



PETROLEUMSTILSYNET

Vedlegg: Begrunnelse for vedtaket

BP har tidligere søkt samtykke til bruk av Valhall QP som boliginnretning i 2007 til 30. september 2010, i 2010 til 1. september 2012 og i 2012 til 31. desember 2014.

I hovedsak var søknadene begrunnet med behov for innkvarteringskapasitet på Valhallfeltet fram til idriftsettelse av prosess- og boliginnretningen Valhall PH, og forberedelser og gjennomføring av plugging og avslutting av brønner på Valhall DP. Valhall PH ble satt i drift januar 2013. En oppjekkbar boreinnretning har startet arbeidet med plugging og avslutting av brønnene.

BP konkluderte i brev av 1.12.2014 [2] at Valhall QP var i samsvar med kravene til en ubemannet konstruksjon med en samlet innsynkning inntil 8,0 meter. Dagens innsynkning er ca. 6,5 meter og innsynkningsraten er seneste årene 6-13cm per år.

Petroleumstilsynet har engasjert en ekspertgruppe fra Sintef, Marintek, NTNU og eksterne fagpersoner (nedenfor omtalt som *Sintef-Marintek*). Rapportene fra dette arbeidet er oversendt BP [12,13,14]. Med bakgrunn i nevnte rapporter og egne vurderinger har vi utfordret noen av BPs forutsetninger og analyser, spesielt høyden av bølgekammen (medregnet høyere ordenseffekter i bølgeteori), lasten fra steile bølger (kinematikk), akseptgrensene for bruddgrensetilstand og bestemmelse av avmanningsnivået.

Valhall QP er bygget i henhold til forskrift for faste bærende konstruksjoner fra 15.4.1977. I søknaden har BP lagt til grunn de nyeste NORSOK-standardene.

Kriterier i bruddgrensetilstandene (ULS)

I alminnelighet gjøres konstruksjonsanalyser i fire grensetilstander. Dersom en har tilfredsstillende sikkerhet i alle grensetilstandene anses innretningen som sikker. Den grensetilstanden som er viktigst for vurdering av samtykkesøknaden for Valhall QP er bruddgrensetilstanden. Bruddgrensetilstandene er for en fast bærende konstruksjon i hovedsak en komponentkontroll der en kontrollerer kapasiteten av hver enkelt del av konstruksjonen, og at hele konstruksjonene skal kunne brukes til sitt formål etter at lasten er borte. I motsetning til dette er ulykkesgrensetilstanden en kontroll mot katastrofer, der hovedsikkerhetsfunksjoner (som rømningsveier) skal kunne opprettholdes inntil innretningen er evakuert, men der innretningen ikke trenger å være egnet for videre bruk etter at den har vært utsatt for belastningene.

Innretningsforskriftens krav om bærende konstruksjoner er i stor grad en videreføring av tidligere forskrifter. Oljedirektoratets forskrift om bærende konstruksjoner fra 1992 ble tatt inn i NORSOK N-001. Innretningsforskriften ble dermed gjort mer funksjonell, men veiledningen viser til NORSOK N-001 som hovedstandard for analyser, med videre henvisninger til blant annet NORSOK N-003 og N-004. Det er ikke noen vesentlige forskjeller på måten en beskriver bruddgrensetilstandene i 1977 og 2014, og en bruker de samme prinsippene i dag som den gang. Likevel har utviklingen i (spesielt databaserte) analyseverktøyer medført at mer detaljerte og dermed mer kompliserte analyser kan utføres. Spesielt vesentlig er det at analysene i 1977 hovedsakelig ble gjennomført med lineære metoder. I 1977 var det krav til økt sikkerhet der kapasiteten av et tverrsnitt ble fastsatt ved

plastiske metoder (ikke-lineær oppførsel av stålmaterialiet). Kravet var utformet som en økt sikkerhetskoeffisient på materialet (materialkoeffisient) fra 1,15 i elastisk analyse til 1,3 i plastisk analyse [3, vedlegg 3 avsnitt 3.1].

