


**Memo til:**  
OKEA v/Helge Haugsdal

**Kopiert til:**  
Tom Inge Santi -

**Memo Nr.:** 10433516-01, Rev. 2

**Fra:** E-NQ-RSQ

**Dato:** 2023-12-12

**Skrevet av:** Audun Brandsæter, BRAND 

**Verifisert av:** Erik Falkenberg, ERIFA

Helle Fløtaker, HELLE 

## Vurdering av risiko for Brage-innretningen relatert til drivende vindturbin

### INNHold

1	INTRODUKSJON.....	2
2	ÅRLIG FREKVENNS FOR KRITISK ANKERLINEBRUDD.....	3
2.1	Årlig frekvens for ankerlinebrudd	3
2.2	Konsekvens av ankerlinebrudd	4
2.3	Kritisk ankerlinebrudd	5
3	SANNSYNLIGHET FOR KRITISK DRIVERETNING .....	6
4	SANNSYNLIGHET FOR Å AVVERGE KOLLISJON .....	9
5	SANNSYNLIGHET FOR VARSLING OG EVAKUERING .....	9
6	DISKUSJON.....	10
6.1	Anbefalinger	10
7	ALTERNATIV PLASSERING .....	11
8	REFERANSER.....	14
	Vedlegg: Vindturbin SV for Brage m/fiskeriaktivitet, vindrose .....	15

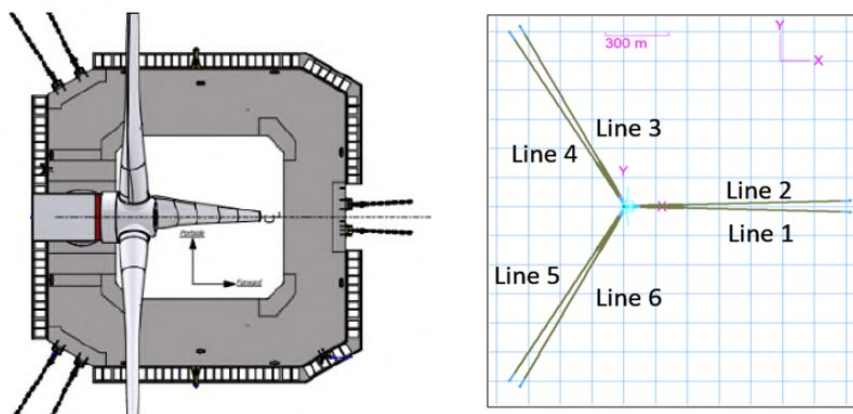
## 1 INTRODUKSJON

Risikoen for Brage-innretningen, relatert til drivende vindturbin, er knyttet til sannsynligheten for at en kollisjon oppstår og konsekvensen av denne.

For at vindturbinen skal kollidere med Brage-innretningen er det vurdert at følgende situasjon må oppstå:

1. Vindturbinen mister forankring;
2. Vindturbinen driver i retning mot Brage-innretningen;
3. Man klarer ikke å stoppe eller endre kurs på vindturbinen før en eventuell kollisjon.

Vindturbinen vil være forankret 3 km fra Brage-innretningen med 6 ankerliner, med to og to liner i par og en spredning mellom line-parene på 120°, se Figur 1-1. Ankrene vil posisjoneres slik at det blir en liten vinkel mellom de to linene i hvert par på ca. 5°, men dette er ikke tatt hensyn til i de videre vurderingene i dette notatet. Videre er det i dette notatet forutsatt at ett ankerlinepar peker i retning rett bort fra innretningen. Lengden på hver ankerline vil være ca. 1000 m.



Figur 1-1 Forankringssystemet (ref. /1/, Fig. 1 til venstre og ref. /2/, Fig. 3 til høyre)

Konsekvensen av en kollisjon vil i første omgang være skade på innretningen og turbinen. Dersom omfanget av skaden er betydelig, og kollisjonen inntreffer før personell har kunnet evakuere, så kan det være potensial for tap av menneskeliv.

Denne risikovurderingen omfatter ikke en detaljert konsekvensvurdering. Konsekvenser i form av fysisk skade på innretningen, reparasjonskostnader, nedetid, og eventuelle påvirkninger på miljø som følge av f.eks. oljeutslipp er ikke vurdert. Risikovurderingen fokuserer på sannsynligheten for at en kollisjonshendelse inntreffer, og hvorvidt man har mulighet for å evakuere personell slik at potensial for tap av menneskeliv vil være redusert til et minimum.

Årlig frekvens for kollisjon,  $f_K$ , med bemannet innretning (dvs. uten mulighet for kontrollert evakuering) kan uttrykkes ved følgende formel:

$$f_K = f_1 \times P_2 \times P_3 \times P_4 \quad [1]$$

- Der:
- $f_1$  = Årlig frekvens for kritisk ankerlinebrudd
  - $P_2$  = Sannsynlighet for at vindturbinen driver i retning av innretningen
  - $P_3$  = Sannsynlighet for at man ikke klarer å gripe inn i situasjonen for å avverge kollisjon
  - $P_4$  = Sannsynlighet for at situasjonen ikke oppdages i tide for å iverksette kontrollert evakuering

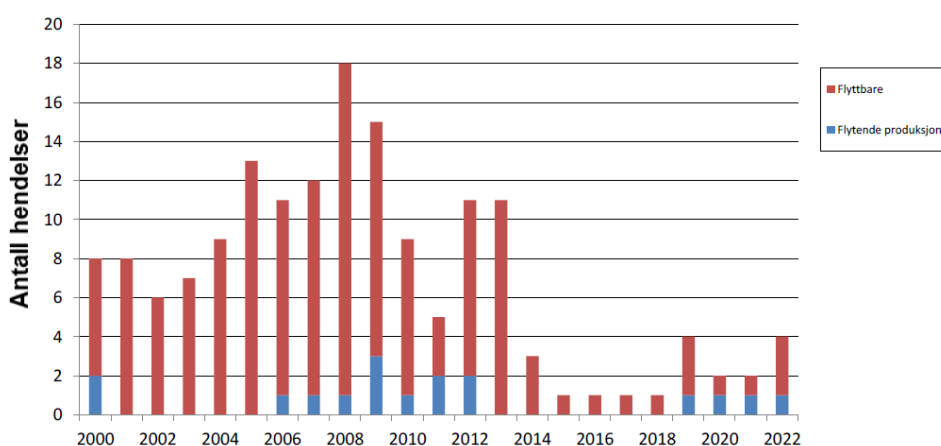
## 2 ÅRLIG FREKVENNS FOR KRITISK ANKERLINEBRUDD

### 2.1 Årlig frekvens for ankerlinebrudd

Basert på data for flytende offshore enheter fra perioden 2000-2014 er årlig frekvens for et enkelt ankerlinebrudd estimert til omtrent 0,1 pr. år en enhet er i operasjon (ref. /3/). Årlig frekvens for brudd på en spesifikk ankerline er estimert til omtrent 0,01 pr. år. Årlig frekvens for multiplert linebrudd er ytterligere en størrelsesorden lavere.

