




Universitetet  
i Stavanger

DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

## MASTEROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering:  Risikostyring	Vårsemesteret, 2018  Åpen
Forfatter: Daniel Tran	 (signatur forfatter)
Fagansvarlig: Førsteamanuensis Roger Flage, Universitetet i Stavanger (UiS)	
Veileder(e): Tore Askeland, Statens vegvesen (SVV)	
Tittel på masteroppgaven: Ferjefri E39 – En metode for risikovurdering av luftfartøykollisjon mot flytebru over Bjørnafjorden	
Engelsk tittel: Ferry-free E39 – A method for risk assessment of aircraft crash into a floating bridge over Bjørnafjorden	
Studiepoeng: 30	
Emneord: Risikostyring Risikovurdering Ferjefri E39 Bjørnafjorden Flytebru Luftfartøykollisjon	Sidetall: 89  + vedlegg/annet: 16  Stavanger, 15. juni 2018

# Forord

Denne masteroppgaven markerer slutten på min utdanning til sivilingeniør i Risikostyring ved Universitet i Stavanger (UiS). Oppgaven er utført våren 2018 for Statens vegvesen (SVV) sitt prosjekt "Ferjefri E39". Prosjektet består av flere delprosjekter som hver har sine utfordringer. Ett av delprosjektene heter «risikostyring og teknologikvalifisering», og tar for seg risikostyringsprosessene som må til for å gjennomføre et vellykket prosjekt. Det er for «delprosjekt risikostyring og teknologikvalifisering» denne oppgaven skrives.

Proessen har vært utfordrende og lærerik. Emnet er veldig interessant og aktuelt for min studieretning, og jeg er takknemlig for muligheten til å se hvordan teorien jeg har tilegnet meg i løpet av disse årene kan brukes i praksis.

Først vil jeg takke min veileder fra UiS, førsteamanuensis Roger Flage, for utmerket veiledning og tilbakemeldinger. Jeg ønsker også å takke ekstern veileder fra SVV, Tore Askeland, for verdifulle innspill og hjelp med å finne et interessant tema og problemstilling for masteroppgaven. Dere er begge meget dyktige, og har fått meg på rett spor når jeg har gått meg vill.

I tillegg er jeg veldig takknemlig overfor de ansatte på fjordkryssingsavdelingen for godt arbeidsmiljø og interessante samtaler i pausen. Sist, men ikke minst, vil jeg takke prosjektleder for fjordkryssingsprosjektet fra SVV, Mathias Eidem, som har vært veldig imøtekommende med tanke på organisering av oppgaven, og behjelpelig med spørsmål gjennom hele prosessen.

A handwritten signature in black ink, reading "Daniel Tran". The signature is stylized with a large, looping initial 'D' and a long horizontal stroke at the end. A dashed horizontal line is drawn below the signature.

Daniel Tran

Stavanger, 15. juni 2018

# Sammendrag

Statens vegvesen sitt veiprojekt «Ferjefri E39» har som mål å oppnå en ferjefri strekning langs E39 på Vestlandskysten. I forbindelse med prosjektet Ferjefri E39 skal det bygges en bru over Bjørnafjorden, som ligger sør for Bergen lufthavn Flesland. Oppgavens problemstilling har vært å se på hendelsen luftfartøykollisjon mot bru. Med hjelp av en egenutviklet modell for kvantifisering av den årlige kollisjonsfrekvensen for luftfartøy mot Bjørnafjorden bru, forsøkt å besvare om luftfartøykollisjon må tas hensyn til i dimensjoneringen av bruene. Ifølge Håndbok N400 Bruprosjektering, utgitt av Statens vegvesen, kan hendelser som har en lavere sannsynlighet enn  $10^{-4}$  per år sees bort fra i dimensjoneringen av bruene (Statens vegvesen, 2015).

Funnene fra årsaksanalysen viser at metrologiske forhold har størst påvirkning på kollisjonsfrekvensen for luftfartøy. I tillegg oppstår luftfartøykollisjoner ofte i sammenheng med en rekke regelbrudd, feilkommunikasjon, samt mangelfull risikobedømmelse.

Resultatene indikerer at den totale årlige kollisjonsfrekvensen for luftfartøy mot Bjørnafjorden bru er lavere enn akseptkriteriet. Dermed trenger ikke hendelsen luftfartøykollisjon tas hensyn til i dimensjoneringen av bruene. Grunnen til at den årlige kollisjonsfrekvensen ikke overstiger akseptkriteriet er fordi bruene kommer til å ligge såpass langt borte slik at flyplassrelaterte aktiviteter har neglisjerbar bidrag. Imidlertid er det store usikkerheter i resultatet på grunn av begrensninger i den anvendte modellen, antagelser som har blitt gjort i analysen, samt det lange tidsaspektet i risikoanalysen. Det sistnevnte gjør at flere av parameterne, som har blitt brukt i modellen til å beregne kollisjonsfrekvensen for luftfartøy mot Bjørnafjorden bru, usikre.

## English summary

The Norwegian Public Road Administration (NPRA) aims to achieve a ferry-free stretch along the E39 on the western coast of Norway «Ferry-free E39». With the Ferry-free E39 project, there are plans to construct a bridge that will cross over the fjord "Bjørnafjorden", which lies south of Bergen airport. This thesis aims to develop a quantitative risk assessment method of aircraft crash into the bridge crossing over Bjørnafjorden to find out if its necessary to design the bridge to withstand aircraft collisions. According to the manual "N400 Bruprosjektering", published by the NPRA, events with a probability of occurring lower than the risk acceptance criteria of  $10^{-4}$  per year may be disregarded in the design of the bridge (Statens vegvesen, 2015).

The findings from the accident cause analysis show that meteorological conditions have the most significant impact on aircraft collision frequency. Furthermore, aircraft accidents often occur due to regulatory oversight, miscommunication, and inadequate risk assessment.

The results indicate that the aircraft collision frequency into the Bjørnafjord bridge is lower than the risk acceptance criterion, and therefore it is not required to design the bridge to withstand an aircraft collision. The reason why the annual aircraft crash collision frequency does not exceed the acceptance criterion is that the bridge will be located far away from the airport that airport-related activities have negligible contributions. However, there are significant uncertainties related to the result due to limited background knowledge in the aviation industry, as well as the long-term aspect of the risk analysis. The latter means that several of the parameters, which have been used in the model to calculate the aircraft collision frequency into Bjørnafjorden bridge, uncertain.