Oljedirektoratets forskrifter fra 1977, 1984 og 1992 baserte seg på grensetilstandsmetoden slik den var beskrevet i blant annet i ISO, Eurocode, Den nordisk komité for bygningsbestemmelser, Norsk Standard og regelverket til Det norske Veritas. Bruddgrensetilstandene (engelsk *ultimate limit state*, ULS) og ulykkgrensetilstanden (engelsk *accidental limit state*, ALS), som i 1977 ble benevnt som grensetilstanden for progressivt brudd, ble i 1977 beskrevet som [3, avsnitt 2.2]:

- *Bruddgrensetilstandene, som er fastlagt i relasjon til faren for brudd, eller store uelastiske forskyvninger eller tøyninger som kan sammenlignes med brudd,*
- *Grensetilstander for progressivt brudd, som er fastlagt i relasjon til faren for brudd av konstruksjonen under den antagelse at visse deler av konstruksjonen ikke lenger fyller sin funksjon når det gjelder lastbæring.*

Videre var det angitt at [3, avsnitt 4.5.5] «*Grensetilstanden for progressivt brudd skal kontrolleres for ulykkeslaster. En lokal skade tillates, forutsatt at resten av konstruksjonen tilfredsstiller kravene i bruddgrensetilstanden ... i tabell 4.2*». Tabell 4.2 angir lastkoeffisientene for ulykkesskadde konstruksjoner.

Dagens regelverk, innretningsforskriften §56 og §11, krever kontroll med årlig sannsynlighet på 10^{-2} (også kalt 100 års returperiode) for bruddgrensetilstandene (ULS) og 10^{-4} (kalt 10.000 års returperiode) for ulykkgrensetilstandene (ALS). Videre henviser forskriftsveiledning til NORSOK N-001 og denne videre til ISO 19900, som gir spesifikke krav. Blant annet skal en ved kontroll i ULS unngå transformering av konstruksjonen til en mekanisme (stor deformasjon) og tap av konstruksjonens stabilitet [4, 7.1.3 c) og d)]. Videre angir standarden om kontroll av ulykkgrensetilstandene: «*The ALS check ensures that local failure does not lead to complete loss of integrity of the structure*» [4, 7.1.6]. 19900 bruker i avsnitt 9.2 betegnelsen: «*The global behaviour of the structure is essentially elastic, even though local stress concentrations can exceed yield stresses and nonlinear behavior...*»

Ut fra det overstående skal bruddgrensekontrollen (ULS) sikre at konstruksjonen med en årlig sannsynlighet på 10^{-2} ikke overskrider grensen til lokalt eller globalt brudd, tap av stabilitet eller begynnende store deformasjoner. Konstruksjonen skal være normalt anvendelig etter en ULS-situasjon, uten behov for reparasjoner av hovedbærekonstruksjonene. I ulykkgrensetilstanden (ALS) kan lokale skader eller brudd, mindre tap av stabilitet samt store (men ikke progressive) deformasjoner aksepteres. Etter at konstruksjonen har motstått en ulykkeshendelse (tilsvarende årlig sannsynlighet 10^{-4}) er det akseptabelt at konstruksjonen er påført skade som medfører at hele eller deler av konstruksjonen ikke kan anvendes og hovedbærende elementer må fjernes eller repareres.

Valhall QP møter ikke kravene til en hundreårs bølgesituasjon i bemannet tilstand. Derfor har BP i flere år hatt avmanningsprosedyrer kalt DFU81 eller VXWW (BP definert fare og ulykkessituasjon – Valhall eXtreme Wave Warning). For en konstruksjon som ikke er bemannet i storm aksepteres, i henhold til NORSOK N-001, et redusert sikkerhetsnivå for ULS analysene (lastfaktoren for naturlastene fra bølger, strøm og vind kan reduseres fra 1,3 til 1,15). Aker har utført analyser for BP der en har beregnet bruddgrensetilstanden med redusert lastfaktor, som forutsetter at innretningene er avmannet i storm.