I henhold til ref. /3/ er det ingen signifikant endring i estimatene for brudd på ankerliner dersom man benytter data fra siste del av perioden, 2010-2014, eller hele perioden fra 2000-2014. På norsk sokkel skjedde det 16 linebrudd i perioden 2010 – 2014. Samtidig ble det rapportert til sammen 41 hendelser knyttet til ankerliner og tilhørende utstyr. I perioden 2000 – 2014 ble det til sammen rapportert 148 slike hendelser. Antallet rapporterte hendelser gikk således svakt ned, fra 9,9 pr. år for hele perioden sett under ett, til 8,2 pr. år for perioden 2010 – 2014. I de følgende 8 årene 2015 – 2022 ble det imidlertid rapportert 16 hendelser, eller kun 2 per år. I 2013 prioriterte Petroleumstilsynet oppfølging av forankringssystemene, og de ba offshore-næringen gjennomføre forbedringsaktiviteter. Etter Petroleumstilsynets vurdering har samarbeidet bidratt til færre hendelser, og en reell forbedring av sikkerheten. Forbedringene har blant annet omfattet:

- Kompetansen og oppmerksomhet er økt.
- Analysene av plattformbevegelser er blitt bedre og formlene for beregning av bølgelastene er korrigert.
- Torsjon i ankerlinene er redusert ved å bruk spesialutstyr under installeringen, og torsjonseffektene av ståltau er bedre kjent.
- Produktutvikling for å bedre beskyttelsen av fibertau.
- Bedre kontroll med utstyr som brukes.



**Figur 6-34 Antall rapporterte hendelser knyttet til ankerliner og tilhørende utstyr**

**Figur 2-1 Faksimile fra RNNP, 2022 (ref. /4/)**

Ifølge Petroleumstilsynets rapport, Anchor line failures - Norwegian Continental Shelf - 2010-2014 (ref. /5/), var det i perioden 2010 – 2014 ca. 25 forankrede mobile rigger med gjennomsnittlig 8 ankerliner, og 19 flytende produksjonsinnretninger med gjennomsnittlig 8 ankerliner. Dermed representerer flyttbare innretninger og flytende produksjonsinnretninger henholdsvis 200 og 228 ankerlineår/år.

Av de totalt 164 innrapporterte hendelsene fra 2000 – 2022 er det kun 16 som gjelder flytende produksjonsinnretninger (altså permanent forankrede enheter), se Figur 2-1. Dette gir en klar indikasjon på at feilfrekvens for forankrings-systemer er omlag en størrelsesorden høyere for flyttbare innretninger enn for enheter som er permanent forankret. Tar man hensyn til en reduksjon i årlige rapporteringer med en faktor 5, og at flytende produksjon kun representerer 4 av 14 hendelser etter 2014, gir dette et ytterligere argument for at forventet frekvens har gått ned.

Vindturbinen vil trolig ha et annet bevegelsesmønster og gi andre ankerlinekrefter enn en typisk offshore-innretning. Ifølge standarden som benyttes (ref. /6/) kan det også legges til grunn andre returperioder for ulykkeslaster enn det som gjøres for petroleumsinstallasjoner. Dette blir imidlertid kompensert med andre sikkerhetsfaktorer for å oppnå et gitt sikkerhetsnivå. Det kan også bemerkes at for petroleumsinnretninger finnes det omfattende kunnskap om sikkerhet mot overlast gjennom tidligere samarbeidsprosjekter («NORMOOR JIP»). Tilsvarende arbeid er igangsatt for flytende vind, og kan på sikt gi grunnlag for kalibrering av sikkerhetsfaktorene.

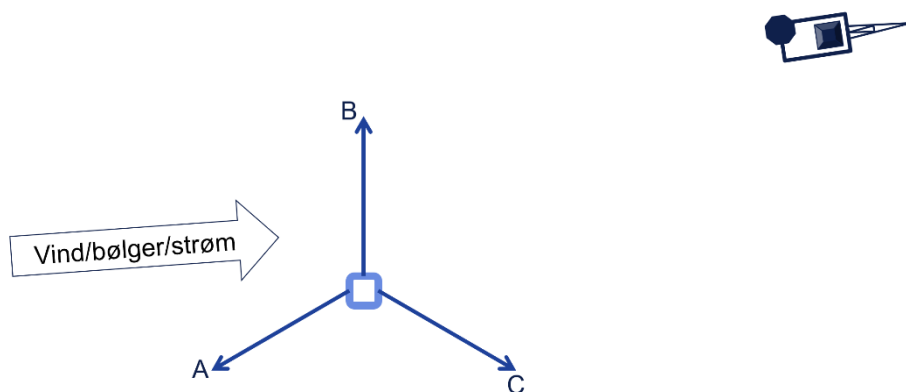
Hendelsesstatistikk for petroleumsinnretningene er relevant og den beste tilgjengelige, siden det ikke finnes tilsvarende for vindturbiner. Forskjell i returperioder for ulykkeslaster er ikke viktig siden dette blir kompensert med andre sikkerhetsfaktorer for å oppnå et gitt sikkerhetsnivå.

Videre i denne vurderingen, er det lagt til grunn en årlig frekvens for et enkelt ankerlinebrudd på 0,01 per år for en permanent forankret enhet i operasjon, mens en årlig frekvens på 0,001 per år er benyttet for brudd på begge liner i et par.

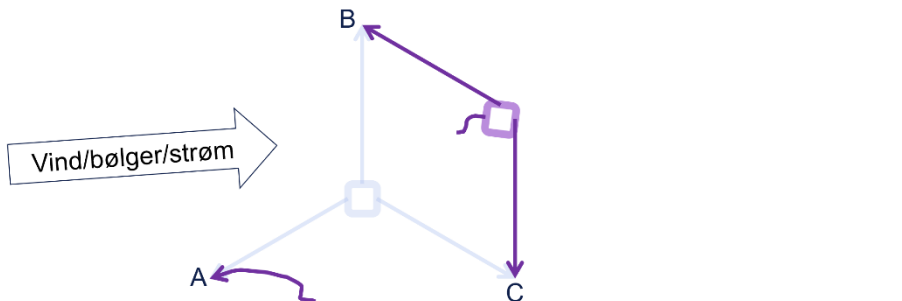
## 2.2 Konsekvens av ankerlinebrudd

Ankere og ankerliner skal være designet og dimensjonert slik at et anker og en ankerline skal være tilstrekkelig for å holde vindturbinen i posisjon for alle forutsette vær-, bølge- og vindtilstander. Dette gjelder også for et enkelt ankerlinebrudd, dog med noe lavere sikkerhetsfaktor.