# Innhold

1	Introduksjon.....	1
1.1	Bakgrunn og formål med oppgaven.....	1
1.2	Problemstilling og mål.....	3
1.3	Omfang og avgrensninger.....	4
1.4	Strukturen i oppgaven.....	5
2	Teori.....	6
2.1	Definisjoner og beskrivelse av risiko.....	6
2.2	Usikkerhet.....	9
2.3	Sannsynlighet og frekvens.....	9
2.3	Risikostyring, risikovurdering og risikoanalyse.....	13
2.4	Evaluering av mulige kollisjonsmodeller.....	16
3	Metode.....	25
3.1	Dokumentanalyse.....	26
3.2	Internettbasert innholdsanalyse.....	27
3.3	Litteraturstudie.....	28
3.4	Datakilder for ulykkesdata og datagrunnlag.....	29
3.5	Oversikt over risikovurderingen.....	36
4	Beskrivelse av analyseobjekt – Bjørnafjorden bru og lufttrafikken.....	37
4.1	Bjørnafjorden bru.....	37
4.2	Trafikkanalyse.....	42
5	Risikoanalyse av luftfartøykollisjon mot Bjørnafjorden bru.....	47
5.1	Årsaksanalyse.....	47
5.2	Årlig kollisjonsfrekvens grunnet ikke-flyplassrelaterte aktiviteter.....	51
5.3	Årlig kollisjonsfrekvens som følge av flyplassrelaterte aktiviteter.....	54
5.4	Total årlig kollisjonsfrekvens for luftfartøy mot Bjørnafjorden bru.....	62
6	Diskusjon.....	64

6.1	Evaluering av resultater.....	64
6.2	Evaluering av metoden.....	66
6.3	Usikkerheter og feilkilder.....	73
6.4	Risikoreduserende tiltak for å forhindre luftfartøykollisjoner.....	78
6.5	Andre faremomenter.....	79
6.6	Refleksjoner.....	80
7	Konklusjoner.....	82
8	Anbefalinger og forslag til videre arbeid.....	83
8.1	Anbefalinger.....	83
8.2	Forslag til videre arbeid.....	83
	Referanser.....	84
	Vedlegg A - Statistikkgrunnlag for trafikkanalysen.....	90
	Vedlegg B – Datagrunnlag for ulykkesstatistikk.....	94
	Vedlegg C – Antall overflygninger i Bjørnafjorden-området 2017.....	98
	Vedlegg D – Detaljerte utregninger.....	99
	D.1 Årlig bakgrunnsfrekvens for flystyrt.....	99
	D.2 Årlig kollisjonsfrekvens for luftfartøy mot Bjørnafjorden bru.....	100
	Vedlegg E – Definisjoner av ulike flyfaser.....	104

# 1 Introduksjon

## 1.1 Bakgrunn og formål med oppgaven

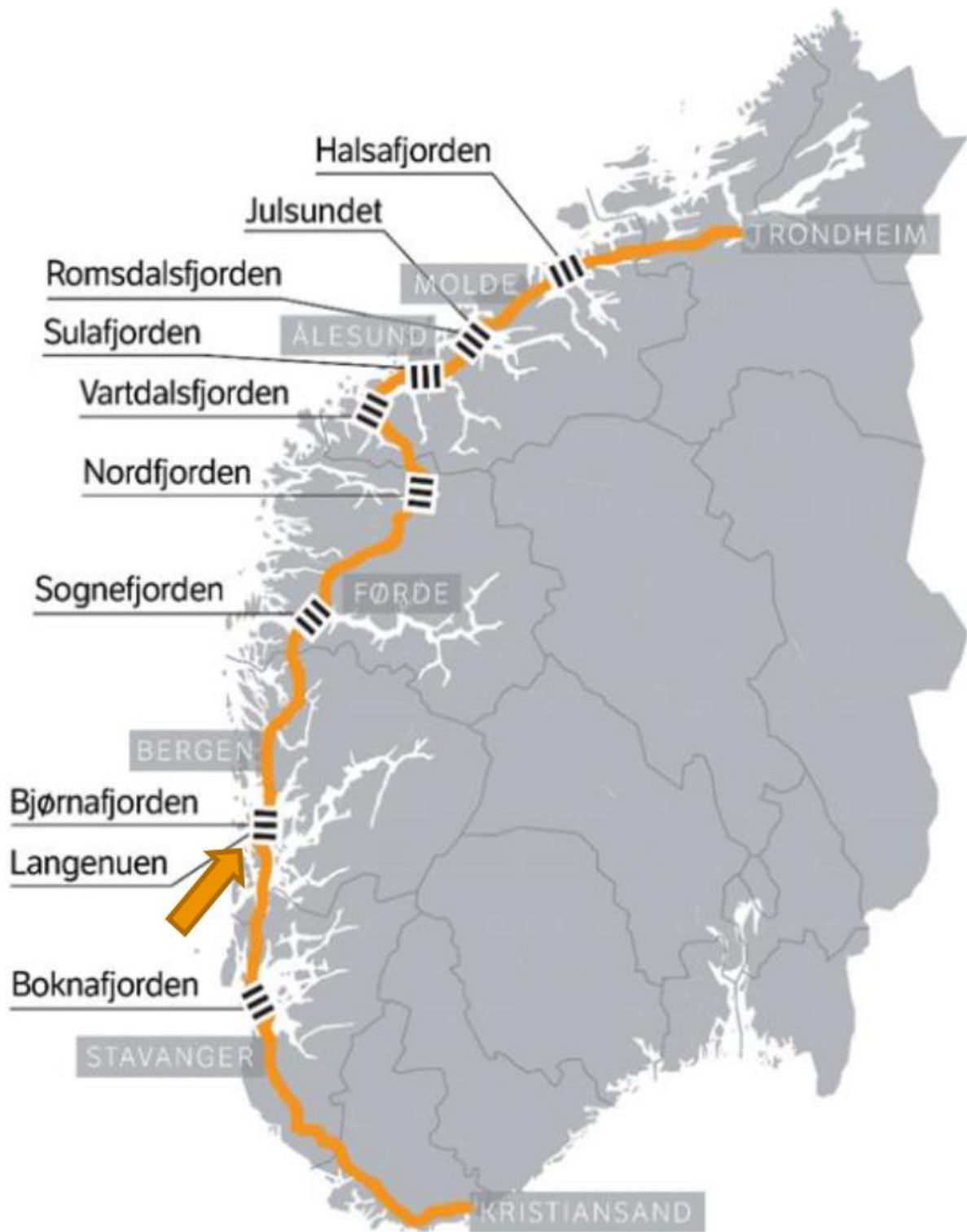
Statens vegvesen sitt veiprosjekt «Ferjefri E39» har som mål å oppnå en ferjefri strekning langs E39 på Vestlandskysten. Nye E39 er om lag 1100 km lang, og skal gå fra Kristiansand i sør til Trondheim i nord, som illustrert i Figur 1.1. Veien går gjennom seks fylker, og den er innom byene Stavanger, Bergen, Ålesund og Molde. Reisetiden er i dag om lag 21 timer, og trafikantene må benytte syv ferjesamband for å krysse fjordene. Målet er å skape en utbedret og ferjefri strekning for effektiv transport av mennesker og gods, både lokalt og regionalt. Strekningen blir omtrent 50 km kortere, og reisetiden blir mer enn halvert. Reisetiden reduseres ved at ferjestrekninger blir erstattet med bruer og tunneler – i tillegg til at en rekke strekninger på land også skal utbedres. Foreløpige beregninger for prosjektet viser at nødvendige investeringer og utbedringer vil koste omtrent 340 milliarder kroner.

Prosjektet "Ferjefri E39" inneholder flere fjordkryssinger og stedene som skal krysses er Langenuen, Bjørnafjorden, Sognefjorden, Nordfjorden, Vartdalsfjorden, Sulafjorden, Romsdalsfjorden, Julsundet, og Halsafjorden. Boknafjorden krysses med tunnel, og resten med bru. Bjørnafjorden er valgt som analyseobjekt i denne oppgaven, og markert med en pil i Figur 1.1.

I Norge må alle bruer dimensjoneres for ulike ulykkelaster, slik som påkjørsel av skip, veitrafikk, skred, brann og eksplosjon. Tidligere risikoanalyser som har blitt gjort på fjordkryssing over Bjørnafjorden, har sett på kollisjonshendelser som involverer cruiseskip, lasteskip, hurtigbåter og ubåter. I denne oppgaven skal hendelsen flykollisjon mot bru vurderes.