Akers analyser er utført med ikke-lineære metoder for en fremtidig tilstand hvor havbunnen er sunket total åtte meter (ca. 1,5 meter dypere enn 2014 nivå) og bølgene forutsettes å nå 2,4 meter opp på dekkskonstruksjonene (bølge i dekk; engelsk *Wave-in-deck*). Akers analyser viser at ULS-lastene på dekkskonstruksjonene vil gi i store plastiske tøyninger i jacketleggene og det dannes en global flytemekanisme i stålkonstruksjonen slik at hele dekket forskyves sideveis i forhold til jacketen. Analysene i hovedrapporten angir en total permanent (plastisk) forskyvning av dekket på 0,6 meter [5, avsnitt 7.3.1]. I rapportens appendix D er det utført ytterligere analyser som angir større permanente deformasjoner, uten at disse anvendes i rapportens konklusjoner [5, appendix D, figur 2.6, 2.8, 2.14, 3.5 og 3.7].

Basert på at det ikke bare er enkelte elementer som «flyter», men alle fire leggene som bærer Valhall QP-dekket, og at det forutsettes store plastiske (permanente) deformasjoner kan Ptil ikke anerkjenne analysen som en bruddgrenseanalyse. Ptil anser analysemetoden som BP bruker som en kombinasjon av bruddgrensetilstanden og ulykkesgrensetilstanden, hvor ULS-laster analyseres mot kravene til ulykkesgrensetilstanden. Vi har påpekt for BP at tøyningsgrensene som Aker anvender er 15% forlengelse basert på NORSOK N-004, Anneks A. Det er verdier som utelukkende er angitt som relevante for ulykkeslaster (ALS). Nyere kriterier for (enaksial) strekk-brudd er angitt i DNV-RP-C208 (avsnitt 5.1.3), hvor det angis en maksimal strekk-tøyning på 12% og hvor det i tillegg kreves en ekstra sikkerhetsfaktor på 1,2. RP-C208 avsnitt 5.4.5 har i tillegg anbefalinger med mye lavere tøyningsgrenser som skal sikre mot tap av stabilitet av trykkede deler. Trykk tøyning (stukning) utover angitt nivå krever ifølge RP-C208 detaljerte stabilitets analyser av lokal knekking (eller fjerning av element i analysen). Ikke lineær analyse er en komplisert metode som avhenger av mange parametere, det er derfor ikke mulig å angi simple akseptgrenser. Det essensielle er at evnen til å bære last under plastisk deformasjon må ettervises.

Høyere ordens effekter på bølgeammene

BP baserte seg på en design-bølgesituasjon med signifikant bølgehøyde på 13,8m og en bølgekam på 15,7m over midlere stormvannstanden (SWL). Tidevann og stormflo har BP satt til 1,1m over laveste astronomiske tidevann (LAT). Bølgehøyden ble bestemt som punkt-estimat, og analysert som Stokes bølger.

Det framgår av en rekke vitenskapelige publikasjoner at den andreordensmetodikken som BP brukte for å fastsette hundreårsbølgekam undervurderer bølgeammen, jamfør f.eks. DNV-RP-C205 punkt 3.5.10.4 og CresT JIP prosjektet [6]. Sintef-Marintek har vurdert bølgeammen som BP bruker for Valhallfeltet som lave i forhold til den nyeste viten om høyere ordens effekter. De har også tatt med bidrag for å kompensere for den fysiske utstrekning av innretningen i forhold til den analytiske punkt-bestemmelsen. Sintef-Marintek har vurdert kamhøyden til 1,5 meter høyere enn BPs verdier. Dette ble fremført for BP på møtet 25.9.2014. I møtet 17.10.2014 sa BP at de anså en økning av bølgekam høyde på 1,1meter som realistisk, basert på tredjeordens effekter i bølgeteorien. Den nevnte økningen av bølgekamhøyden med 1,1 meter til 16,8 meter (15,7m+1,1m) over SWL, er ikke tatt med i den seneste oppdateringen av Akers analyserapporter [5] og i BPs konklusjoner [2].

