

BØLGEKAMVERDIER FOR EKOFISK

Arne Kvitrud, Oljedirektoratet, 1997

Det vises til brev fra PPCoN av 8.12.1993 hvor PPCoN informerte Oljedirektoratet om at PPCoN hadde besluttet å endre de kriteriene som lå til grunn for dimensjonering av innretninger i Ekofisk området. Det var verdier som var utarbeidet av Dansk Hydraulisk Institutt (DHI) på vegne av PPCoN og verifisert av Det norske Veritas (DnV-D). Det har i tiden før og hele tiden etter vært drøftinger mellom Oljedirektoratet og PPCoN om disse verdiene. Drøftingene har særlig vært knyttet til hvilken bølgekamverdi som skal brukes.

REFERANSER

Det er i gjennomgangen nedenfor brukt følgende referanser :

Bjerken Svein og Stephen F Barstow : Preparation and quality control of wave data from the wavestaff used in the WADIC experiment, Oceanor rapport OCN TN-94001, Trondheim. 4.5.1994

Dahl F E, Gran S, Hagen Ø and Skåtun H : Verification of environmental design criteria for the greater Ekofisk Area, DnV-Defence report 036-93/Rev. 0, Oslo, 1.12.1993.

Dansk Hydraulisk Institutt (DHI) : Greater Ekofisk Environmental Design Criteria study, Hørsholm, Danmark, 17.9.1993

DHI : Ekofisk Design Conditions, telefax til OD av 3.12.1993

DHI : Attachment to minutes of meeting - 14 december, 1993, vedlegg til møtereferatet fra PPCoN, mottatt 12.1.1994, referert til som DHI, 1994a i teksten.

DHI : Greater Ekofisk Environmental Design Criteria Study, DHI comments on draft note from A. Kvitrud, NPD (dated 18.01.1994), oversendt på telefax fra PPCoN 28.1.1994, referert til som DHI, 1994b i teksten.

Kjeldsen S P : Dangerous wave groups, Norwegian Maritime Research, nr 2, 1984

Krogstad Harald E : Bølgeforldene på Ekofisk, Sintef, Trondheim, 25.1.1994. Referert til som Krogstad, 1994a i teksten.

Krogstad Harald E : Ekofisk design wave crest heights current status, Trondheim, 20.10.1994. Referert til som Krogstad, 1994b i teksten.

Krogstad : Ekstreme bølgehøyder på Ekofisk, Sintef, 29.11.1994. Referert til som Krogstad, 1994c i teksten.

Longuet-Higgins M S : Eulerian and Lagrangian aspects of surface waves, Journal of Fluid Mechanics, London, 1986

Marthinsen T : Experiences from comparing theory with environmental and platform data, Saga Petroleum, 1994.

Mathiesen M and K Torsethaugen : Ekofisk Short-term Distribution of Crest Heights, NHL, 1994

Muir L. R og El-Shaarawi A. H : On the calculation of extreme wave hights : a review, Ocean Engineering, vol 13, no 1, side 93-118, Storbritannia, 1986.

Samset O og Krogstad H E : Analysis of the Danish Hydraulic Institute's Method for the Design Wave Calculations, Sintef, Trondheim, 30.9.1994

Torsethaugen K and Mathiesen M : Ekofisk - extreme wave heights, NHL, Trondheim, 1993

SAKSFRAMSTILLING

Etter DHI studien (1993) er det blitt utført uavhengige vurderinger og analyser av bølgeforldene på Ekofisk av Statoil og NHL. For de fleste parametre er det mindre forskjeller mellom de verdier PPCoN har presentert og de som andre har funnet. Et unntak er imidlertid verdiene for bølgekammen med en årlig sannsynlighet for overskridelse på 10^{-2} . PPCoN sin verdi ligger langt under de fleste beregningene gir. Årsaken til forskjellene ligger i valg av hvilke data (bøye eller radar) som bør brukes, valg av fordelinger og den statistiske behandlingen av dataene.