Formålet med oppgaven er å se på risiko for luftfartøykollisjon mot bruene som skal bygges over Bjørnafjorden. Med luftfartøy menes enhver innretning som bæres oppe i atmosfæren av luftens statiske eller dynamiske oppdrift. Eksempler på luftfartøy kan være fly, helikopter, seilfly, luftskip og varmluftballonger.

I oppgaven skal det utføres en enkel semi-kvantitativ analyse av den planlagte bruene over Bjørnafjorden for å se i hvilken grad lufttrafikken i området rundt Bergen lufthavn Fleerland påvirker risikonivået.



Figur 1.1: Ferjefri E39 omfatter strekningen fra Kristiansand til Trondheim med totalt 8 fjordkryssinger. Illustrasjon: Statens vegvesen (2017).



## 1.2 Problemstilling og mål

Risikovurdering av flykollisjon mot bru har ikke blitt gjort før i Statens vegvesen, og de har per i dag ingen gode metoder eller modeller som gjør at de kan beregne en kollisjonsfrekvens for luftfartøykollisjon mot en gitt bru. Ett av oppgavens mål er dermed å utvikle og anvende en beregningsmetode for å kvantifisere kollisjonsfrekvensen for luftfartøy mot bruene over Bjørnafjorden. Dermed gjør risikovurderingen det mulig å si noe om risikoen for luftfartøykollisjon mot bruer både kvantitativt og kvalitativt.

Metoden som beskrives i oppgaven skal kunne anvendes på flere bruer, men på grunn av arbeidsomfang og tidsbegrensninger har risikoanalysedelen blitt avgrenset til å se på den planlagte bruene som skal krysse Bjørnafjorden. I oppgavens sammenheng kalles denne bruene for enkelthets skyld bare for «Bjørnafjorden bru» siden den på nåværende tidspunkt ikke har fått et offisielt navn.

Statens vegvesen mener at det ikke vil være fornuftig å dimensjonere bruene for å tåle flykollisjon siden de tror at kollisjonsfrekvensen for luftfartøy mot Bjørnafjorden bru vil være ekstremt lav. Ifølge Håndbok N400 Bruprojektering, utgitt av Statens vegvesen, kan hendelser som har en lavere sannsynlighet (eller frekvens) enn  $10^{-4}$  per år sees bort fra i dimensjoneringen av bruene (Statens vegvesen, 2015). Oppgaven skal som nevnt ved hjelp av en enkel semi-kvantitativ risikoanalyse forsøke å tallfeste kollisjonsfrekvensen, og besvare om det er fornuftig å bare anta at den er ekstremt lav, eller om luftfartøykollisjon må tas hensyn i dimensjoneringen av bruene. Dermed er hovedproblemstillingen som denne oppgaven søker å besvare som følger:

### ***Hva er den årlige kollisjonsfrekvensen for luftfartøy mot Bjørnafjorden bru?***

Hovedfokuset til oppgaven har vært å utvikle en metode eller modell, eventuelt sette sammen metoder eller modeller, for å utføre en beregningsbasert risikoanalyse av flykollisjon mot bru. Deretter har det blitt gjort en enkel risikovurdering ved å sammenligne det beregnede resultatet med akseptkriteriet på  $10^{-4}$ . En vesentlig del av oppgaven har vært å identifisere årsaker til at fly styrter på eller nær bruer for å sette seg inn i problemstillingen. Dette for å finne ut hvilke faktorer eller årsaker som kan påvirke kollisjonsfrekvensen og dermed skape usikkerhet i resultatene. I denne sammenhengen har forfatter gjennomført en litteraturstudie for å finne ut hva som er relevante kilder til data, modeller og metoder.

### **Oppsummert skal oppgaven forsøke å nå følgende mål:**

- 1) Identifisere hvilke årsaker som påvirker kollisjonsfrekvensen for luftfartøy mot Bjørnafjorden bru.
- 2) Finne ut hva som er relevante kilder til data som kan brukes i en modell eller metode.
- 3) Beskrive og anvende en metodikk for kvantifisering av kollisjonsfrekvensen for luftfartøy mot Bjørnafjorden bru – dette innebærer å identifisere hvilke modeller som kan brukes til å beregne ut en kollisjonsfrekvens for luftfartøy mot bru.
- 4) Gjøre en enkel risikovurdering av luftfartøykollisjon mot Bjørnafjorden bru ved å sammenligne det beregnede resultatet med akseptkriteriet.

## **1.3 Omfang og avgrensninger**

En risikoanalyse er omfattende og består av flere steg (se Figur 2.2 i delkapittel 2.3). Forfatteren har på grunn av oppgavens omfang og tidsramme valgt å avgrense seg til å fokusere på en grundigere vurdering av noen deler av analysen, istedenfor å gjennomføre en mer generell og overfladisk vurdering. Risikoanalysen er derfor avgrenset til å se på årsak og beregning av årlig kollisjonsfrekvens for luftfartøy mot Bjørnafjorden bru.

Årsaksanalysen ser på årsaker til ulykker er beskrevet og gjennomgått, men er ikke diskutert i samme grad som årlig kollisjonsfrekvens for luftfartøy mot bru. I første omgang har det ikke vært hensiktsmessig å fokusere på konsekvensdimensjonen siden kollisjonsfrekvensen mot bru er antatt for å være veldig liten.

Videre er oppgaven avgrenset til risiko knyttet til utilsiktede uønskede hendelser, og skal dermed ikke se på tilsiktede uønskede handlinger. I oppgavens diskusjon begrunnes det i korte trekk hvorfor oppgaven har sett bort i fra tilsiktede uønskede hendelser som terrorisme og sabotasje.

I tillegg avgrenser oppgaven seg til å se på sivil luftfart, og inkluderer ikke militær luftfart på grunn av begrenset tilgang til data. Med sivil luftfart menes ruteflyging, charterflyging, fraktflyging, forretningsflyging, og all annen privat og allmenn flyging. Hovedtyngden av all flyging i dag faller inn under denne kategorien og skal dermed dekke det viktigste risikobidraget.

## 1.4 Strukturen i oppgaven

Oppgaven er bygget opp av åtte kapitler. Kapittel 1 er et innledende kapittel hvor bakgrunn og formål for oppgaven introduseres så leser kan sette seg inn i problemstillingen. Videre angis det hvilket omfang oppgaven har, samt hvilke avgrensninger som er gjort.

Kapittel 2 går gjennom relevant teori for oppgaven. Det vil si definisjoner av grunnleggende konsepter, samt en gjennomgang av en overordnet risikoanalyse der viktige momenter blir uthevet og forklart. I tillegg går kapitlet gjennom ulike kollisjonsmodeller som eksisterer i litteraturen for å vurdere luftfartøykollisjoner.

Kapittel 3 tar for seg den generelle fremgangsmåten for å besvare oppgaven.

Kapittel 4 beskriver analyseobjektet Bjørnafjorden bru med flere detaljer om Bjørnafjorden, og ulike brukonsepter for å krysse fjorden.

Kapittel 5 omhandler selve risikovurderingsprosessen som har blitt gjort på luftfartøykollisjon mot Bjørnafjorden bru.

Kapittel 6 diskuterer resultatene som har blitt oppnådd, samt en evaluering av risikovurderingsmetoden.

Kapittel 7 uthever oppgavens viktigste konklusjoner før det til slutt kommer anbefalinger til videre arbeid i kapittel 8.