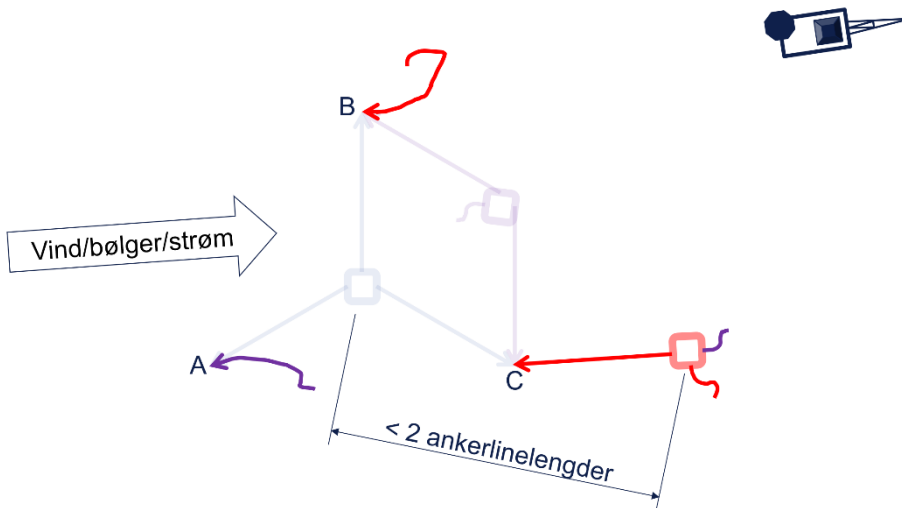
Brudd på begge liner i et par vil resultere i at vindturbinen mister sin posisjon (illustrert i Figur 2-2) og vil bevege seg til ny likevekt er oppnådd med de gjenværende ankerpunktene og gjeldende værforhold. Dersom det er to ankerliner i lo som ryker (f.eks. som vist i Figur 2-3), vil strekket i gjenværende ankerlinepar være mindre når ny likevektsposisjon er nådd enn ved opprinnelig forankring. Dette skyldes at det i denne situasjonen ikke lenger vil være ankerliner i lo som er forspent og gir økt strekk i linene i lo. Forutsatt at ankerlineinnfestninger både mot anker og vindturbin kan rotere fritt, vil altså et hvilket som helst av de seks ankrene alene kunne sørge for at vindturbinen ikke vil kunne nå frem til Brage (f.eks. som vist i Figur 2-4).



Figur 2-2 Prinsippskisse – omtrentlig likevektsposisjon før ankerlinebrudd.



Figur 2-3 Prinsippskisse – omtrentlig likevektsposisjon ved tap av ett ankerlinepar.



Figur 2-4 Prinsippskisse – omtrentlig likevektsposisjon ved tap av to ankerlinepar.

## 2.3 Kritisk ankerlinebrudd

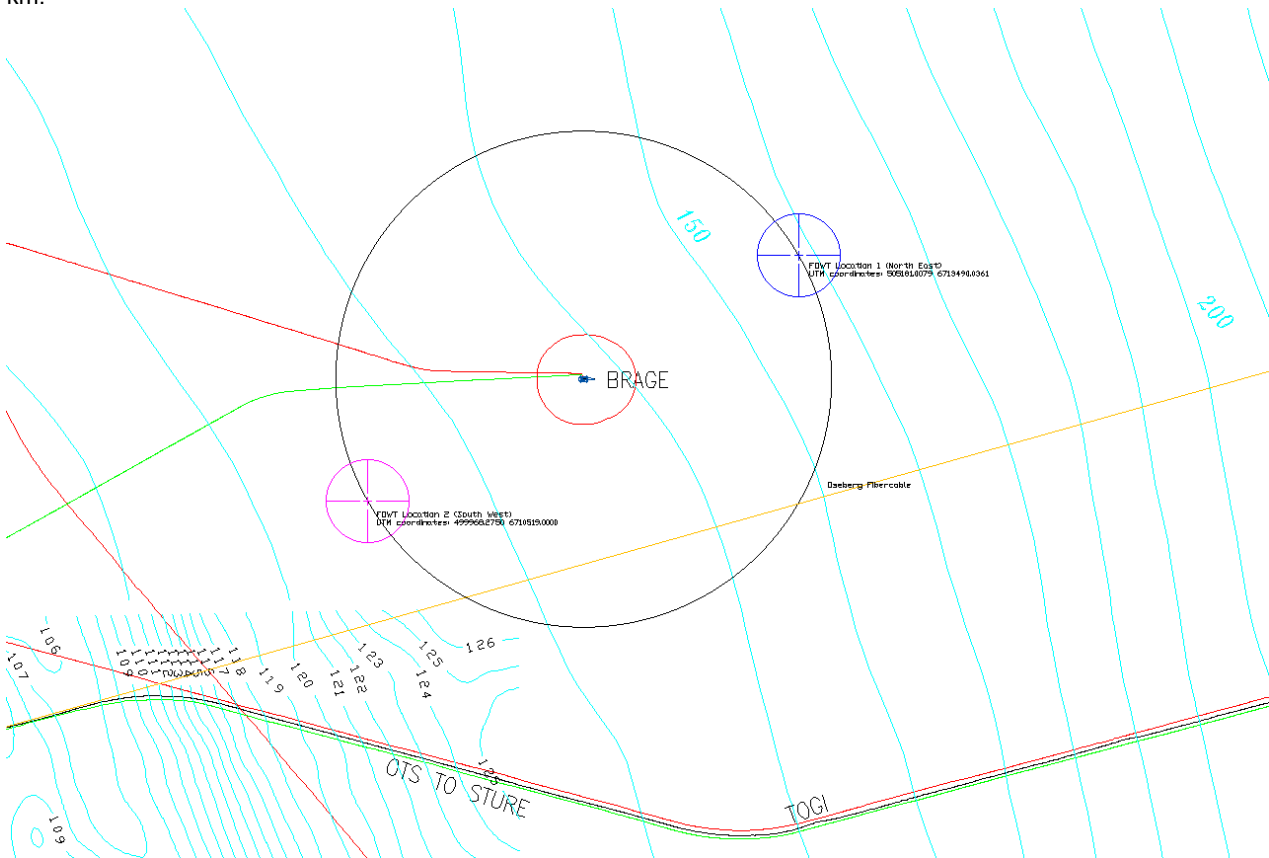
Ettersom maksimal drivedistanse så lenge minst en ankerline er intakt vil begrenses til ca. to ankerlinelengder (ca. 2000 m), vil et kritisk ankerlinebruddscenario, i forhold til risiko for kollisjon med Brage-plattformen, først oppstå når samtlige ankerliner er brutt.

Som beskrevet ovenfor, vil strekket i øvrige ankerliner gå ned ved brudd på et ankerlinepar og ytterligere ned ved at et nytt ankerlinepar ryker. Sannsynlighet for et kritisk ankerlinebrudd, dvs. brudd på samtlige seks ankerliner, vil være betydelig lavere enn for brudd i begge ankerliner i ett par. Gitt at det forekommer et dobbelt ankerlinebrudd i ett par, så vil det være en betinget sannsynlighet for tap av først andre og siden tredje ankerlinepar. Denne betingede sannsynligheten vil trolig styres av fellesfeil («common cause failures»). Ettersom det er antatt at alle liner er dimensjonert tilstrekkelig for å holde vindturbinen i posisjon under alle forutsette vind-/bølge-/strøm-scenarier, og at ankerlineinnfestninger både mot anker og vindturbin er designet for å kunne rotere, vurderes det som konservativt å benytte en betinget sannsynlighet på 0,1.