Oljedirektoratet hadde også i perioden 1985-1987 en diskusjon om bølgeforldene i Ekofiskområdet. OD opprettet den gang en komite for å foreta en vurdering av det DHI hadde gjort, og medlemmene ga anbefalinger på uavhengig grunnlag . Oljedirektoratets konklusjoner ble da i hovedsak gitt i vårt brev datert 1.7.1987 og supplert i vårt brev av 12.10.1987. PPCoN sine konklusjoner framkommer hovedsakelig av deres brev av 1. 6.1987 og 30. 7.1987.

Ved beregning av bølgekammen konkluderte OD at det var mest rett å bruke radar-resultatene. Det samme ble lagt til grunn for analysene til PPCoN. Det ble videre av OD konkludert med at der var tre statistiske metoder som var akseptable for beregning av 100-års-verdier, nemlig :

a) Gumbel fordeling av årseksstremer for vintersesongen

b) Eksponensialfordelingen for målinger over en gitt terskelverdi. Terskelverdien må velges så lav at resultatene blir stabile. Da hindcast verdiene innfører ekstra usikkerhet (varians) i resultatene er det også riktigere å bruke en enda lavere terskelverdi for målte data enn for hindcast.

c) Weibull fordelingen på hele utvalg av data

OD konkludert også med at minste kvadraters metode var den beste måten å tilpasse dataene.

PPCoN konkluderte i 1987 med at de var uenige i bruken av eksponensialfordelingen under pkt b) og anbefalte middelveiden av tilpasninger med minste kvadraters metode og

maksimum likelihood metoden. PPCoN har ved begge anledninger brukt en avkuttet Gumbelfordeling, ut fra at en har ansett verdiene ved hver stormtopp å være uavhengige av hverandre. OD påpekte at dette ikke er tilfelle da stormene i en vintersesong kan være avhengige av hverandre. OD anbefalte derfor at Gumbel fordelingen bare ble brukt på årsmaksima. Når en bruker korttidsstatistikk som integreres opp har Samset og Krogstad (1994) har imidlertid vist at denne antakelsen ikke er nødvendig.

Ved gjennomgangen av forholdene på Ekofisk i 1993/94 har PPCoN utelukkende brukt maksimum likelihood metoden. Bakgrunnen for valget er av DHI angitt å være en diskusjon som er gjort av Muir og El-Shaavami (1986). De drøfter ulike måter å tilpasse dataene og konkluderer med:

"Of the methods presented here, the most satisfactory would be to use extreme value theory to fit the data by means of a maximum likelihood method, recognising censored data when they are used. This method is theoretically sound only if the data are independent and identically distributed, which they are not. It will seldom be the case that the data will be accurate enough for very complicated statistical methods to be utilised to their full precision. As well, it will seldom be the case that the data set will be long enough to allow a full appreciation of the degree of non stationarity which could be expected within the required long return period."

Da forutsetningene for bruken av metoden neppe er tilstede, noe som Muir og El-Shaavami også påpeker, kan OD ikke se at dette gir et tilstrekkelig grunnlag for å endre vår vurdering av tilpassingsmetode.

Ved ODs gjennomgang i 1993-94 har OD gjort egne beregninger der OD ved valg av data og metoder i hovedsak har brukt det som framkommer av våre brev fra 1987, og som det er vist til over. PPCoN har etter ODs oppfatning ikke framlagt nye argumenter som tilsier at det er grunnlag for å endre disse.

OD har foretatt flere analyser av bølgekammene på Ekofisk. For en mer utførlig redegjørelse vises til vårt notat av 27.1.1994 som ble oversendt PPCoN først som utkast og så i endelig form. Etter at våre analyser ble utført har OD brukt personell fra Sintef og Oceanor til å gjennomgå PPCoN og våre resultater. Nedenfor er det gjengitt kortfattet hvilke vurderinger og analyser som er utført.