# 2 Teori

## 2.1 Definisjoner og beskrivelse av risiko

Det finnes en rekke mulige tolkninger av risikobegrepet. De siste 30 til 40 årene har det kommet flere definisjoner på risiko i takt med utviklingen av risikofeltet (Aven, 2012). Derfor er det viktig å vite hvilken definisjon på risiko som legges til grunn for en gitt risikoanalyse eller risikovurdering, for å kunne tolke resultatene av disse på en hensiktsmessig måte. Noen få av de risikodefinsjonene som finnes er presentert under:

- Risiko er det samme som forventet tap (Willis, 2007)
- Risiko er definert som et sett av scenarier  $s_i$ , der hvert scenario har en sannsynlighet  $p_i$  og en konsekvens  $c_i$  (Kaplan og Garrick, 1981; Kaplan, 1991)
- Risiko er kombinasjonen av sannsynligheten for en hendelse og dens konsekvenser (ISO, 2009)
- Risiko er en situasjon eller en hendelse der noe av menneskelig verdi (inkludert mennesker selv) står på spill og utfallet er usikkert (Rosa, 1998, 2003)
- Risiko er det samme som en to-dimensjonal kombinasjon av hendelser/konsekvenser og tilhørende usikkerheter (vil hendelsen inntreffe, hva vil bli konsekvensene) (Aven, 2007)
- Risiko er usikkerhet om og alvorlighetsgrad av hendelsene og konsekvensene (eller utfallene) av en aktivitet med hensyn til noe som mennesker verdsetter (Aven og Renn, 2009).

Aven (2012) har gjennomgått og gjort en grundig oppsummering av utviklingen av risikokonseptet, så det vil ikke bli gjort en lang gjennomgang av risikodefinsjonene her. For få et bedre innblikk i hvordan risikofeltet har utviklet seg anbefales det å lese Avens ovennevnte artikkel. Kun en kort oppsummering av ulike risikoperspektiver vil bli gjennomgått i oppgaven. Beskrivelsen av de to risikoperspektivene (A, C,  $P_f$ ) og (A, C, U) i det følgende baserer seg på Aven (2011) dersom ikke annet er oppgitt.

### 2.1.1 (C, $P_f$ )-perspektivet

Det første risikoperspektivet refereres til som (A, C,  $P_f$ )-perspektivet, eller bare (C,  $P_f$ )-perspektivet. En aktivitet kan føre til hendelser A, med tilhørende konsekvenser C. For

hendelse A og tilhørende konsekvenser C blir det tildelt frekvensbasert sannsynlighet  $P_f$ . En frekvenssannsynlighet for en hendelse A, betegnet  $P_f(A)$ , er definert som andelen ganger hendelsen A skjer hvis situasjonen som betraktes gjentas (hypotetisk) et uendelig antall ganger (Aven, 2013).

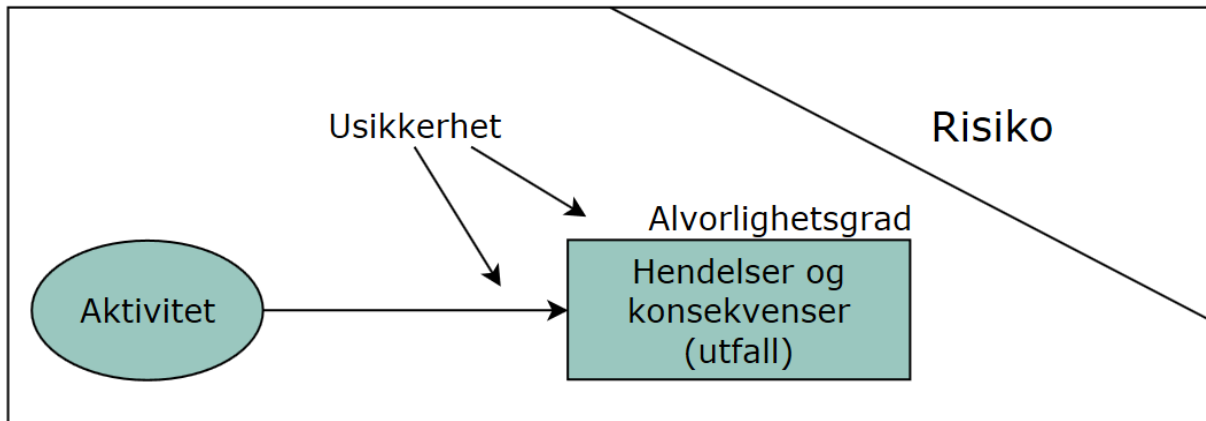
I en risikoanalyse vil man vite hvilke hendelser som kan inntreffe, hva er konsekvensene av disse hendelsene, og hvilke sannsynligheter  $P_f$  som skal tildeles til disse hendelsene og konsekvensene. Dette leder til risikobeskrivelsen  $(A, C, P_f^*, K)$  der  $P_f^*$  er et estimat av  $P_f$ , og K er bakgrunnskunnskapen som analysen er basert på. Dersom en benytter subjektive sannsynligheter P for å uttrykke usikkerhet om  $P_f$ , vil en ende opp med følgende risikobeskrivelse:  $(A, C, P_f^*, P(P_f), K)$ , hvor K nå er kunnskap som sannsynlighetsfordelingen er basert på. Den subjektive sannsynligheten for en hendelse A, betegnet  $P(A)$ , er et uttrykk for hvor trolig en person mener det er at hendelsen A vil inntreffe (Aven, 2013). Med andre ord så vil den som utfører analysen lage et estimat  $P_f^*$  av  $P_f$ , og så vil denne uttrykke usikkerheten om  $P_f$  ved å bruke subjektive sannsynligheter  $P(P_f)$ . Den subjektive sannsynligheten er dermed avhengig av bakgrunnskunnskapen som analytikeren har, og denne kan være basert på antagelser, data, modeller, eller ekspertvurderinger.

En sannsynlighet vil ikke alltid inkludere alle aspekter som det er ønskelig å reflektere, og er ikke alltid tilstrekkelig for å gi en god risikobeskrivelse. Sannsynligheten (P) er basert på en rekke antagelser, og den er avhengig av bakgrunnskunnskap som kan være feil eller mindre god (Aven og Renn, 2009). Usikkerhet er ofte gjemt i bakgrunnskunnskapen, og ved å kun fokusere på sannsynligheten P, kan faktorer som kan gi et uventet utfall ikke komme godt nok fram i risikobeskrivelsen (Aven og Renn, 2009). Eksempel på dette er at det benyttes utdatert kunnskap om forhold som ikke er relevante for dagens situasjon. Derfor er det viktig å se bak sannsynlighetene. Ved å vurdere usikkerheten som mer fundamental enn å kun betrakte sannsynligheten, kan usikkerhet erstatte sannsynlighet i definisjonen på risiko (Aven og Renn, 2009).

### **2.1.2 (C, U)-perspektivet**

Det andre risikoperspektivet er det såkalte (A, C, U)-perspektivet, eller bare (C, U)-perspektivet. I Figur 2.1 under illustreres risikokonseptet basert på (C, U)-perspektivet. Illustrasjonen viser at dersom det utføres en aktivitet kan ulike uønskede hendelser A og

tilhørende konsekvenser  $C$  inntreffe som følge av aktiviteten. Det er vanskelig å vite på forhånd om en hendelse vil inntreffe og hva konsekvensen vil bli. Dermed er det usikkerhet ( $U$ ) knyttet til hva som vil skje i fremtiden.



Figur 2.1: Illustrasjon av risikokonseptet med et (A, C, U)-perspektiv (Kilde: Aven og Renn, 2009).