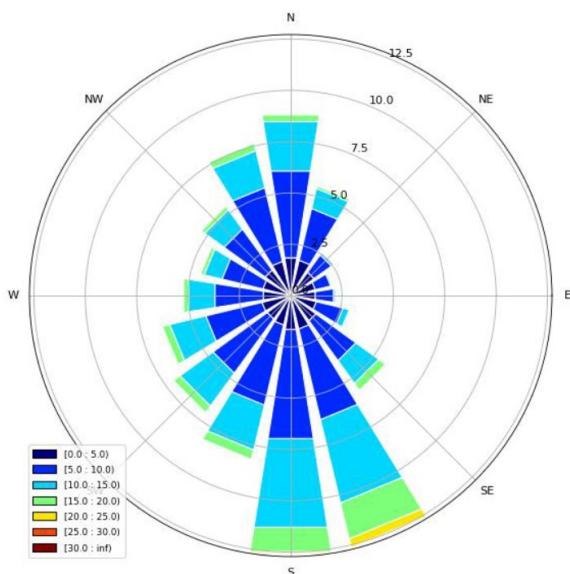
**En frekvens på  $1 \cdot 10^{-4}$  pr. år for et kritisk ankerlinebrudd,  $f_1$ , vurderes derfor som et konservativt estimat.**

### 3 SANNSYNLIGHET FOR KRITISK DRIVERETNING

Det vurderes to mulige lokasjoner for vindturbinen relativt til Brage-innretningen, se Figur 3-1, en posisjon sørvest for innretningen og en posisjon i retning øst-nordøst. Avstanden fra innretningen til vindturbinen vil i begge tilfeller være 3 km.



Figur 3-1 Felt-layout som viser Brage-innretningen og to mulige posisjoner for vindturbin (blått og rosa kors), som begge ligger i en avstand på 3 km fra Brage.



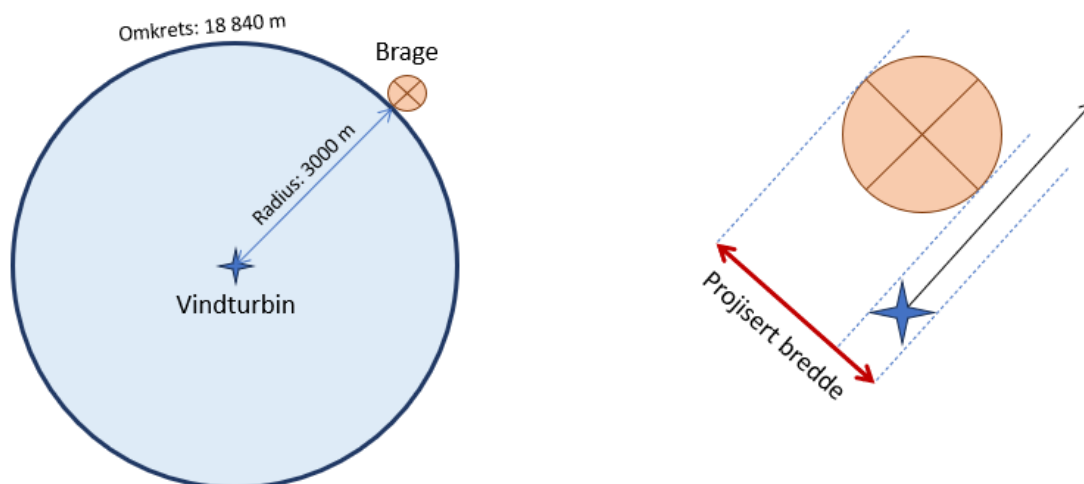
Figur 3-2 Vindrose

Sannsynligheten for at vindturbinen ved tap av forankring driver i retning av innretningen er vurdert basert på årlig vindrose, se Figur 3-2. Vindrosen viser at dersom vindturbinen er forankret sørvest for Brage-innretningen så er sannsynligheten for vind i sektoren som kan medføre at turbinen driver mot Brage tilsvarende omtrent et retningsuavhengig årsgjennomsnitt. Dersom vindturbinen er forankret øst-nordøst for Brage-innretningen, så er sannsynligheten for vind i sektoren som kan medføre at turbinen driver mot Brage omtrent en faktor 3 lavere enn et retningsuavhengig årsgjennomsnitt.

Ved en radius på 3 km, distansen mellom vindturbinen og Brage, vil omkretsen til en sirkel rundt vindturbinen være ca. 19 km [ $2\pi r$ ], se Figur 3-3. Vindturbinens projiserte bredde vil være avhengig av orienteringen, og kan variere mellom 53 m og 205 m, eller helt opp til 236 m dersom turbinen roterer.

Om det antas at Brage-innretningen og vindturbinen til sammen gjennomsnittlig har en projisert bredde i størrelsesorden 245 m, og vindturbinen begynner å drive fra opprinnelig posisjon, så ville sannsynligheten for å drive i en retning som ville gi kollisjon med Brage, gitt at vindretningen er vilkårlig, være 1,3 %.

Det vil imidlertid være et helt usannsynlig scenario at alle ankerfester skulle tapes akkurat samtidig fra opprinnelig posisjon.



**Figur 3-3 Tegning av Brage og vindturbin med dimensjoner, og tegning av projisert bredde for kollisjon**

De følgende vurderingene er basert på plassering av vindturbinen sørvest for Brage. Men, uansett hvilken lokasjon som velges (3000 m fra Brage), er det antatt at ett ankerlinepar vil peke i retning bort fra Brage-plattformen, og de videre vurderingene vil generelt være gyldige..

Et scenario som kan ha potensiale til å bli kritisk vil kunne oppstå når vind/bølger/strøm søker å bevege vindturbinen i retning mot plattformen. Utvikling av scenariet vil da begynne med tap av ankerlinene som peker bort fra plattformen.

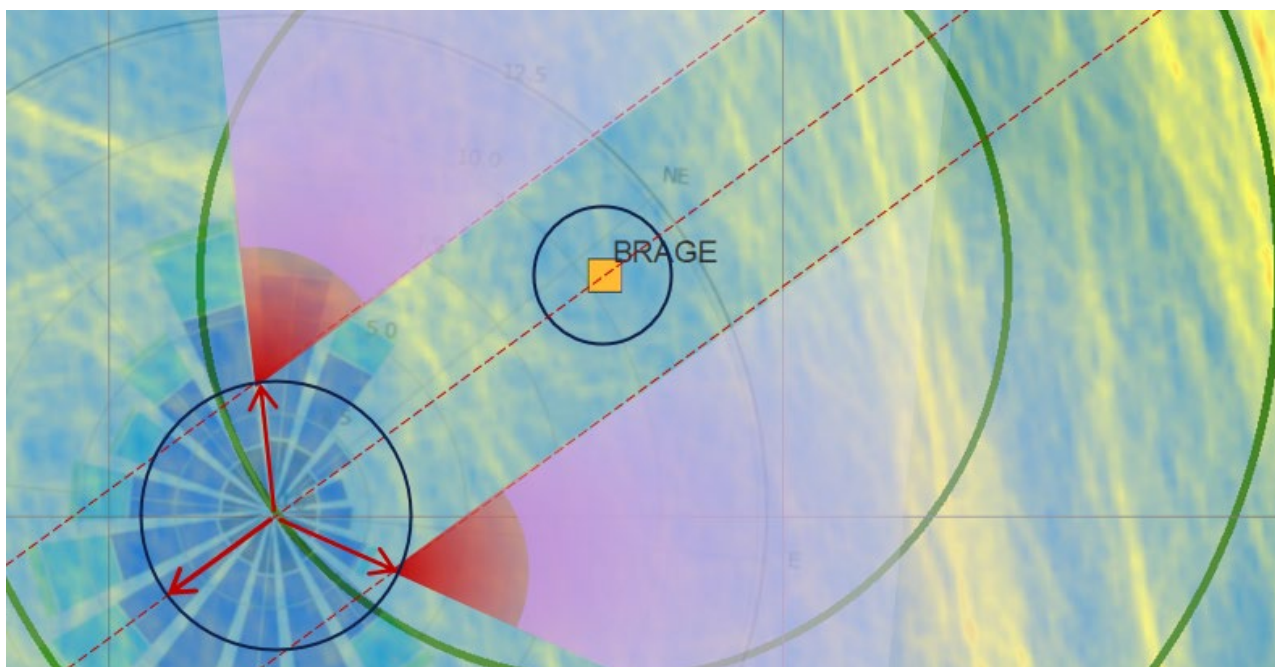
Vindturbinen vil da søke mot en likevektsposisjon omtrent som illustrert i Figur 2-3.