VALG AV DATASETT - RADAR KONTRA BØYE

DHI (1993) har i sitt arbeid valgt å bruke bøyedata. I vedlegg M til deres rapport konkluderer DHI med at bøya og radardataene kan anses som å være henholdsvis nedre og øvre grense for skjevheten i en sjøtilstand. Det er basert på målinger ved 7 tidspunkter med forskjellige sensorer. De beskriver forskjellene med at :

a) bøya ikke alltid får med seg de største bølgene - den kan dukke ned eller gå rundt toppen ved kortkammede bølger

b) radaren kan være influert av bølgediffraksjon rundt 2/4-T og 2/4-H, og effekter av sjøspray og skum. DHI (1993b) skriver også at de største målte bølgekammene på Maersk Guardian er urealistisk høye. Videre at de er refleksjoner av sjøsprøyt, snarere enn selve bølga.

DHI har valgt bøyedataene i hovedsak fordi en her har langt flere og bedre data. PPCoN angir også at DHI på oppdrag av Maersk har gjort forsøk med trykksensorer på en dansk innretning som bekrefter bruken av bøyer som det mest riktige. Resultater fra slike målinger vil etter ODs syn være svært avhengig av plasseringen av målerne og vil filtrere ut de bølgekomponentene som de steile bølgene i stor grad består av. Trykkmålingene gir også lavere verdier enn for gaussisk sjø (Samset og Krogstad, 1994).

WADIC eksperimentet antydte at flere EMI-lasere ga like eller økende bølgekamverdier ved økende bølgehøyde, mens bøyemålingene indikerte minkende bølgekamhøyde med økende bølgehøyde. Målingene ble utført på og ved Edda. Resultatene er også underbygget med lasermålinger fra Gullfaks og Tern, og med bøyemålinger fra Haltenbanken, Stad, Vøringplatået og Hibernia.

OD har plottet dataene for bøya og radaren på Ekofisk. Det stadfester det som er funnet av andre, at bøya viser en svak reduksjon av bølgekammen delt på bølgehøyde når bølgehøyden øker. En har også en klar tendens til at radaren og laseren gir høyere kammer enn bøya for en gitt bølgehøyde. Det samme er gjort av Sintef for korttidsstilstander som bekrefter store forskjeller i korttidsfordelingen (Krogstad, 1994b)

DHI (1994b) viser at de har gjort beregninger på 70 enkeltbølger fra fire stormer. De har tatt de fem største bølgene i 18 min sekvenser. Bøya gir noe større middelveier for enkeltbølgehøyder enn radaren. Middelveien for bølgekamverdien for radar og bøye er omlag identiske. Bølgehøydene er da trolig påvirket av Barrieren før de kommer fram til radaren. Det er også hva som er kommet fram av DHI (1993) sine diffraksjonsberegninger. Spørsmålet er om det også gjelder bølgeformen.

DHI (1993) fikk godt samsvar mellom signifikante bølgehøyder for bøya og EMI-laseren fra målingene med laseren på Maersk Guardian i stormen desember 1990. Maersk Guardian lå da slik at den bare i liten grad skulle være influert av diffraksjonseffekter. Våre sammenlikninger viser også at målingene fra Maersk Guardian og radarmålingene på broa fra 2/4-H gir i middel omtrent samme skjevhet som under WADIC eksperimentet. Diffraksjonseffekten på målingene av bølgeprofilen skulle da være liten. Det kan likevel være skum i bølgene i alle målingene. Krogstad (1994b) viser også til en rekke andre målinger som viser at laser og radar-instrumenter på ulike lokasjoner gir i hovedsak samme konklusjon.

Som vist til av Krogstad (1994a), er effekten av skum redusert for WADIC eksperimentene ved bruk av flere lasere i nærheten av hverandre. En fikk da stabile resultater. Som i bølgestavmålingene fra WADIC eksperimentet på Edda, måler bølgelasere trolig noe skum i enkelte bølgesituasjoner (Barstow, 1994 og Krogstad, 1994b). Omfanget av slike skummålinger kan vi ikke tallfestet.