Risikokonseptet i seg selv kan ikke brukes til risikovurdering- eller styring, og vi må derfor introdusere en risikobeskrivelse for beskrive eller måle risikoen. Dette leder til risikobeskrivelsen ( $A'$ ,  $C'$ ,  $Q$ ,  $K$ ), eller bare ( $C'$ ,  $Q$ ,  $K$ ), der  $A'$  og  $C'$  er lister med spesifiserte hendelser og konsekvenser som analytikerne mener er mulige i fremtiden.  $Q$  er beskrivelse eller mål på usikkerhet for at hendelser  $A'$  inntreffer og tilhørende konsekvenser  $C'$ , og kan blant annet gjøres ved hjelp av subjektive sannsynligheter og vurderinger av kunnskapsstyrken som disse sannsynlighetene bygger på. Videre er  $K$  bakgrunnskunnskapen (modeller og data brukt, antagelser og så videre) som  $A'$ ,  $C'$ , og  $Q$  baserer seg på. For enkelthets skyld skriver en ofte bare  $A$  og  $C$  istedenfor  $A'$  og  $C'$ , men i en risikobeskrivelse menes det alltid spesifikke  $A'$  og  $C'$ .

Risikovurderingen som gjøres i denne oppgaven om luftfartøykollisjon mot bruer legger til grunn (A, C, U)-perspektivet på risiko. Resultatet av risikovurderingen; «årlig kollisjonsfrekvens for luftfartøy mot Bjørnafjorden bru», uttrykker usikkerhet knyttet til om det vil inntreffe en luftfartøykollisjon mot bruene i løpet av det neste året. Kollisjonsfrekvensen for luftfartøy mot Bjørnafjorden bru er altså en frekvenssannsynlighet som uttrykker aleatorisk usikkerhet (variasjon i en populasjon av hendelser som har lignende felles egenskaper) av de ukjente parameterne i sannsynlighetsmodellene.

## 2.2 Usikkerhet

Beskrivelsen av usikkerhet i dette avsnittet er i stor grad hentet fra Society for Risk Analysis (SRA, 2015). Begrepet usikkerhet i en risikokontekst forstås som det å ikke vite sann verdi av en størrelse eller fremtidige konsekvenser av en aktivitet. Vi snakker også om usikkerhet som følge av å ha ufullstendig eller upresis informasjon, eller kunnskap om en hypotese, en størrelse eller opptreden av en hendelse.

Usikkerhet kan grupperes i to typer; epistemisk usikkerhet eller aleatorisk usikkerhet. Epistemisk usikkerhet skyldes mangel på kunnskap og kan derfor reduseres dersom vi får tilgang til mer kunnskap. Epistemisk usikkerhet kalles også subjektiv usikkerhet eller reduserbar usikkerhet. I motsetning til såkalt stokastisk eller aleatorisk usikkerhet (ikke-reduserbar usikkerhet) som beskriver variasjon i en stor populasjon av alle mulige observasjoner, individer eller hendelser som har lignende felles egenskaper, og modelleres ved hjelp av sannsynlighetsmodeller. Eksempler på slik variasjon er vindstyrke, nedbør, og produktkvalitet.

I en risikoanalyse er det dermed mange faktorer som bidrar til usikkerhet i resultatene og noen av disse faktorene er nevnt under:

1. Alle uønskede hendelser blir ikke avdekket av analytikere (A er ikke dekket av A').
2. Modellusikkerhet (usikkerhet knyttet til forskjellen mellom modellens resultat og sann fremtidig verdi).
3. Parameterusikkerhet (usikkerhet knyttet til den «sanne» verdien).
4. Konsekvensusikkerhet.
5. Beregningsusikkerhet.
6. Usikkerhet på grunn av mangelfull kompetanse (for eksempel at analytikere gjøre grove forenklinger eller feil antagelser).

## 2.3 Sannsynlighet og frekvens

Sannsynlighetsbegrepet anvendes når vi skal si noe om framtiden og vil beskrive at det kan være flere mulige utfall, men at vi ikke vet hvilket av dem som inntreffer (Rausand og Utne, 2009). Sannsynligheten for en hendelse angis som et tall mellom 0 og 1. Hva en sannsynlighet betyr avhenger av hvilken tolkning på sannsynlighetsbegrepet som legges til grunn (Aven, 2006). Én av utfordringene som risikofeltet har er at det finnes flere måter

å tolke sannsynlighetsbegrepet, og mange bøker og artikler har blitt skrevet om hvordan man skal forstå disse (Aven, 2013). Det er dermed nødvendig å forstå hva som menes med sannsynlighet for å definere risiko.

Grovt sett kan synspunktene på sannsynlighetsbegrepet deles i to grupper (Rausand og Utne, 2009): (i) frekvenssannsynlighet og (ii) subjektiv sannsynlighet.

### 2.3.1 Frekvenssannsynlighet

Dette avsnittet er i stor grad hentet fra Aven (2013). Denne tilnærmingen kan gjøres når et forsøk kan tenkes å bli gjentatt et stort antall ganger under tilnærmet de samme betingelsene. Hver gjentakelse kalles for et forsøk, og man antar at hvert forsøk kan gi utfallet A eller ikke. Ved å gjenta forsøket  $n$  ganger kan vi telle antallet  $n_A$  av de  $n$  forsøkene som gir utfallet A. Den relative frekvensen av utfallet A er da gitt ved

$$f_n(A) = \frac{n_A}{n}$$

Dersom situasjonen som betraktes gjentas (hypotetisk) et uendelig antall ganger under samme betingelser, så vil den relative frekvensen gå mot en grenseverdi. Denne grenseverdien kaller vi frekvenssannsynligheten til A og betegner den  $P_f(A)$ , der

$$P_f(A) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n_A}{n}$$

Den underliggende frekvenssannsynligheten er ukjent og må estimeres ved hjelp statistiske modeller som for eksempel Poisson-prosessen i risikoanalysen. «Med en klassisk fortolkning av sannsynlighetsbegrepet betyr statistisk forventet verdi, et gjennomsnitt» (Aven, 2006, s. 6). Poisson-prosessen blir nærmere forklart i punkt 2.3.4. Ifølge Aven (2006) kan frekvensverdien, dersom den er liten nok (mindre enn 0.10), tolkes som en sannsynlighet. For eksempel om vi har i en gitt frekvens av trafikkulykker, til 11 per år, det vil si  $11/8760 = 0.0012$  per time. Frekvenssannsynligheten blir da  $0.0012 = 0.12$  prosent for at det i løpet av én time skal inntreffe en trafikkulykke. Med andre ord så vil en være avhengig av gode data over lang tid for å få en «presis og korrekt» frekvenssannsynlighet for å beskrive den reelle situasjonen.

### 2.3.2 Subjektiv (kunnskapsbasert) sannsynlighet

Beskrivelsen om kunnskapsbasert sannsynlighet er i stor grad hentet fra Aven (2013). I den Bayesianske tilnærmingen oppfattes sannsynligheten som et mål for vår tro om



utfallet av forsøket. På engelsk brukes begrepet «degree of belief» om denne subjektive sannsynligheten. I den Bayesianske tilnærmingen er det ikke nødvendig å utføre et forsøk et stort antall ganger. Dermed er tilnærmingen ikke bare avgrenset til forsøk, og kan bruke begrepet sannsynlighet om i hvilken grad vi tror på et utsagn. Ett eksempel her kan være: «Hva er sannsynligheten for å vinne en bestemt fotballkamp?» En subjektiv sannsynlighet blir ofte kalt for kunnskapsbasert sannsynlighet, betegnet som  $P_K$  eller bare  $P$ , fordi analytikeren bruker sin kunnskap til å sette sannsynligheten.