Hvor høyt bølgetoppene rekker opp på innretningen avhenger i tillegg av innretningens fysiske høyde, tidevannsvariasjon og stormflo. Innretningens høyde er kjent fra design, men den opprinnelige dybden som den ble installert på er ikke entydig bestemt av informasjonen som presenteres i DFI-resymet [7, s.22] og Akers analyserapport [5, s.9]. Verdiene som danner grunnlag for BPs konklusjoner er 1,0 meter mer optimistisk enn de opprinnelige informasjonen fra DNVs tilsyn og rapportering med installasjon. Ptil har derfor stilt spørsmål

ved BPs kvalitetssikring av den anvendte verdien for opprinnelig vanddyb. BP har vist til en oppmåling i 2002 [8].

Tidevann og stormflo er i BPs spesifikasjon og Akers analyser beskrevet som 1,1 meter stormvannstand (SWL) over laveste astronomiske tidevann (LAT), basert på en samtidighetsanalyse i BPs spesifikasjon av meteorologiske og oseanografiske forhold [9, avsnitt 7.4]. Vi har stilt spørsmål ved om denne verdien er tilstrekkelig stor, siden den faktiske vannstand under stormen Borgny i 2006 ble målt til ca. 1,4m [10, figur 1] på tross av at stormen var mindre enn en storm med 100 års returperiode.

Undervurderingen av bølgekammen medfører at bølgelastene i BPs analyser underestimeres.

Lastøking fra kinematikk for steile bølger

I sine analyser har BP lagt til grunn at bølgeformene er symmetriske. I virkeligheten er bølgene usymmetriske der toppen forskyves mot bølgebevegelsesretningen. Når denne effekten tas hensyn til, vil bølgelastene øke.

Sintef-Marintek har i sitt arbeid foretatt forenklede skaleringer for å vurdere effekten av steile bølger. De anga at nivåer på 30% - 50% lastøkning kunne forventes. De vurderte sannsynligheten for at bølgene ville bli så steile at de kunne bryte som små, men anga likevel at eventuell brytning kunne øke lasten til omtrent det dobbelte av de symmetriske bølgene. Ptil fremførte dette resultat fra den nyeste forskning på området for BP i møtet 25.9.2014. Etter møtet gjennomførte Aker analyser med steilere bølgegeometri. Vi fikk informasjon om Akers nye analyser i møtet 17.10.2014. BP opplyste i dette møtet at de ikke planla å oppdatere sine konklusjoner på bakgrunn av nevnte analyser. Ptil ba i brev av 24.10.2014 BP å dokumentere at Valhall QP kan motstå lastene som følge av steile bølger, økt bølgekam og arealeffekt. Oppdateringen av Akers analyserapport inneholder et vedlegg D [5, appendix D] som behandler en ekstra steil bølgetopp. Beregningen inneholder en analyse med 90% økt partikkelhastighet i bølgetoppen (kinematikk). Det dynamiske samspillet mellom last og konstruksjon fungerer som et «filter» og konstruksjonen opptar energi når den deformeres med store forskyvninger av dekket. Dels på grunn av filtereffekten og dels på grunn av energiopptaket blir resultatet av Akers analyse at impulsen (kraft gange tid) på konstruksjonen i praksis bare blir 13% større enn for den symmetriske (ikke-steile) bølgen. Akers analyse angir dermed en mindre effekt av steile bølger enn det Sintef-Marintek har indikert.

Ptil kan ikke se at økningen som beregnes i Akers rapport vedlegg D er inkludert i den seneste oppdatering av selve analyserapporten [5]. Ptil vurderer derfor BPs konklusjoner som ufullstendige i forhold til informasjonen som er etablert i analyserapporten inkludert vedlegg D, og at lastene underestimeres.

Avmanningskriteriene

BP har i brev av 1.12.2014 etablert avmanningskriterie etter Norsok N-006. BP konkluderer med å bruke et kriterium på 9,2m Hec for vintersesongen 2015 basert på bølgetopp høyde på 16,65m (LAT). Der tas slik vi oppfatter det ikke hensyn til høyere ordens bølger, og som etter vår vurdering ikke setter riktig avmanningskriterie.

