og last koeffisientene. Når man benytter last- og material-faktorer, som i praksis resulterer i en samlet sikkerhetsfaktor, vil den beregnede respons representere en viss sviktsannsynlighet som implisitt ligger inne i sikkerhetsfaktoren, men uten at den eksplisitt er beregnet. Som grunnlag for fastlegging av standardverdiene for faktorene ligger det imidlertid en sannsynlighetsvurdering i bunn.*”

Vår forståelse av det neste avsnittet i NORSOK, N-001, pkt 7.2.2 (det som er sitert i OD’s kommentar) er at det åpner for å gjøre en probabilistisk analyse i stedet for en deterministisk. I så fall gjøres designet i forhold til et gitt akseptnivå for svikt uten å gå via last- og materialkoeffisienter, men implisitt tilsvarer beregningene en verdi av koeffisientene NORSOK krever da at hvis slike pålitelighetsmetoder benyttes i stedet for deterministisk med last- og materialkoeffisienter, så må modellen kunne kalibreres og være konservativ.

De geotekniske analysene for Ormen Lange er i utgangspunktet deterministiske hvor man har lagt inn forventningsverdier for materialparametre. Så beregnes en sikkerhetsfaktor som forholdet mellom kapasitet og last. Denne er i utgangspunktet deterministisk, men fordi Ormen Lange også har et probabilistisk akseptkriterium har man beregnet hvilken sviktsannsynlighet som tilsvarer de ulike sikkerhetsfaktorene Dette gjøres ved å tillegge sannsynlighetsfordelinger på inngangsparameterne i analysene, og resultatet blir dermed en fordeling som viser sannsynlighet for svikt som en funksjon av sikkerhetsfaktoren. Når man deterministisk har beregnet sikkerhetsfaktorer for de ulike scenarier, som normalt ved geotekniske analyser, kan man gå inn i fordelingen og finne hvilke sviktsannsynligheter disse tilsvarer. Dette kan deretter sammenliknes med akseptkriteriene. Som nevnt i vårt svar til OD’s kommentar i punkt 3, har prosjektet arbeidet for å dokumentere stabiliteten uten å være avhengig av sammenligning med kvantitative kriterier. De kvantitative analysene har primært vært brukt for å underbygge konklusjonene og øke forståelsen av mekanismer og avhengigheter.

Etter vår forståelse er ikke problemstillingen en analogi til en probabilistisk basert design slik vi forstår OD's kommentar og slik det vises til ved referansen til NORSOK N-001 pkt 7.2.2 Følgelig kan vi etter vårt skjønn ikke se at intensjonen i NORSOK er relevant for den måten analysen på Ormen Lange er blitt foretatt. Imidlertid er også Ormen Lange avhengig av en probabilistisk modell for å kunne sammenlikne de beregnede sikkerhetsfaktorene med akseptkriteriene, og som sådan har vi hatt stor fokus på kvaliteten av modellen. Vi vil forsøke å tilbakeregne utrasningen i de bløte konturittiske sedimentene i nedre raskant for å underbygge at metoder og modeller benyttet i våre analyser er gyldige.

Hydro er enig med OD i at forklaringsmodellen bør påvike modellusikkerhet for pålitlighetsanalysen. Dette har vært diskutert med NGI og verifikasjonsgruppen har spesielt blitt utfordret på hvordan man best skal ta hensyn til forklaringsmodellen.

Den geologiske forståelsen og morfologianalysen blir vektlagt med hensyn til vurdering av potensielle "tilgjengelige" sedimenter for et nytt ras fra bakkanten med mulig 3. parts konsekvens. I grunnlaget for den oppdaterte versjonen av den probabilistiske analysen er de geologiske forhold fremhevet og det er fokusert på at det ikke har gått noen ras siden Storeggaskredet. Videre vil vi vurdere hvordan forklaringsmodellen ytterligere kan være med og påvirke usikkerhetsvurderinger i den probabilistiske analysen. For øvrig er forklaringsmodellen vesentlig for konklusjonene i den overordnede risikovurderingen i Scandpower dokumentet."

8.4. Sporbarhet og dokumentasjon av de "usannsynlige" årsakene

For oss vil det være viktig at risikoanalysene bygges opp slik at det er lett sporbart hvilke vurderinger som er gjort og med hvilket grunnlag en har gjort vurderingene. Gjennom prosjektet blir det bygd opp et meget omfattende sett av data og rapporter som vil være grunnlaget for risikoanalysene og som også vil bli viktig for risikovurdering av eventuelle andre funn i området. Spesielt fordi prosjektet bygger på data og analyser fra så mange forskjellige leverandører er det viktig å sikre at databasen blir organisert slik at de som har tilgang lett kan finne fram.