Det finnes flere muligheter å tolke en subjektiv sannsynlighet, men i oppgaven forstås subjektiv sannsynlighet i forhold til en usikkerhetsstandard. Ofte brukes en såkalt urne (eller krukke) fylt med baller. Om man tildeler en sannsynlighet på for eksempel 0.1 for en hendelse  $A$ , så kan vår grad av tro på at  $A$  inntreffer sammenlignes med graden av tro på å plukke en spesifikk ball fra en urne som inneholder ti baller. Usikkerheten eller vår grad av tro på at  $A$  inntreffer er den samme.

### 2.3.3 Relativ frekvens og rate

Beskrivelsen av frekvens og Poisson-prosessen i henhold til dette, samt neste avsnitt er i stor grad hentet fra Rausand og Utne (2009). For en hendelse  $A$  som inntreffer mer eller mindre regelmessig, snakker vi om frekvensen til denne hendelsen. Eksempel på slike hendelser er trafikkulykker som inntreffer mange ganger hvert år. Om antallet på slike ulykker i løpet av tida  $t$  betegnes med  $n_A(t)$  er den observerte/historiske frekvensen av ulykker da gitt ved (Rausand og Utne 2009):

$$f_t(A) = \frac{n_A(t)}{t}$$

Tida  $t$  kan for eksempel måles som kalendertid i per år eller dag. I noen tilfeller kan vi anta at forholdene holdes konstante slik at frekvensen vil gå mot en konstant grenseverdi når  $t \rightarrow \infty$ . Denne grenseverdien kaller vi *raten* til hendelsen  $A$ , og betegner den med  $\lambda_A$  (Rausand og Utne 2009),

$$\lambda_A = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{n_A(t)}{t}$$

Raten  $\lambda_A$  brukes senere i Poisson-prosessen som en statistisk forventningsverdi ( $\lambda$ ) for å finne ulykkessannsynligheten.

### 2.3.4 Poisson-prosessen

For fremtidige hendelser brukes en Poisson-prosess til å modellere antall hendelser  $A$  som inntreffer i løpet av et gitt tidsintervall. Når vi ser på fremtidige hendelser, som i dette tilfelle en ulykke, er antallet  $N_A(t)$  en tilfeldig variabel. Poisson-prosessen er anvendbar når hendelsene inntreffer uavhengig av hverandre, og det ikke er noen trend i raten av hendelsene (ingen variasjon over tid). Følgende forutsetninger stilles:

1. Antall hendelser  $A$  i et tidsintervall er uavhengig av antallet som inntreffer i et hvilket som helst annet ikke-overlappende tidsintervall. Dette betyr at Poisson-prosessen ikke har noen "hukommelse".
2. Prosessen er stasjonær, det vil si at forventet antall forekomster av  $A$  er konstant lik  $\lambda$  per tidsenhet.
3. Sannsynligheten for at mer enn én hendelse vil inntreffe i løpet av et svært kort tidsintervall er neglisjerbar.

Det antas at prosessen starter ved tidspunktet  $t = 0$  og at  $N_A(t)$  er antall hendelser  $A$  som inntreffer i tidsintervallet  $[0, t]$ . Sannsynlighetsfordelingen til  $N(t)$  kalles Poisson-fordelingen og er gitt ved

$$Pr(N(t) = n) = \frac{(\lambda t)^n}{n!} e^{-\lambda t} \text{ for } n = 0, 1, \dots$$

Der,

- $\lambda$  er en parameter i modellen og et positivt tall, som uttrykker statistisk forventet antall hendelser per tidsenhet, og kalles for frekvensen til Poisson-prosessen.
- $n$  er antall hendelser som inntreffer for en gitt periode.
- $n!$  er fakultetet av  $n$ .
- $e$  er basen til den naturlige logaritmen ( $e = 2.71828\dots$ )

Forventningsverdien av  $N(t)$  er

$$E(N(t)) = \lambda t$$

$$\lambda = \frac{E(N(t))}{t}$$

Variansen til  $N(t)$  er

$$Var(N(t)) = \lambda t$$

Begrepet frekvens brukes både om observert/historisk/relativ frekvens eller statistisk forventningsverdi (forventet fremtidig verdi), og det er dermed viktig å ikke forveksle disse.

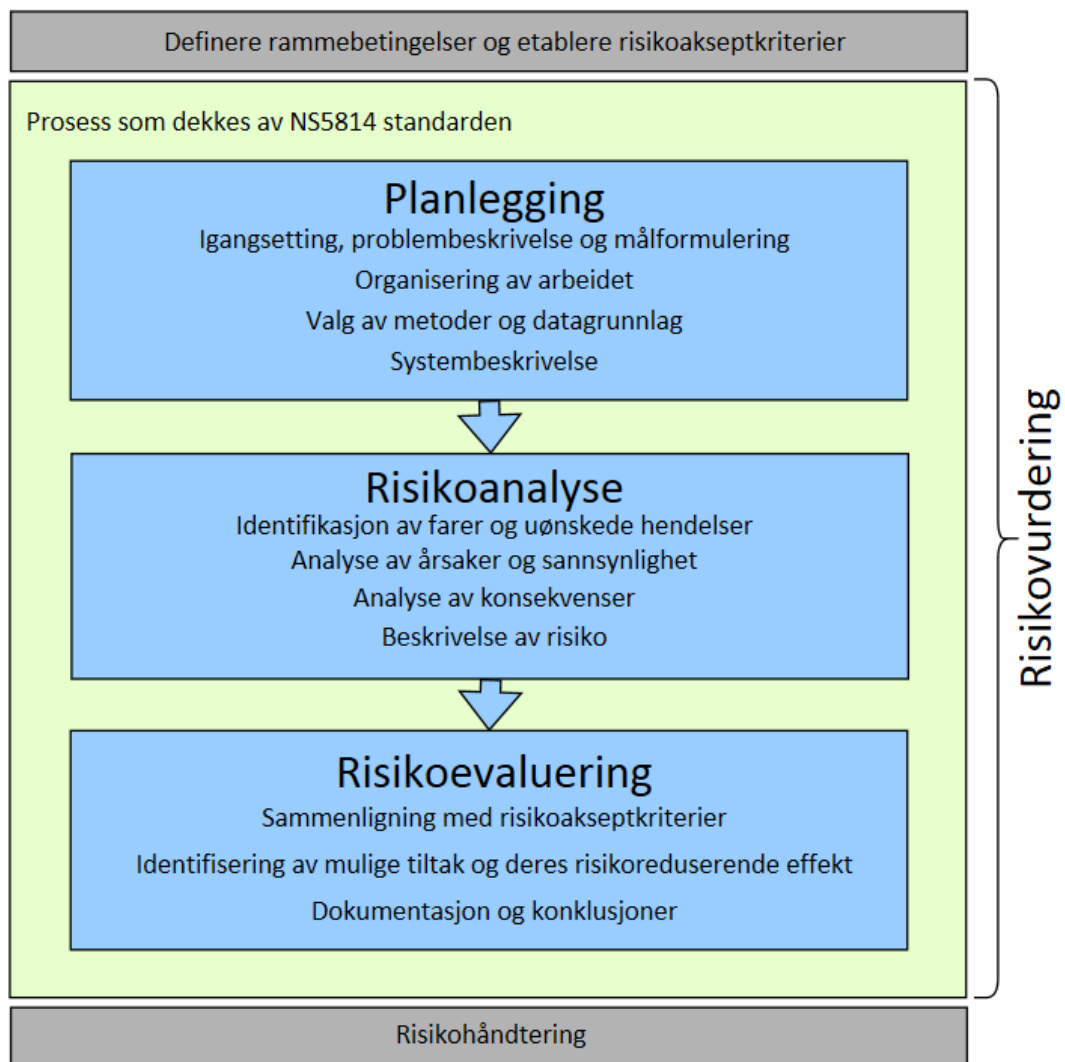
## 2.3 Risikostyring, risikovurdering og risikoanalyse