Dersom vindretningen er sammenfallende med retningen fra vindturbinen til Brage-plattformen, vil strekket i de to gjenværende ankerlineparene være tilnærmet det samme. Det vurderes allikevel som helt usannsynlig at begge disse ankerlineparene skal ryke på eksakt samme tidspunkt. Dermed forventes det at vindturbinen etter et eventuelt tap av ankerlinepar nummer to, igjen vil søke mot en ny likevektsposisjon, denne gang omtrent som illustrert i Figur 2-4, men med gjenværende ankerlinepar parallelt med opprinnelig retning fra vindturbinen mot plattformen.

Gjenværende ankerfeste (C eller B i Figur 2-2 til Figur 2-4) vil da ligge 850 m til 900 m fra linjen mellom vindturbinens original-posisjon og Brage-plattformen. Dersom også det siste ankerlineparet ryker, vil vindturbinen mest sannsynlig drive på en kurs som passerer godt utenfor Brage-plattformens sikkerhetssone.

Dersom vindretningen avviker fra retningen fra vindturbinen til Brage-plattformen, vil strekket være størst i det ankerlineparet som har ankerfeste lengst opp mot vinden. Dersom dette ankerfestet tapes, vil vindturbinen finne ny likevekt på le-side av det siste ankerfestet, vist som røde sektorer i Figur 3-4. Dette vil være et utgangspunkt som er mer gunstig med tanke på å unngå kollisjon enn om vindretningen er sammenfallende med retningen fra vindturbinen til Brage-plattformen, som beskrevet i avsnittet ovenfor.

Ved en vilkårlig, men relativt konstant vindretning i sektoren mellom ØSØ og VNV etter at andre ankerlinepar er tapt, vil vindturbinen drive i en av de to rosa sektorene vist i Figur 3-4 dersom også siste ankerlinepar tapes. Som det fremgår av figuren, vil forventede drivbaner gå godt klar av sikkerhetssonen rundt Brage (indikert med blå sirkel).



**Figur 3-4 Potensielle drivesektorer for vindturbinen ved vind mellom ØSØ og VNV.**

Forutsetninger for at vindturbinen skal treffe Brage-plattformen hvis den har mistet alle ankerfester, må tilfredssette ett av følgende sett:

1. Siste ankerlinepar som tapes, må være det som har forankringspunkter på eller nær en linje direkte mot Brage med retning langs resulterende vind/bølge/strømkrefter.
2. Vinden må ha retning fra likevektsposisjon mellom de to ankerlineparene, og disse må ryke akkurat samtidig.
3. Vinden må dreie akkurat så mye og i ugunstig retning etter at nest siste ankerfeste er tapt, slik at vindturbinens drivbane treffer Brage.

Samlet sannsynlighet for alle ovenfor nevnte scenarier vil være betydelig mindre enn at vindretningen vilkårlig skulle lede vindturbinen til kollisjon med Brage, og som ovenfor er estimert til 1,3 %.

**Sannsynlighet for at vindturbinen driver i retning av innretningen etter et kritisk ankerlinebrudd er  $P_2 < 1,3 \%$ .**



Konservativt kan det derfor fastslås at forventet årlig frekvens for at vindturbinen driver på kurs mot Brage vil være mindre enn  $1,3 \cdot 10^{-6}$  ( $f_1 \cdot P_2$ ).

## 4 SANNSYNLIGHET FOR Å AVVERGE KOLLISJON

Det er ikke kjent hvilke tilgjengelige midler og muligheter man vil ha for å kunne gripe inn i situasjonen og avverge kollisjon. Et større beredskapsfartøy eller forsyningskip vil trolig kunne endre kursen for en drivende vindturbin. Med den lave forventede frekvensen for kollisjon mellom vindturbinen og Brage, er det lite trolig at et slikt scenario vil legges til grunn for dimensjonering av beredskapen. Derfor er det i denne vurderingen heller ikke tatt hensyn til muligheten for å avverge kollisjon dersom vindturbinen driver mot Brage ( $P_3 = 1$ ).

## 5 SANNSYNLIGHET FOR VARSLING OG EVAKUERING

For å kunne evakuere innretningen må man først detektere hendelsen og varsle Brage-innretningens kontrollrom. Det er spesifisert at det skal være monitorering av strekk i alle ankerliner. I tillegg forventes det at tap av strekk i en line vil resultere i en forflytning av vindturbinen som er tilstrekkelig for å detektere tap av posisjon ved hjelp av GPS.

Det legges til grunn at denne informasjonen vil være tilgjengelig for Brage-innretningens kontrollrom og/eller en sentral overvåkningstjeneste (f.eks. Equinor Marine) som vil varsle Brage-innretningens kontrollrom.

Dersom nødvendige midler er tilgjengelige, for monitorering av både ankerline-strekk og GPS-posisjon (eller andre uavhengige deteksjonssystemer), og at disse vil gi automatisk varsling i Brage-innretningens kontrollrom, så er det vurdert at sannsynlighet for at feil i detektering og varsling av hendelsen vil være ubetydelig, gitt den lave frekvensen for slike hendelser.

Dersom innretningen varsles om hendelsen, vil sannsynligheten for å kunne gjennomføre en kontrollert og sikker evakuering avhenge av tiden det tar for turbinen å drive helt fram til Brage-innretningen. Dette vil igjen avhenge av vindturbinens drivehastighet. For fartøy som driver legger man til grunn at drivehastigheten påvirkes mest av vindhastighet, og man benytter gjerne en faktor på 5 % for drivehastighet sammenlignet med vindhastighet. Det er ikke gjort detaljerte beregninger av hvordan vindturbinen vil oppføre seg når den driver.

Ifølge vindrosen er det imidlertid helt usannsynlig at vindstyrken i ugunstig retning skal overskride 20 m/s. I ca. 7 % av tiden vil vindstyrken være mellom 15 og 20 m/s. Gitt en drivehastighet på 1 m/s, som tilsvarer 5 % av en vindhastighet på 20 m/s, så vil det ta 50 minutter eller mer for vindturbinen å drive 3000 m. Dette er i samme størrelsesorden som man ofte benytter for varsling av skip på kollisjonskurs.