Vi spurte om hvordan NH formelt avsluttet arbeidet med "usannsynlige" årsaker til skredene. Hydro opplyste på oppsummeringsmøtet at det ville bli gjort i forbindelse med risikoanalysene – der alle årsaker og bidragsyttere til skred ville bli drøftet. Det er viktig at når en avslutter arbeidet med de forklaringsmodellene som tilslutt regnes som svært lite sannsynlige også foretar kvalitetskontroll av disse modellene og de konklusjonene som blir gjort.

NH svarte 15.1.2003: Usannsynlige triggere vil bli diskutert i NGIs risiko dokument Underlaget for diskusjon av triggere finnes i NGIs oppdaterte stabilitetsanalyse dokument. Triggere og triggernes betydning blir også diskutert i det overordnede risiko dokumentet, som lages av Scandpower, med referanse til relevante fagdokumenter.

Vi så det her ikke nødvendig å foreslå vilkår.

8.5. Dimensjonerende skredlaster

I henhold til innretningsforskriften § 10 og NORSOK N-001 skal laster fastsettes med en årlig sannsynlighet på 10^{-4} . Dette framgår ikke direkte av akseptkriteriene til NH, men NH bekreftet at laster fra skred ville bli fastsatt med en årlig sannsynlighet på 10^{-4} .

Vi så det her ikke nødvendig å foreslå vilkår.

9. KONKLUSJON OG ANBEFALINGER, FORSLAG TIL VILKÅR

For 8200 år siden ble et omfattende skred ("Storegga-skredet") utløst utenfor Midt-Norge. Skredet førte til omfattende oversvømmelser i Norge, Skottland og på Vesterhavsoyene. Et skred i dag med samme størrelse ville ha medført omfattende skader både på mennesker og materielle verdier i hele dette området. Et skred ville neppe kunne gi større skade på offshore innretninger (muligens med unntak av Heidrun innretningen og på forankringssystemer), men kunne gjøre betydelig skade på land. Et slikt skred, forårsaket helt eller delvis av petroleumsvirksomheten, ville kunne medføre betydelige økonomiske krav for rettighetshaverne og den norske stat.

Ormen Lange-feltet ligger midt i skredgropa etter dette raset.

Norsk Hydro har gjort en omfattende utredning av faren for skred i Ormen Lange området. En har både undersøkt muligheten for naturlige skred, og for at petroleumsvirksomheten kan medføre økt skredfare. Undersøkelsen har involvert mesteparten av de norske og internasjonale fagmiljøer, og Storegga-skredet kan i dag regnes som det undersjøiske skredet i verden som er best undersøkt og forstått. En viktig del av undersøkelsen har gått ut på å forstå årsakene til Storegga-skredet.

Oljedirektoratet og Ptil har fulgt opp Norsk Hydros undersøkelser gjennom eget faglig arbeid, deltakelse på møter og seminarer og ved to tilsyn spesielt rettet mot skredfare.

Prosjektet har funnet fram til en forklaringsmodell om hvordan og hvorfor Storegga-skredet skjedde. Teorien er at Storegga-skredet ble igangsatt av et større jordskjelv. For å utløse skredet måtte en ha et høyt poretrykk i et bløtt jordlag (marin leire) over hele eller store deler av rasområdet. Dette høye poretrykket var forårsaket av at isbreene i siste istid la jordmasser over dette bløte laget. Disse massene ga økt vekt og økt poretrykk i de bløte lagene. Skredet har startet ved at det bløte laget sviktet langt fra land. Skredet har så arbeidet seg bakover - i hovedsak ved at bakkantene av de foregående skredene stadig raste ut. Skredet har stoppet der jordmassene var så sammentrykket av ismasser fra siste istid at de var stabile. Det er gjort omfattende geotekniske undersøkelser i rasskråningene rundt Ormen Lange-området. Geotekniske analyser viser at disse er stabile i dag, med en viss sikkerhetsmargin.

Prosjektets modell gir ifølge den internasjonale og nasjonale ekspertisen en rimelig forklaring på Storegga-skredet, men uten at vi helt kan utelukke at en i framtida kan finne andre forklaringer. Det mest usikre er hvordan selve utløsningen av skredet skjedde. Konklusjonen om at det meste av skredet har arbeidet seg bakover og oppover skråningen, er meget godt underbygget. Ptil er enig i disse vurderingene. Vi kan likevel ikke utelukke at det kan finnes andre forklaringer når det gjelder utløsningen av skredet. Uavhengig av utløsningsmekanismen er områdene ved Ormen Lange stabile i dag.