Risikoanalyser er et viktig verktøy for å fremskaffe grunnlag for beslutninger som angår sikkerhet, og kan inngå som en del av risikostyringen av virksomheten (Rausand og Utne, 2009). De kan gjør oss i stand til å tenke helhetlig, og til å avdekke uønskede situasjoner og tilstander i tide til å gjøre noe med dem. De kan gi oss mulighet til å rette begrensede ressurser mot de risikoreduserende tiltakene som gir størst sikkerhetsgevinst. For å vite hva som gir størst sikkerhetsgevinst, er det nødvendig å måle risiko, og fremskaffe måltall for størrelsen av risiko. Med dette følger det mange utfordringer. Hvordan måler man risiko? Hvilken måle-enhet brukes? Hvordan kan man gå fram for å bruke tilgjengelig kunnskap for å fremskaffe måltallene?

I Norge brukes i hovedsak tre rammeverk til risikovurderinger. Disse er NS 5814 (2008), ISO 31000 (2009), og NORSK Z-013 (2010). NS 5814 setter krav til elementene som inngår i en risikovurdering. ISO 31000 standarden inneholder prinsipper og retningslinjer for organisasjoner av alle typer og størrelser til å vurdere og håndtere risiko. NORSOK Z-013 er primært rettet for bruk i offshore industrien, men kan også brukes som en generell veileder for risikovurdering i andre industrier. Den gir detaljert veiledning for ulike stadier som design og drift av et anlegg eller en konstruksjon. Disse tre rammeverkene komplementerer hverandre godt, men det er viktig å være oppmerksom på forskjellene mellom dem. For eksempel, er ISO 31000 standarden en generell standard for risikostyring, mens NORSOK Z-013 gir detaljert veiledning om analyse av risiko og beredskap.

Statens vegvesen bruker Håndbok N400 Bruprosjektering til å utforme og dimensjonere bruene. Denne håndboken henviser videre til NS 5814. Derfor baserer oppgavens risikovurdering seg på rammeverket i *NS 5814 Krav til risikovurderinger*, for å være konsistent med bedriftens praksis. Den første utgaven av NS 5814 standarden ble utgitt i 1991, mens gjeldende utgave kom i 2008. Formålet med standarden er å gi retningslinjer for planlegging, gjennomføring og bruk av risikoanalyser, samt å danne grunnlag for spesifisering av kvalitetskrav til risikoanalyser, og for vurdering av kvaliteten på utførte

risikoanalyser. NS 5814 reflekterer primært bruk av analyser knyttet til ulykkesrisiko i forbindelse med industrivirksomhet og transport, og er dermed egnet for analyser knyttet til norsk luftfartsvirksomhet.



Figur 2.2: Sammenhengen mellom risikovurdering og risikoanalyse, samt prosessen for risikovurdering som dekkes av NS 5814:2008 standarden (NS 5814, 2008).

Ifølge Rausand og Utne (2009, s. 77) er risikostyring «en kontinuerlig ledelsesprosess som har som målsetting å identifisere, analysere og vurdere mulige risikoforhold i et system eller i en virksomhet, samt å finne frem til og iverksette tiltak som kan redusere mulige skadevirkninger». I Avens bok om Risikostyring defineres begrepet på følgende måte: “Med risikostyring forstås alle tiltak og aktiviteter som gjøres for å styre risiko” (Aven, 2007:13). Både risikovurdering og risikoanalyse inngår som deler av en risikostyringsprosess. Ifølge NS 5814 (NS 5814, 2008, s. 6) er risikovurdering en «samlet prosess som består av de tre trinnene planlegging, risikoanalyse og risikoevaluering». Hva

disse trinnene inneholder er illustrert i Figur 2.2. Risikoanalyse defineres som en «systematisk fremgangsmåte for å beskrive og/eller beregne risiko» (NS 5814, 2008, s. 6). Standarden er med andre ord relevant for både kvalitative (beskrivende) og kvantitative (beregningsbaserte) risikoanalyser. Risikoanalysen utføres ved kartlegging av uønskede hendelser og årsaker til og konsekvenser av disse. Det skilles mellom en risikoanalyse og en risikoevaluering, fordi risikoevaluering er en prosess der resultatene fra risikoanalysen blir sammenlignet med mål eller kriterier for akseptabel risiko (Rausand og Utne, 2009).

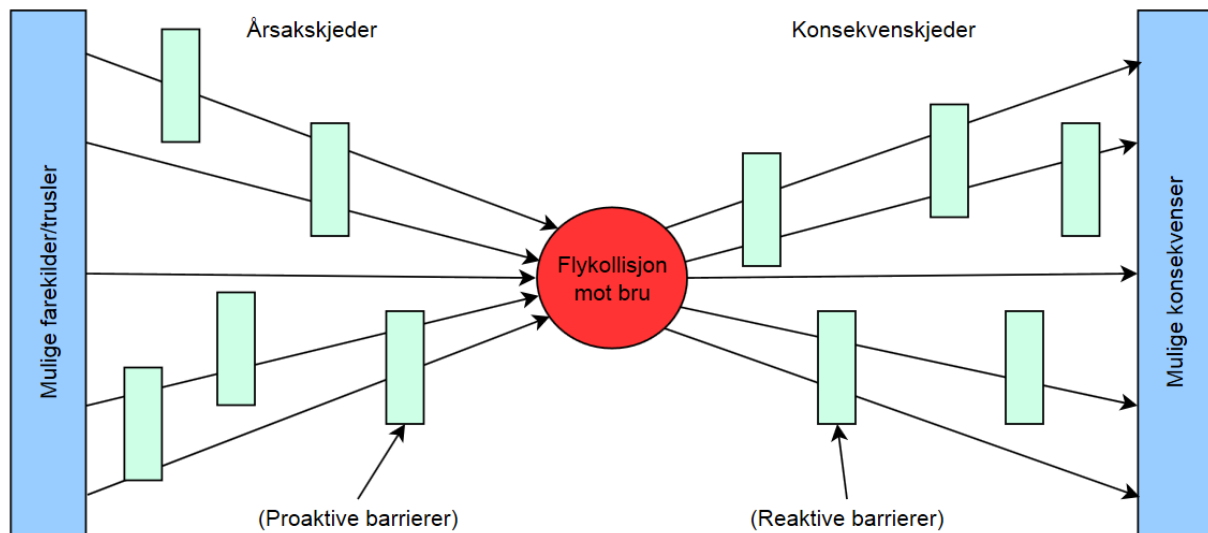
I en risikoanalyse vil vi ofte ha svar på følgende tre spørsmål:

1. «Hvilke uønskede hendelser kan inntreffe?
2. Hva er sannsynligheten for at de ulike uønskede hendelsene inntreffer?
3. Hva kan konsekvensene bli hvis de uønskede hendelsene skulle inntreffe?»  
(Rausand og Utne, 2009, s. 80)

Siden oppgaven skal se på hendelsen flystyrt mot Bjørnafjorden bru vil denne hendelsen allerede være svar på spørsmål 1. Videre er vi interessert i å finne svar på spørsmålene 2 og 3 knyttet til hendelsen flystyrt. Spørsmål 2 kan besvares ved å avdekke årsakene til at den uønskede hendelsen inntreffer. Ved å analysere årsakene til at flystyrt skjer kan vi få en forståelse for årsaksforhold som påvirker sannsynligheten for flykollisjon. Videre kan vi ved hjelp av ulykkesstatistikk anslå frekvensen til den uønskede hendelsen, det vil si statistisk forventet antall hendelser som inntreffer i løpet av en gitt tidsperiode. Spørsmål 3 kan besvares ved å avdekke hva som kan skje etter at den uønskede hendelsen har inntruffet, og hvordan konsekvenskjedene kan utvikle seg. Konsekvensdimensjonen er utenfor oppgavens omfang, og således er det ikke relevant å besvare spørsmål 3.