Gitt en slik drivehastighet er det derfor vurdert at det er meget høy sannsynlighet for at innretningen vil kunne gjennomføre en kontrollert og sikker evakuering før kollisjonen inntreffer, dersom mønstring og evakuering iverksettes umiddelbart ved tap av ett ankerlinepar. Sannsynligheten for at tiden vil være for knapp for kontrollert og sikker evakuering vil da være svært lav, og  $P_4 = 1$  % antas å være et konservativt estimat.

I ca. 29 % av tiden, vil vindstyrken være mellom 10 og 15 m/s. En drivehastighet på 5 % av vindhastigheten, vil tilsvare mellom 0,5 og 0,75 m/s. Fra likevektsposisjonen etter at første ankerlinepar er tapt, vil avstanden til Brage være ca. 2000 m, og forventet drivetid mellom 45 og 67 minutter. Antatt en tilnærmet lineær fordeling, vil det i ca. ¼ av disse tilfellene innebære mindre enn 50 minutter for vindturbinen å drive 2000 m.

Hvis mønstring og evakuering iverksettes først ved tap av andre ankerlinepar, og siste gjenværende ankerlinepar ikke i vesentlig grad reduserer gjennomsnittlig drive hastighet, vurderes  $P_4 = 7 \% + \frac{1}{4} \cdot 29 \% \approx 15 \%$  å være et rimelig estimat.

**Hvis mønstring og evakuering iverksettes ved deteksjon av ankerlinebrudd i kombinasjon med forventet vindstyrke 10 m/s eller mer mot Brage, så kan  $P_4 = 1$  % benyttes. Hvis ikke, bør  $P_4 = 15$  % benyttes.**

## 6 DISKUSJON

Det er ikke gjort en detaljert vurdering av potensiell konsekvens av at vindturbinen kolliderer med Brage. Vurderingene er begrenset til en overordnet vurdering av årlig frekvens for ankerlinebrudd og sannsynlighetene for en hendelseskjede som fører til kollisjon før man har fått gjennomført en kontrollert og sikker evakuering av Brage.

Hendelsesstatistikk for petroleumsinnretningene er vurdert som relevant og den beste tilgjengelige, siden det ikke finnes tilsvarende for vindturbiner. Fysiske forskjeller samt forskjell i returperioder for ulykkeslaster er ikke vurdert å være viktig i denne sammenheng, siden dette blir kompensert med andre sikkerhetsfaktorer for å oppnå et gitt sikkerhetsnivå.

Dersom det legges til grunn en årlig frekvens for kritisk linebrudd,  $f_1$ , lik  $1 \cdot 10^{-4}$ , samtidig med en sannsynlighet for at værkreftene er slik at vindturbinen driver i retning av Brage,  $P_2$ , lik 0,013, så vil den årlige frekvensen for å eksponere Brage for en drivende vindturbin være ca.  $1,3 \cdot 10^{-6}$ , dersom vindturbinen er lokalisert sørvest for innretningen.

Dersom vindturbinen er lokalisert øst-nordøst for innretningen kan den årlige frekvensen være omtrent en faktor 3 lavere. Dette forutsetter imidlertid at ikke større fiskeriaktivitet i dette området gir så mye høyere frekvens for linebrudd at det helt eller delvis «bruker opp» den fordelene gunstigere plassering i forhold til vindretning gir. I vedlegget er det et plott som viser fiskeriaktivitet rundt Brage i perioden 2013 til 2022, hvor det går frem at en vindturbin med forankringssystem vil vesentlig mer eksponert øst for Brage enn i en posisjon sørvest for Brage.

Oppfølgingsaksjoner ved eventuell monitorering av et ankerlinebrudd kan potensielt gi en reduksjon i forventet frekvens for kritisk ankerlinebrudd (tap av samtlige ankerliner), men dette er ikke forsøkt kvantifisert eller tatt hensyn til i denne vurderingen.

Sannsynlighetene for å gripe inn og avverge kollisjon er ikke vurdert i detalj, så sannsynlighet for at man ikke klarer å gripe inn i situasjonen for å avverge kollisjon,  $P_3$ , er antatt lik 1.

Avhengig av mønstrings- og evakueringsfilosofi, anbefales det å benytte en sannsynlighet for ikke å iverksette evakuering i tide,  $P_4 = 15\%$ , eller  $P_4 = 1\%$ , se avsnitt 5 ovenfor.

### Konklusjon:

**Forventet årlig frekvens for hendelser der det ikke vil være tilstrekkelig tid for en kontrollert evakuering før kollisjon mellom vindturbin fra posisjon sørvest for Brage og Brage-innretningen er estimert til  $2 \cdot 10^{-7}$ . Med en mer konservativ mønstrings- og evakuerings-filosofi, kan forventet frekvens reduseres ytterligere en størrelsesorden.**

### 6.1 Anbefalinger

Følgende aktiviteter anbefales vurdert for å styrke validitet av vurderingene ovenfor samt forberede for drift:

1. Vurdere Mønstrings- og evakueringsfilosofi relatert til «drivende vindturbin»
2. Verifisere at ankerlineinnfestninger både mot anker og vindturbin kan rotere fritt
3. Verifisere at ett ankerlinepar kan peke rett fra innretningen
4. Etablere systemer for monitorering av ankerlinebrudd
5. Etablere følgende rutiner/aksjoner for oppfølging ved monitorering av ankerlinebrudd:
  - å dra ut å gjøre en visuell observasjon
  - utføre forbedring/reparasjon (før man får kritisk ankerlinebrudd)
6. Identifisere tilgjengelige midler for å gripe inn og stoppe en drivende vindturbin og/eller endre kursen slik at kollisjon kan avverges. Vurdere sannsynlighet for at disse midlene er tilgjengelige og fungerer som nødvendig ved behov.

Følgende aktiviteter kan vurderes for å styrke validitet av vurderingene ovenfor:

1. Gjøre en detaljert beregning av projisert bredde for kollisjon.
2. Modellere vindturbinens drivehastighet, og dermed tid tilgjengelig for å detektere og varsle innretningen, samt gjennomføre kontrollert og sikker evakuering.
3. Gjøre grundigere vurderinger av ulike potensielle konsekvensomfang av en kollisjon mellom vindturbinen og Brage-innretningen. Dersom det er ulike potensielle alvorlighetsgrader så kan man vurdere betingede sannsynligheter for disse. Et aspekt som kan påvirke alvorlighetsgrad kan f.eks. være hvorvidt vindturbinens rotor er stillestående eller roterer.

## 7 ALTERNATIV PLASSERING

Det vurderes en plassering av vindturbinen NØ eller ØNØ for Brage, med avstand mindre enn 3000 m.

Ved bruk av kjetting i stedet for fibertau, forventes det at en god forankring kan oppnås i 150 m vandndyp med ankerlinelengder som er betydelig kortere enn 1000 m.

Hvis man tar utgangspunkt i at «den frie korridoren» mellom drivesektorene i Figur 3-4 skal ha en minimum bredde på 1100 m (tilsvarende en projisert bredde for Brage på 100 m pluss 500 m sikkerhetssone på begge sider), bør «anker-radiusen» for vindturbinen imidlertid være minst 635 m ( $(2 \cdot \cos 30^\circ)^{-1} \cdot 1100$  m).