PPCoN har påpekt at utviklingen av skjevheten for alle sensorene i WADIC eksperimentet, etter deres vurdering, var urealistiske og at en måtte se bort fra dem. OD har gjennomgått noen av resultatene fra modellforsøkene som er gjort i forbindelse med ringing problematikken. Det er her kjørt med svært usymmetriske bølger. Det er her i flere tilfeller oppnådd skjevhetsforhold langt over 0,6. Det er derfor etter vårt skjønn ikke grunnlag for å hevde at bølgene fra WADIC, radaren på Ekofisk eller laseren på Maersk Guardian er

ufysikalske, selv om forholdet blir over 0,6. Kjeldsen (1984) har også vist at en kan få bølgekammer som er skjevare enn et forhold på 0,6.

ODs konklusjon vil være at bøya gir for symmetrisk bølger og at en kommer nærmere virkeligheten med bruk av gode radar- eller lasermålinger. En videre analyse av målingene med bølgestaven fra WADIC eksperimentet og målinger fra andre målesteder kan kaste videre lys over hvor riktige de ulike måleinstrumentene er. Målingene av bølgestaven under WADIC eksperimentet er imidlertid vanskelig å tolke på grunn av mulig begroing. Slike målinger og vurderinger er etter ODs kunnskap ikke tilgjengelig i dag noen steder i verden.

OD kan ikke bevise at bølgebøya gir for lave resultater. Det er imidlertid underbygd med det som står over og ved :

a) Longuet-Higgins (1986) har beskrevet teoretisk forskjellen mellom måleinstrumenter som ser nedover (som laser/radar) og målinger som er utført av en frittflytende bøye. Han viser at bøya ikke vil følge bølgeformen og alltid gi for lave steilheter. Argumentet mot bruken av disse teoretiske analysene er at de bøyene som er brukt på Ekofisk er forankret og ikke helt fritt flytende.

b) Samset og Krogstad (1994) og Krogstad (1994) viser at bøya gir verdier som er lavere enn det en får fra en gaussisk sjø. OD vil betrakte gaussisk sjø som en nedre grense for bølgekammer. Som vist av Marthinsen (1994) vil havbølger for å kunne tilfredsstillende fundamentale fysiske likevektslikninger måtte være mer usymmetriske enn det en kan måle ved hjelp av bøyer. Det er også godt samsvar mellom radarmålinger og andre ordens bølge-teori.

ODs STATISTISKE ANALYSER AV BØLGEKAMMEN

OD har foretatt flere analyser med de metoder som er angitt over, for å sjekke godheten i DHI sine analyser. De gjengis kort nedenfor:

a) OD har beregnet ekstremverdier ut fra en kombinert dataserie som består av bøyemålinger for perioden 1980-86 basert på 20 min målinger hver tredje time (DHI, 1993) og bøyemålinger fra 1986-92 basert på kontinuerlige målinger (DHI, 1993). Våre tilpasninger av årsektremene ga en hundreårsverdi på 15,5m fra SWL.

b) OD har gjort det samme med radarmålingene fra 1980-91. For 12.12.1990 har OD inkludert Maersk Guardian laser 1, siden radaren ikke virket. ODs tilpassing gir 17,3m fra SWL.

c) Beregner en bøye og radardataene for samme type data, dvs synoptiske data og for 1980-90, får en at bøya gir 16,3m og radaren 17,3m over SWL.

d) OD har i tillegg utført en POT analyse ved å variere grensen fra 6m og oppover. OD har brukt radardata inkludert data fra Maersk Guardians EMI-laser måler 1 for tiden 12.12.90 til febr 1991. Det er brukt største bølgekamverdi for hver storm. Det gir med terskler i området 6-7,5m bølgekammer på 15,4m til 15,8m med referanse til SWL. De laveste tersklene er rimelig stabile.

ODs analyser tilsier at en ikke får bølgekamverdier under 15,8m fra LAT.

