

VIRVELINDUSERTE TVERRSVINGNINGER I LUFT

Arne Kvitrud, Petroleumstilsynet
Seminar i Petroleumstilsynet 27. august 2008

Bakgrunn

En rekke konstruksjoner på norsk sokkel har opplevd sprekker og svingninger forårsaket av det vi kaller virvelinduserte tverrsvingninger. Vi har fått vite om oppsprekking og vibrasjoner av staver i stålunderstell, staver og rammer i flammearn og støtter til helikopterdekk. Vi kan nok også med at noen av hendelsene med bolter har samme årsak, men uten at de er rapportert som det. Etter flere års pause har vi igjen fått innmeldt sprekker, så jeg vil benytte sjansen i dag til litt repetisjon!

Virvelinduserte tverrsvingninger er kompliserte og er fortsatt ikke fullt ut forstått. De er et samvirke der lasten påvirker konstruksjonen og omvendt. Det er også mange faktorer som påvirker svingningene. Det produseres ute i verden store mengder forskningsrapporter, og vi har nok fortsatt mange år med forskning igjen. Det er ikke lett å si hva som er rett, men det er enklere å si noe om hva som ikke fungerer.

Dimensjoneringsprinsipper - historikk

En vanlig måte tidligere var å ta hensyn til virvelavløsning ved å vurdere redusert hastighet og stabilitetstallet. Etter blant annet DNV i 1977 ville tverrsvingninger opptre når redusert hastighet er større enn 3,5 og stabilitetstallet er mindre enn 16. Praksis viste at dette ikke var tilstrekkelig. I 1978 fikk Statfjord A betydelige svingninger med stabilitetstall på 28 (med demping på 0,15 %). I 1991 endret DNV sitt regelverk til at tverrsvingninger opptrer ved stabilitetstall opp til 25. Erfaringene på Statfjord A og Heimdal tilsa allerede da at kriteriene ikke var gode nok.

På faste innretninger ser en anvendt kriterier disse og tilsvarende på 1980-og tidlig på 1990-tallet. På Heimdal ble det i 1985 spesifisert at virvelavløsning er et problem når: a) stabilitetstallet er lavere enn 16 og b) reduserte hastigheten er i området 4,7-8 og c) hastigheten ikke overstiger 20 m/s eller Reynoldstallet er lavere enn 350.000. Anvendelse av dette medførte betydelige tverrsvingninger av flammearnet på Heimdal. Undersøkelsen av svingningene på Heimdal gjorde at en etter hvert også fikk kritiske røster til denne måten å dimensjonere på.

Fra tidlig på 1990-tallet har det fleste faste konstruksjoner på norsk sokkel blitt dimensjonert i samsvar med DIN 4133 anhang A Schornsteine aus Stahl, 1988 og senere Eurocode med i hovedsak samme metodikk. Det har ført til vi ikke har fått innmeldt nye sprekker og svingninger. DNV ventet likevel helt til i fjor, da en fikk DNV-RP-C205, før de innførte en tilsvarende metodikk. Ulempen med denne er den bare med beregningsgangen fram til utsvinget, så en må gjøre videre beregninger etter andre standarder. Disse metodene kan likevel ikke forutsi alle typer svingninger.

Alle har likevel ikke forlatt metodikken med å dimensjonere seg bort fra virvelinduserte svingninger med et sett enkle parametre. Dimensjoneringen av en rekke flammearn foretatt av Kværner og senere AkerKværner, er basert på at Reynoldstallet for rørkonstruksjoner skulle være større enn 500.000 for redusert hastighet større enn 4,7, og at stabilitetstall skulle være større enn 16. Dette beregnes for den første svingeformen for hver stav. Forskjellen fra de tidligere kriteriene er at Reynoldstallet ble satt vesentlig høyere. Med bruk av dette kriteriet, er det ikke innrapportert sprekker eller svingninger. Ved denne metoden ville de aller fleste stagene på flammearn som har hatt svingninger og sprekker på norsk sokkel ikke blitt akseptert.