For rømning over broa har BP ikke tatt arealeffekten med i beregningene. Dersom det bare er et lite område ved brolanding som er kritisk, så kan det være at punktverdien er rett å bruke. For broa som ligger litt høyere må en ta med arealeffekten, men BP har ikke gjort noen

vurdering av hvor stor den er. En lokal skade på broa kan gjøre den ubrukelig som rømningsvei.

Bølgemålinger foretas i noe som er tilnærmet et punkt, og statistikk fra målingene beskriver sannsynligheten for å få en bestemt bølge i dette punktet. Sannsynligheten for at bølgen skal treffe et vilkårlig punkt på en flate er derimot større. Sverre Haver anslo, med referanse til G. Z. Forristall at effekten kunne være 5%-10% økning av bølgehøydene på Valhall QP [14, appendix 1, 11]. På den andre side vurderer flere andre fagfolk på området, at arealeffekten er en lokal effekt.

BP meddelte i møte 17.10.2014 at selskapets informasjon om arealeffektene ikke ga grunnlag for å ta med dette bidraget. Ptil anerkjenner at det er faglig uenighet mellom fageksperter om hvorvidt arealeffekten har betydning for de bølgene som forårsaker de dimensjonerende laster med hensyn til bølge i dekk, men vi mener at den må være med i vurderingen av om sikker avmanning kan foretas.

Referanser

- [1] BP søknad. *Søknad om levetids forlengelse for Valhall QP, DP og PCP*. 29.08.2014. BP ref. HSE2014/PMH, Ptil ref. 2012/341-23-2.
- [2] BP brev. *Sak: QP søknader om levetidsforlengelse og unntak fra airgap. Svar til Ptil brev av 24.10.2014 og 7.11.2014*, 01.12.2014 (Ptil ref. 2012/986-36-1)
- [3] Oljedirektoratet. *Forskrift for beregning og dimensjonering av faste bærende konstruksjoner på den norske kontinentalsokkel*. Oljedirektoratet 15.4.1977.
- [4] ISO 19900. *Petroleums- og naturgassindustri. Generelle krav til offshore-konstruksjoner*. Norsk Standard NS-EN ISO 19900, 2. utgave 2013
- [5] Aker rapport: *Valhall QP Wave-In-Deck Structural Assessment*. BPVQ-14006-N-0010 revision 07. November 13th 2014. (Ptil ref. 2012/986-36-2)
- [6] Buchner, Forristall, Ewans, Christou og Hennig. *New Insights in extreme crest height distributions (A summary of the «crest» JIP)*. OMAE2011-49846. June 19-24, 2011.
- [7] DNV. *Design, Fabrikasjon og Installasjon Resumé, Structure, Valhall «A» Field Quarters Platform*. Utført av Det norske Veritas, Industrial and Offshore Division for Oljedirektoratet. Februar 1983.
- [8] Blom. *Valhall airgap measurement project*. Rev. 0, 18.10.2002. BP Amoco Norge AS contract PO-002252, dok. Ref. 0204074-02002201.
- [9] Colin Grant. *Valhall Field Oceanographic and Meteorological Design Data Summary*. BP Exploration, July 2007, version 4. Report No: S/EPT/073/04
- [10] Meteorologisk institutt. *The «Borgny» storm 31st October – 1st November 2006 at Ekofisk and Valhall – Weather situation and measurements*. 6. juli 2007.
- [11] George Z. Forristall. *Maximum Wave Heights Over an Area and the Air Gap problem*. OMAE2006-92022. June 4-9, 2006.
- [12] Marintek-Sintef. *Prudent design/operation of a facility – General assessment for jacket structures exposed to wave-in-deck loads*. 20.10.2014. MT2014 F-150.
- [13] Marintek-Sintef. *Prudence evaluation of Valhall QP platform – Review of finite element modeling and conduct of analysis*. 20.10.2014. MT2014 F-151.
- [14] Marintek-Sintef. *ULS assessment of Valhall QP*. 10.12.2014. MT2014 F-152.