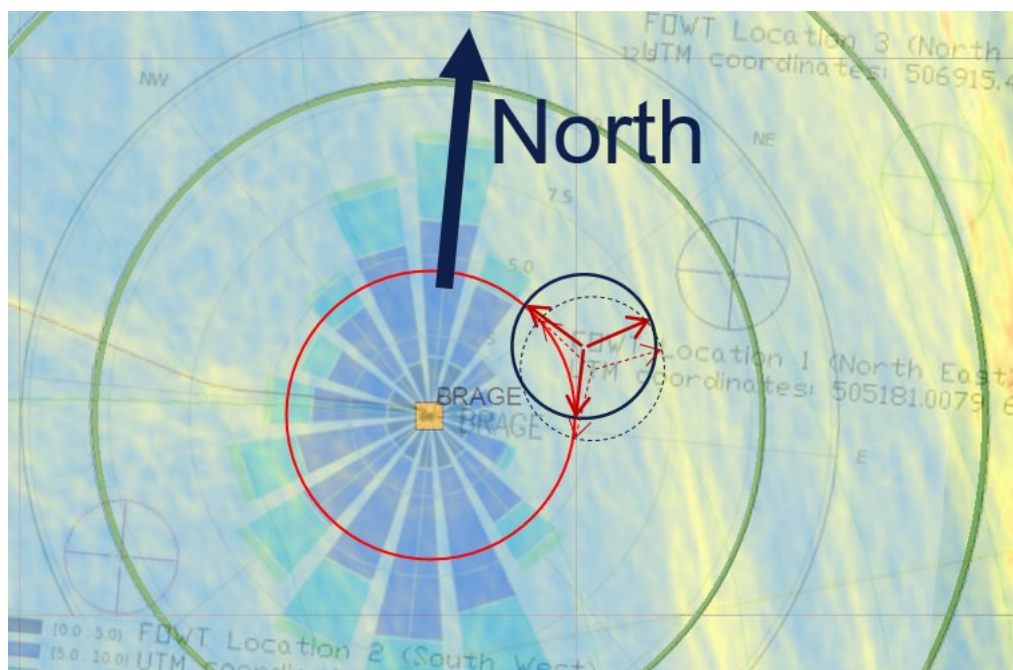
Ankerlineinnfestningene på vindturbinen har en «ekvivalent diameter» på ca. 55 m. Horisontal avstand mellom innfestningene på vindturbinen og på ankrene bør derfor være minst 610 m.

I de følgende vurderingene forutsettes en «ankerradius» på 650 m og en maksimal hypotetisk horisontal «rekkevidde» for vindturbinen rundt et anker på 700 m.

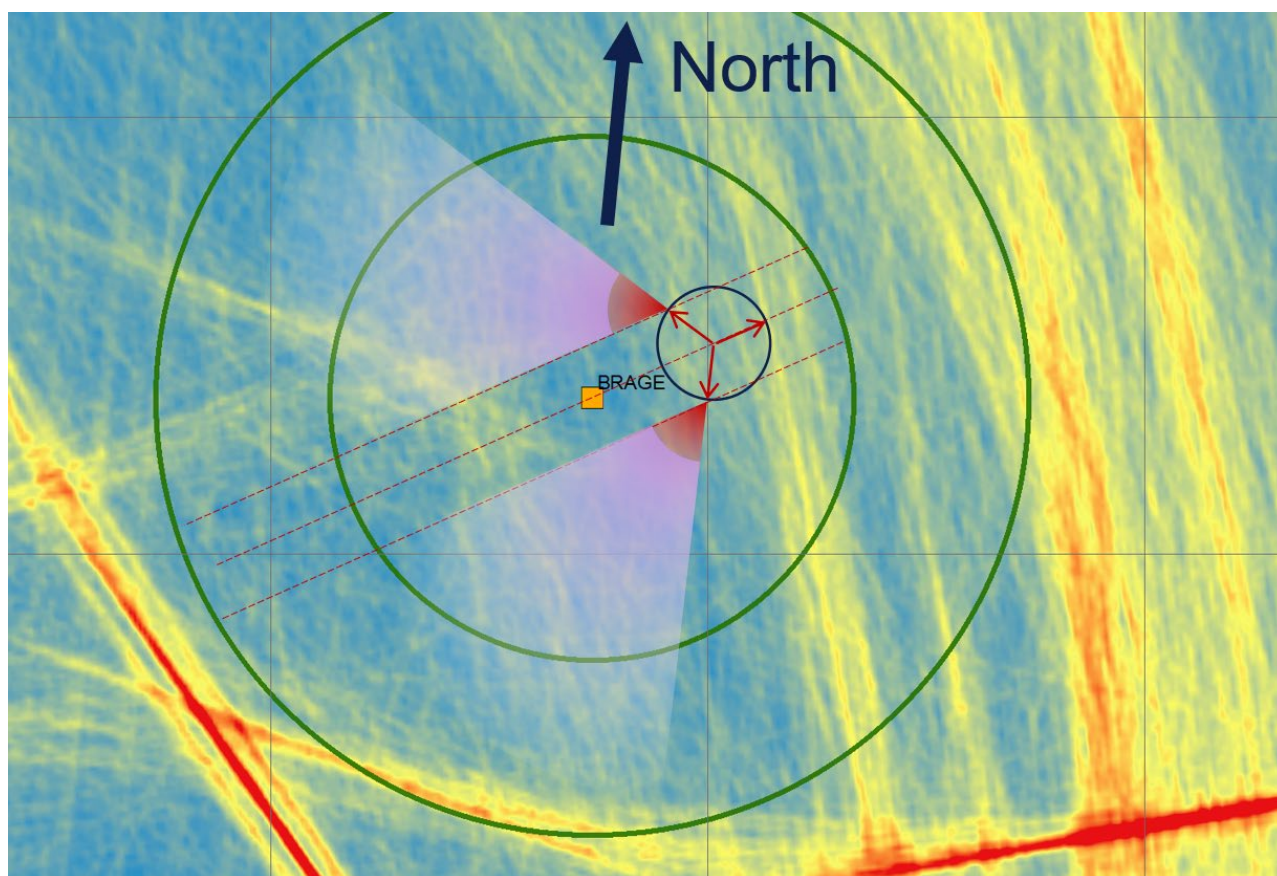
Dersom flammetårnet på Brage strekker seg ca. 100 m mot ØNØ, og vindturbinen med et gjenværende ankerfeste kan «sveipe» opp mot 700 m fra ankerfestet, og man fortsatt skal ivareta en sikkerhetssone på 500 m, kan det ikke anbefales at vindturbinens ankere festes nærmere senter av Brage enn 1300 m. Dette er illustrert med rød sirkel i Figur 7-1. I figuren er også vist en mulig plassering av en vindturbin med «ankerradius» på 650 m, vist med en mørkeblå sirkel. Denne plasseringen er i samme retning fra Brage som «Location 1» (opprinnelig foreslått mulig plassering 3 km nordøst for Brage, ref. Figur 3-1), men på en sirkel rundt Brage med diameter rett under 1500 m (omtrentlige koordinater: ED50, UTM 31: E503875 N6712746; UTM 32: E175056 N6727404).