STATOILS ANALYSER AV BØLGEKAMMEN

Statoil (1994) har analysert bølgekammene ut fra 4 ulike tilnærminger. Statoil har kun brukt radardata fra Ekofisk.

a) Først ble det brukt en metode av Jahns og Wheeler (1972) og med parametre fra Haring og Heideman (1986); hvor de får 17 m over SWL. Statoil har ikke vist om parametrene stemmer med målinger i Ekofisk området. Sett i sammenheng med arbeidene til Mathiesen and Torsethaugen (1994) vil OD likevel tolke dette som en øvre grense.

b) De bruker så en metode basert på skewness og kurtosis som er funnet fra Gullfaks C-data, med en dybde korreksjon til Ekofisk, som ga 16 m over SWL. Ut fra den måten dataene er tilpasset målingene på Ekofisk vil OD tolke resultatet som en øvre grense.

c) De brukte så en heremite ekspansjonsteknikk og fikk omkring 15 m over SWL.

d) De brukte så en Stokes ekspansjonsmetode og fikk omkring 15.5 m over SWL.

På de to siste metodene er det kun brukt teoretiske betraktninger uten å sjekke resultatene mot Ekofisk data. Det er følgelig vanskelig å forholde seg til dem. Statoil konkluderte med en 100-års bølgekam på omkring 15.5 - 17.0 m over SWL. Verdien over LAT vil slik Statoil regner være omlag 2m høyere. Dette er etter vårt skjønn svært konservativt ved at alle bidrag legges på toppen av hverandre. En verdi på omlag 1m er etter vårt skjønn mer realistisk. OD vil tolke resultatene fra Statoil som at de angir en øvre grense for bølgekammen på Ekofisk på omlag 17m over LAT.

NORGES HYDRODYNAMISKE LABORATORIERS ANALYSER AV BØLGEKAMMEN

Torsethaugen and Mathiesen (1993) brukte samme metode og parametre som Statoil (Jahns og Wheeler (1972) og med parametre fra Haring og Heideman (1986)), jf pkt a over. Det gav 17,2 m over SWL. De brukte også en 18de ordens Fourier teori som ga 15,7m. De anbefalte 17,2m. Mathiesen and Torsethaugen (1994) sammenliknet så metoden til Jahns og Wheeler (1972) mot radar og bøyemålinger fra Ekofisk. Metoden var noe konservativ i forhold til radarmålingene og de anbefalte 17,2m. De får også 18,1m over LAT som OD vil vurdere som et høyt anslag.

DHIS STATISTISKE ANALYSER AV BØLGEKAMMEN

DHI har kun brukt bøyedataene. De har også tatt hensyn til samtidighet av bølgekam og vannstand. De har også bare brukt data for perioden 1986-92, som gjør at de har et beskjedent

grunnlag for å gjøre ekstrapoleringer. OD sin veiledning om laster og lastvirkninger pkt 4.3.1 viser også til at en bør ha minst 10 år med data.

a) DHI har beregnet sammenhengen mellom største bølgekamverdi og den aktuelle sjøtilstand. For 22 sjøtilstander har DHI funnet største bølgekam. DHI har så funnet forholdet mellom bølgekam og signifikant bølgehøyde og plottet det mot signifikant bølgehøyde. DHI får da $\text{bølgekam} / \text{Hm0} = 1,24 - 0,026\text{m} * \text{Hm0}$. Med en signifikant bølgehøyde på 13,5m blir det en bølgekam på $0,89 * 13,5 = 12\text{m}$. De angir at de bare har noen ganske få datapunkter og antar så en konstant bølgekam som er lik signifikant bølgehøyde. De forventer at dette er en svakt konservativ metode. For de fem største sjøtilstandene er bølgekammen mindre enn den signifikante verdien. Denne bølgekamverdien er ut fra MSL og inkluderer da følgelig tidevann og stormflo.

Denne metoden vil statistisk gi resultater som er for lave. Dette på grunn av at den største bølgekammene ikke nødvendigvis vil opptre i den største sjøtilstanden. Metoden kan da ikke brukes til annen enn å indikere at bølgekam med en årlig sannsynlighet for overskridelse i alle fall ikke kan være lavere. DHI innfører så en skjønnsmessig korreksjon. Om dette gir riktige resultater på generelt grunnlag er svært vanskelig å vurdere. Metoden må etter ODs syn forkastes.

b) DHI (1993) har så som en alternativ metode tatt ut bølgekammene som framkommer av deres tabell 6.4. Tabellen gir største bølgekamverdien i forhold til MSL. Den analysen innebærer en beregning av en kombinert sannsynlighet av bølgekam, tidevann og meteorologisk vannstand. De har brukt 22 stormer, som de så har gjort en ekstremveridianalyse på. De har tilpasset dataene til en avkuttet Gumbelfordeling og tilpasset den med MLE. DHI får da en bølgekamverdi på 14,6m over MSL eller 15,3m over LAT.