Basert på modellen vil en i Ormen Lange-området ikke kunne få flere større skred, som kan medføre skade på land - før etter neste istid. Det er likevel muligheter for mindre skred i raskantene. Det har vært flere mindre skred i rasgropa etter Storegga-skredet. Slike småskred vil ikke medføre skader utover Ormen Lange-området.

Norsk Hydro har undersøkt om deres forslag til utbygging av Ormen Lange feltet, vil kunne øke skredrisikoen:

Uttak av gass vil kunne gi innsynking av havbunnen. Denne innsynkingen kan være i størrelsesorden 0,5 meter over feltet, og vil ikke ha noen særlig betydning for stabiliteten på havbunnen. En underjordisk gasslekkasje vil kunne føre til at gass blir presset inn i bløte jordlag, og øke poretrykket. Leirlag er likevel så tette at det volumet gass som kan komme inn i jordlagene i løpet av produksjonsperioden er ubetydelig. Dersom det hadde vært et lett gjennomtrengelig lag - som et sandlag, ville gassen kunne ha spredd seg videre og forårsaket økt poretrykk. Dette poretrykket kan medføre omfattende oppsprekking. Brønner og seismikk har ikke påvist slike lag i det aktuelle området.

På grunn av skredet er havbunnen i området svært ujevn. Det er derfor nødvendig med omfattende steindumping for å jevne ut havbunnen, for å kunne legge rør. Hydros analyser viser at disse bare i liten grad bidrar til dårligere stabilitet. Undervannsanlegg, rørledninger og forankring nær raskantene kan bidra til lokale skred.

Det er mulig at mindre lokale skred (utrasninger) kan forekomme, påvirket av utbyggingsarbeidene. Ormen Lange-utbyggingen vil ikke påvirke muligheten for å få store skred. Det finnes i dag ikke regelverk som dekker skredfare for offshore innretninger. Norsk Hydro ønsker å bruke en sikkerhetsfaktor på 1,2 for skredfare. Etter vårt skjønn er det lavt, og vi vil anbefale 1,3 slik det normalt brukes på landanlegg.

Den første fasen i utbyggingen innebærer en utbygging av et gassfelt med undervannsproduksjonsanlegg. Eksponeringen for mennesker og forurensingsfaren vil være liten i driftsfasene. En sammenholding av sannsynlighet og konsekvenser tilsier at Norsk Hydros tiltak er tilstrekkelige, og Ptil vil derfor ikke foreslå at en setter spesielle vilkår knyttet til skredfare for denne delen av utbyggingen.

Neste fase i utbyggingen vil være å installere en kompresjonsinnretning, per i dag definert som en kompresjonsplattform (se avsnitt 14). Brudd i ankerliner eller i stigerørene kan gi store konsekvenser, i form av en storulykke. Sannsynlighetsbilde for hendelser vil være mye det samme, men konsekvensene vil være større. Vi foreslår at det gis følgende vilkår for den eventuelle framtidige kompresjonsplattformen:

- Det skal brukes en sikkerhetsfaktor på minst 1,3 mot lokale skred som kan skade innretninger - herunder forankrings- og stigerørssystemer.

- For å påvise eventuell økt fare for skred skal lisensen overvåke poretrykket i sedimentene i de aktuelle skrånningene.

Det kan være aktuelt å vurdere andre vilkår dersom en i en senere fase skulle påvise mer olje og dermed kan aktualisere utvinning av olje fra Ormen Lange feltet. Utvinning av eventuell olje fra Ormen Lange er ikke dekket av denne PUD søknaden.