Parametre som er viktige å ha kontroll på

Dempning i en enkel stav skulle i utgangspunktet være en enkel parameter å bestemme, men dessverre! Resultater fra tester varierer en god del, men ser ut til at dempningen for en enkelt stav faller i området 0,1-0,3 %. NORSOK N-001 angir 0,15 %, som er en rimelig designverdi – selv om en nok også kan få lavere verdier.

Beregninger av staver som enten fast innspenning eller leddlagring kan gi villedende resultater siden svingningene er så avhengige av egenperioden og synkroniseringen med vindhastigheten. Innspenningen varierer også med geometrien på de stavene som støter mot hverandre og hvordan knutepunktene er dimensjonert. I praksis bør en se på et område av innspenningsverdier, og velge konservative verdier.

Andre forhold som påvirker svingningene

Standardene gir størrelsen på utsvingene fra virvelinduserte tverrsvingninger. Dette er fastsatt under kontrollerte forhold i laboratorier normalt med en og en stav. MEN dette er ikke nødvendigvis hverdagen. I visse tilfeller kan en få forsterkninger. Dette er ikke fullt ut dekket av standarder, men som en likevel må dimensjonere mot.

Parallele rør kan kunne føre til at det fremre røret i vindgaten laget virvler i egenfrekvensen til det bakre røret. Om en har parallelle rør nær hverandre, bør en gjøre en ekstra sjekk. Hovedeffekten ser ut til å være at svingningene starter ved høyere hastigheter og høyere redusert hastighet eller for enkeltstaver. En kan også få større utsving, når geometriene er uheldige.

I noen tilfeller svinger ikke konstruksjonene som en og en stav, men i egenfrekvensen til en ramme. Rammen kan være mange staver, men også to tilstøtende staver. Det som starter fenomenet er når virvel fra enkeltstaver blir avløst i egenfrekvensen til rammen. Igjen bør en se på det særskilt.

Et tilsvarende problemstilling opptrer dersom forholdet mellom egenfrekvensene til to tilstøtende staver er 1:2. Da kan en også få svingninger – kalt parametrisk eksitasjon.

Roterende utstyr som vibrerer i egenperioden til staver eller rammer kan bidra til å starte eller vedlikeholde svingningene. De kan ha energi på mange frekvenser.

Kvadratiske eller andre ikke sylindriske tverrsnitt er også utsatt for virvelinduserte tverrsvingninger. Ved ikke sylindriske tverrsnitt økes den reduserte hastigheten som må til for å få svingninger, men svingningene vil bli større enn for en sylinder. Når en beregner utsvinget må en passe på at den formelen en bruker for utsvinget gjelder for det profilen en har. Ellers gjelder den samme huskelista som over, og i tillegg må en sjekke for galloping.

Sammendrag

Svingninger synes å opptre for reduserte hastigheter på omlag 4 og oppover. Det er ikke identifisert noen øvre grense for stabilitetstall hvor en ikke får svingninger, men utsvinget avtar med økende stabilitetstall. Sveiste stålkonstruksjoner har liten dempning.

En dimensjonering basert på å tillate tverrsvingninger som i Eurocode (EN 1991-1-4), men ha kontrollen på dem gjennom beregninger, synes å være rimelig sikker. Akers metode synes også å gi en rimelig sikkerhet for rørkonstruksjoner.

Eldre DNV-standarder må ikke brukes. Den nye DNV -RP-C205 gir ikke en fullstendig beregningsmetodikk, så en må bruke andre standarder i tillegg.

Standardene forteller i hovedsak hvordan en skal beregne en og en stav. MEN dette er ikke alltid tilstrekkelig. I visse tilfeller kan en få forsterkninger. Dette er ikke alltid dekket av standardene, men en må likevel ta hensyn til dette.