DHI angir at den største bølgekammen ikke nødvendigvis kommer samtidig med den største bølgen. De viser så at for 20 av de 22 stormene er det likevel tilfelle.

OD har tatt de samme 22 datapunktene for vår egen analyse. Fordi det er data over en gitt terskel har OD valgt å bruke eksponensialfordelingen, jf vårt brev av 1.7.1987. Med terskler på 6,0-7,5m får OD bølgekamverdier på 16,6-17,0m over MSL. Verdiene er rimelig stabile. DHIs etterregning med samme metode, men med en noe annen plotteposisjon gir verdier som er litt lavere.

OD har så tatt ut årsmaksima fra tabell 6.4 og brukt Gumbel fordelingen på dem. Med minste kvadraters metode får OD 16,4-16,5m fra MSL. Det er her bare 8 verdier som naturlig nok gir en stor usikkerhet.

ODs analyse av bøyedataene for 1986-92 med bruk av kombinert sannsynlighet tilsier en hundreårs bølgekam i overkant av 17m fra LAT. Forskjellene mot DHI sin analyse er knyttet til bruken av fordelinger og tilpassingsmetoder.

c) DHI (1994b) har laget en ny analyse hvor de har integrert opp korttidsfordelingene i alle sjøtilstander. De ende da opp med en verdi på 14,4m over LAT.

Denne metoden for å beregne korttidsstilstanden gir for lave verdier fordi den tar vekk variansen mellom ulike stormer (Krogstad, 1994b). Denne virkningen er vurdert å være i

størrelsesorden 0,5m ved bruk av bøyedata. En ivaretagelse av denne variansen skulle gi omkring 14,9m over LAT ved bruk av bøya. For videre å se på denne metoden har Krogstad (1994c) gjort beregninger med en tilsvarende metode som brukes hos Sintef. Det er her integrert over alle sjøtilstander fra perioden 1980-93 ved bruk av en Weibullfordeling. Denne beregningen gir 15,6m over SWL ved bruk av laser data og 13,9m over SWL ved bruk av Gaussiske bølger.

Som angitt over og som er drøftet mer utførlig hos Krogstad (1994b) er det en stor spredning i resultatene om en bruker ulike måleinstrumenter. Etter ODs oppfatning gir bøylene for lave verdier for bølgekammene og resultatene kan bare brukes som nedre grense.

SAMMENDRAG

Samlet vil vi konkludere med at analyser av bøyedataene gir 100-års verdier omkring 14,9-15,3m over LAT om en bruker DHI sine metoder. Veritec konkluderer med 16,0m (Dahl m.fl, 1993). Statoil får verdier mellom 16,5 og 18m ved bruk av metoder som er bygd på bølgestav, laser og radarmålinger. NHL får 18,2m med en metode som vi vil tolke gir en øvre grense. Sintef får omlag 16,5m ved bruk av laserdata og 14,8m ved bruk av en gaussisk sjøtilstand. Våre beregninger av bøye- og radardataene fra Ekofisk gir bølgekamverdier som er større enn 15,8m.

Bølgekamverdien til PPCoN er etter vårt skjønn undervurdert. Denne konklusjonen gjelder uansett om en velger å bruke bøye eller radar/laserdata. Undervurderingen blir forsterket om en bruker radar eller laserdataene. PPCoN har brukt statistiske metoder for å analysere bøyedata som etter vårt skjønn gir for lave verdier.

Med bakgrunn i det som er framført over, er det etter min oppfatning ikke grunnlag for å redusere bølgekamverdien til en verdi som er lavere enn 15,8m.