10. REFERANSER

- Bryn P, S R Østmo, R Lien, K Berg og T I Tjelta: Slope stability in the deep water areas off Mid-Norway, OTC 8640, Houston, 1998.
- Bryn Petter og Kjell Berg: Slide risk evaluation – summary report, Ormen Lange, Norsk Hydro, rapport 37-00-NH-G15-00105, revisjon 1, 1.9.2003.
- Bugge Tom, Stein Befring, Robert H Belderson, Tor Eidvin, Eystein Jansen, Neil H Kenyon, Hans Holtedal og Hans Petter Sejrup: A giant three-stage submarine slide off Norway, Geo-Marine Letters, nr 7, 1987.
- Bugge T, R H Belderson og N H Kenyon: The Storegga slide, Royal Society of London, philosophical transactions, Ser A. Mathematical and physical science, 1988
- Bugge Tom: Bunnforholdene I Vøringområdet, NIF kurs, Oslo, 21-22. november 1995
- Canadian Standards Association: Special publication S472.1-M1989 Commentary to CSA S472-M1989, Foundations, 1992.
- Edgers, Lewis og Kjell Karlsruud: Soil flow generated by submarine slides – case studies and consequences, BOSS, Boston, 1982.
- Elverhøi A, H Norem, E S Andersen, J A Dowdeswell, I Fossen, H Haflidason, N H Kenyon, J S Laberg, E L King, H P Sejrup, A Solheim og T Vorren: On the origin and flow behavior of submarine slides on deep-sea fans along the Norwegian-Barents Sea continental margin, Geo-Marine Letters, nr 17, 1997
- Gjevik B, Pedersen G, Dybesland E og Harbitz X B: Numerical simulations of tsunami waves: preliminary results of the Storegga, the Gorrige bank and the Thera case studies, Matematisk Institutt, Universitetet i Oslo, februar 1994.
- Harbitz Carl Bonnevie: Numerisk modellering av skredgenererte flodbølger, Matematisk Institutt, Universitetet i Oslo, januar 1988.
- Harbitz C B: Model simulations of tsunamis generated by the Storegga Slides, Marine Geology, nr 105, 1092
- Harbitz C B, Pedersen G og Gjevik B: Numerical simulations of large water waves due to landslides, Journal of Hydraulic Engineering, paper no 2986, vol 119, no 12, desember, 1993.
- Hooper J R og W A Dunlap: Modeling Soil properties on the continental slope, Gulf of Mexico, OTC 5956, Houston, 1989
- Janbu Nilmar: Grunnlag i geoteknikk, Tapir forlag, 1970.
- Jansen Eystein, Hans Petter Sejrup, Tor Fjæran, Morten Hald, Hans Holtedal og Oddvar Skarbø: Late Weichselian poleoceanography of the sputheastern Norwegian sea, Norsk Geografisk tidsskrift, vol 63, 1983.

Jansen Eystein, Stein Befring, Tom Bugge, Tor Eidvin, Hans Holtedal og Hans Petter Sejrup: Large submarine slides on the Norwegian continental margin, transport and timing, Marine Geology nr 78, 1987.

Kaldnes Bjørn, Farrokh Nadim, Carl B Harbitz og Tor Løken: Earthquake hazard update and slope stability evaluation - Evaluation of slope stability and submarine slides, NGI rapport 982512-2, NGI, Oslo, 30.7.1999. OD ref 96/829-287.

Kvalstad Tore, Linda Hårvik og Kjell Hauge: Slope stability assesment in the Ormen Lange field, summary report, NGI report no 993016-17, revisjon 1, 20.8.2003.

Kvitrud Arne: PUD-vurdering av naturforholdene på Ormen Lange, Petroleumstilsynet, februar 2004.

Lee C Y, H G Poulos og T S Hull: Effect of seafloor instbility on offshore pile foundations, Can. Geotech journal, nr 28, 1991.

Løken Tor: NGI 1980 soil investigation, block 30/10, Geological report, NGI rapport 80202-19, Oslo, 1981.

Mohn H: Meddelse angaaende en usædvanlig Bevægelse af Havet paa Norges Vestkyst den 7de Mai 1867, Videnskapselskabet i Christiania, forhandlinger, Kristiania, 24.5.1867.

NORSOK N-001: Structural design, rev 3, august 2000.

Preslan William L og Kelly S. Merrill: Design must deal with mudslide problems, Offshore, mars, 1983

Prøsch-Danielsen Lisbeth og Stein Bondevik: "Tsunamis, real transgressions or stormy episodes", AmS, Stavanger, 12.2.2003

Shakesby R A, D McCarroll og C J Caseldine: New evidence for preboreal deglaciation of south-central Norway, Norsk Geografisk tidsskrift, vol 44, 1990

Sharples B P M, W T Bennett jr og J C Trickey: Risk analysis of jackup rigs, International conference on the jack-up drilling platform, 1989.

Skogseth Ragnheid: Turbiditetsstaumar langs eit skrått plan, hovudoppgåva i fysisk oceanografi, Geofysisk institutt, Universitetet I Bergen, 1999.

Sollie Finn Ø: WL and LWD sonic logging of soft formations – a case sudy from a deep-water, frontier-area field, SPWLA 40th annual logging symposium, 1999

Svendsen John Inge og Jan Mangerud: Sea-level changes and pollen stratigraphy on the outer coast of Sunnmøre, western Norway, Norsk Geologisk Tidsskrift, vol 70, 1990.

Svendsen John Inge, Svein Bondevik og Jan Mangerud: Flodbølge mot Norskekysten, Geo, juni 2000.