Når avstanden til Brage halveres, vil samlet bredde (Brage + vindturbin) utgjøre en dobbelt så stor andel av hele periferien. Samtidig er sannsynligheten for vind fra ØNØ ca.  $\frac{1}{3}$  av sannsynligheten for vind mot Brage fra posisjonen vurdert i kapitlene 2 til 6 ovenfor. Slik sett er sannsynligheten for å drive i kritisk retning fra 1500 m ØNØ omlag  $\frac{2}{3}$  av sannsynligheten for å drive i kritisk retning fra 3000 m SV. Forventet vindstyrke fra ØNØ er betydelig mindre enn fra SV, noe som vil være gunstig med tanke på drivehastighet. Men tiden til eventuell kollisjon kan ikke antas å øke, når avstanden er den halve. Lavere vindhastighet og drivehastighet vil imidlertid gi bedre forutsetninger for eventuelt å kunne avverge en kollisjon.

Figur 7-1 viser også en litt annen alternativ plassering med stiplede linjer, enda nærmere ØNØ for Brage. Denne posisjonen samstemmer med den retningen det blåser aller minst fra mot Brage. Bare 2 % av tiden blåser det fra denne retningen, og i mer enn halvparten av denne tiden blåser det under 5 m/s, ellers mellom 5 og 10 m/s. Med tanke på vindretning isolert sett, er det sektoren mellom øst og øst-nordøst som vil være mest gunstig. Altså noe lenger sør enn den foreslåtte «Location 1».



Figur 7-1 Vurdert alternativ plassering av vindturbinen ved Brage, samt ytterligere et alternativ. Rød sirkel 1300 m fra Brage (koordinatpunkt), grønne sirkler 3 km og 5 km fra Brage, blå sirkel 650 m fra vindturbin (senter).



Figur 7-2 Alternativ plassering med potensielle drivesektorer for vindturbinen ved vind mellom N og SØ



**Side 13 av 15**

I tillegg til at sannsynligheten for vind fra Ø og ØNØ er vesentlig lavere enn for alle andre retninger, er også gjennomsnittlig vindhastighet lavere. Belastningene på forankringssystemet vil derfor være mindre ved vind fra sektoren mellom øst og øst-nordøst enn for andre vindretninger. Dette betyr videre at feilkategorier relatert til overbelastning vil være betydelig mindre sannsynlig når det blåser fra disse retningene enn ellers. Denne reduksjonen i andelen av ankerlinebrudd som vil gjelde når det blåser fra Ø eller ØNØ, er ikke kvantifisert.

De gule feltene på i Figur 7-1 og Figur 7-2 indikerer middels tetthet av fiskefartøy, røde høy tetthet og blå lav tetthet. Registrert fiskefartøys-aktivitet er høyere i området mellom 1500 m og 3000 m fra Brage i retning mot «Location 1». Plassering i denne retningen i avstand 2000 m eller 2500 m vil derfor trolig ikke være optimal med tanke på fiske.

Som det fremgår av figuren, er det en viss fiskeriaktivitet der den alternative plasseringen er vist, og omlag den samme ved en eventuell plassering ca. 1½ km lenger øst (litt i overkant av 3 km fra Brage-innretningen).

Potensielle drivesektorer for vindturbinen ved alternativ plassering og vind mellom N og SØ er vist i Figur 7-2. Disse er basert på en «ankerradius» på 650 m og plassering 1500 m fra senter av Brage, og tilsvarende vurderinger som gjort i kapitlene 2.2 og 3, for etablering av drivesektorene vist i Figur 3-4.

For den alternative plasseringen vil det kreves en større vinddreining for at vindturbinen skal komme på kollisjonskurs med Brage etter tap av siste ankerfeste, enn tilfellet er for plasseringen i SV vurdert i de foregående kapitlene. Samtidig vil kollisjonsbredden (Brage + vindturbin) utgjøre en større vinkelsektor på grunn av den reduserte avstanden. Samlet antas disse faktorene til en viss grad å utlikne hverandre, men potensielt svakt i disfavør av den alternative plasseringen.

**Konklusjon:**

**Det forutsettes analyser som verifiserer at «anker-radius» på 650 m gir fullt tilfredsstillende forankring.**

**Med en «anker-radius» på 650 m og de to nærmeste ankrene 1300 m fra senter av Brage, vil vindturbinen kunne ligge ca. 1500 m fra Brage. Vurderingene viser at det kun gir marginal endring av risikoen å ligge 1500 m NØ, og mest sannsynlig i favør av denne, sammenliknet med 3000 m fra Brage i SV.**

Vurderingene gir grunn til å forvente en årlig frekvens for hendelser der det ikke vil være tilstrekkelig tid for en kontrollert evakuering før kollisjon mellom vindturbin fra posisjon øst til øst-nordøst for Brage og Brage-innretningen på i størrelsesorden  $10^{-7}$ . Med en konservativ mønstrings- og evakuerings-filosofi, kan forventet frekvens reduseres ytterligere en størrelsesorden. Dette kan innebære at mønstring iverksettes ved tap av ett ankerline-par dersom vinden blåser mot Brage med en styrke som vil drive vindturbinen til Brage i løpet av 50 minutter eller mindre.

Med hensyn kun til vindrose (retning og styrke) vil en plassering i sektoren øst til øst-nordøst for Brage være den gunstigste. Jo større avstand, jo gunstigere i forhold til risiko for kollisjon mellom vindturbin og Brage-innretningen. Men en plassering i denne sektoren minst 1500 m fra Brage-innretningen vil være like gunstig eller bedre enn en plassering 3000 m unna i en hvilken som helst annen retning.

Anbefalingene gitt i kapittel 6.1 er gyldige også for alternativ plassering.

## 8 REFERANSER

- /1/ Electrification of Brage Platform, FOWT Installation Method Statement Doc. No: 4524-FWS-J-SA-00012 Rev.B
- /2/ Electrification of Brage Platform, FOWT Preliminary Design Report, Doc. No: O05-RP-STR-1701-00 Rev.C1
- /3/ DNVGL. "NorMoor JIP Phase II: Empirical Frequency of Mooring Line Failures". Høvik: DNV GL; 2015 11-09. Report No.: DNV GL Report no.: 2015-0711, rev. 1.
- /4/ Petroleumstilsynet (2023). Risikonivå i petroleumsvirksomheten, Hovedrapport 2022.
- /5/ Petroleumstilsynet (2014). Anchor line failures- Norwegian Continental Shelf - 2010-2014, Rapportnr. 992081, 21.8.2014
- /6/ DNV Standard DNV-ST-0119, Floating wind turbine structures, Edition June 2021

### Vedlegg: Vindturbin SV for Brage m/fiskeriaktivitet, vindrose

Plott som viser fiskeriaktivitet rundt Brage i perioden 2013 til 2022. Grønne sirkler viser hhv 3 km og 5 km fra Brage. Liten blå sirkel indikerer sikkerhetssonen på 500 m rundt Brage. Røde piler mot større blå sirkel indikerer antatt posisjon av ankrene rund vindturbinen. Gitt vind fra sektoren mellom SSØ og VNV, viser røde sektorer forventet posisjon for vindturbin med ett gjenværende ankerfeste. Rosa sektorer viser forventede sektorer for en drivende vindturbin.