I risikoanalyser brukes det vanligvis såkalte risikomodeller for å illustrere hendelsen. Et eksempel på en risikomodell som ofte brukes er et "bow-tie" diagram, som vist i Figur 2.3. Til venstre for hendelsen vil det være mulige farekilder som kan lede til hendelsen flykollisjon. En farekilde forstås som «en egenskap, en tilstand eller et forhold som kan lede til en uønsket hendelse» (Rausand og Utne, 2009, s.41). Mulige farekilder som gjør at flyet styrter kan være at det er dårlig vær, og tekniske problemer. I mange tilfeller er det på plass proaktive barrierer som kan hindre eller redusere sannsynligheten for at den uønskede hendelsen inntreffer. Eksempler på *proaktive* barrierer kan være

pilotopplæring, varslingsystemer, informasjon, og navigasjonshjelp. Dersom den uønskede hendelsen inntreffer, vil den kunne lede til ulike konsekvenser. For å stoppe eller redusere konsekvensene er det ofte på plass *reaktive* barrierer. Eksempler på reaktive barrierer kan være, setebelte, forsterket flyskrog, samt dimensjonere konstruksjonen mot å tåle høye støtlaster. Mer om årsaksforhold og mulige konsekvenser av flykollisjon gjennomgås i nærmere detalj i risikoanalysedelen i kapittel 5.



Figur 2.3: Risikoanalyse av hendelsen flykollisjon mot bru. Beskrevet mer av i Rausand og Utne (2009).

## 2.4 Evaluering av mulige kollisjonsmodeller

Dette kapittelet er i stor grad basert på arbeidet til Technical Advisory Panel (TAP) som består av et ekspertpanel med medlemmer fra blant annet Health and Safety Laboratory (HSL), Loughborough University (LU), og andre industriaktører innen luftfart. I løpet av litteraturstudiet har arbeidet til TAP vært til god hjelp og veiledning med å identifisere modeller som kan brukes til problemstillingen. Kort oppsummert har rapporten fra TAP (2014) gjort en omfattende gjennomgang av litteraturen og vurdert følgende modeller:

- Chelapati (1972)
- Hornyik (1974)
- NUREG-0800 (1975 og utover)
- Solomon (1988)
- Kobayashi (1988)
- US DOE (1996 og utover)
- Byrne (1997 og utover)
- NATS (1997 og utover)
- TÜV SÜD (2001)
- Loughborough (2001 og utover)

- David (1990)
- DNV (1990 og utover)
- NLR (1993 og utover)
- LLNL (1993 og utover)
- Bienz (2004)
- GFL (2006)
- BERG (2011)
- ENAC (2012)

Forfatter har gått gjennom ovennevnte modeller og deretter gjort en kort første screeningrunde basert på modellenes omfang, brukbarhet og nytteighet, og om de er lette å forstå sett i lys av forfatters begrensede kunnskaper innen luftfart.

Modellenes omfang og hva de tar hensyn til varierer. Noen modeller er avgrenset til å se på flystyrt utenfor flyplassområdet (bakgrunn), og vil si at ulykken skjer uavhengig av hvilket område flyet befinner i seg utenfor flyplassområdet; flyplassrelaterte ulykker, som vanligvis ser på tredjepartsrisiko rundt flyplasser opp til en avstand på omtrent 10 engelske mil; og selve flyplassen som innebærer ulykker på rullebanen og dens sikkerhetsområder. I relasjon til oppgavens problemstilling har det blitt ansett at ulykker som skjer på selve flyplassen ikke vil være relevant med tanke på at det er over 20 km mellom Bergen lufthavn og Bjørnafjorden bru.

Brukbarheten og nytten av hver modell ble vurdert kvalitativt etter gitte evalueringskriterier for å se om de tar høyde for blant annet: frekvensen på hvor ofte luftfartøyene flyr; type luftfartøy, sannsynligheten for at en enkelt flyging fører til styrt; hvordan sannsynligheten varierer for den enkelte flyging langs den nominelle flytrasé og flyfaser; om modellen i tillegg tar høyde for flyets kollisjonsvinkel.

I gjennomgangen av litteraturstudiet bemerket forfatter at sannsynligheten for ulykke per flyging er avhengig av hvilken type flyging og luftfartøy som er involvert. Dermed ble det i evalueringsprosessen vurdert om modellene tok hensyn til type flyging og luftfartøy.

Fly som en gruppe innebærer kommersiell jetflyging, kommersiell turbopropflyging, kommersiell stempelmotor-flyging og forretningsflyging, og allmenn flyging med "single-engine" og "multi-engine".

En spesifikk kategori av lavtflygende luftfartøy ble inkludert for å omfatte aktiviteter som helikopterflyging til kontinentalsokkelen og andre helikopteraktiviteter som skole og

instruksjonsflyging, småflyaktiviteter som fallskjermhopping og luft forestillinger, kystvaktpatruljer, søk og redningsaktiviteter, og ambulanseflyging.

Aktivitetene til andre typer bemannede luftfartøy ble delt inn i de enkelte grupperinger av: gyrokoptere, seilfly, luftskip, varmluftballonger. Kun sivile aktiviteter ble vurdert for disse typene. Videre ble ubemannede luftfartøy (droner) vurdert som en enkelt gruppe for alle aktiviteter. En drone er et luftfartøy som kan kontrolleres med fjernstyring eller fly autonomt ved hjelp av programvare, sensorer og GPS. Droner var lenge hovedsakelig brukt til militære formål, men har de siste årene i stadig større grad også blitt anvendt for sivile formål.

Delkapitlene som kommer under omhandler modellene som har gått videre til neste steg, og som innebærer en evaluering om de kan brukes til oppgavens problemstilling. Gjennomgangen av modellene presenteres i kronologisk rekkefølge i forhold til når de først ble publisert. Modellene er beskrevet i forhold til hva de gjør rede for, og generelle kommentarer gis for hvert evalueringskriterium som har blitt gjennomgått. En oppsummeringstabell presenteres på slutten av hver modell for å gi en generell oversikt over hva modellen inneholder. Det generiske formatet på oppsummeringstabellen som er gitt nedenfor baserer seg på TAP (2014) sine evalueringskriterier med noen små modifikasjoner av hensyn til oppgavens avgrensninger (se Tabell 2.1).

Tabell 2.1: Evalueringskriterier brukt for å vurdere kollisjonsmodeller. Kriteriene som brukes er basert på arbeidet til TAP (2014).

<b>Evalueringskriterier</b>	<b>Kommentarer</b>
Ulykkessted	Bakgrunn eller flyplassrelaterte ulykker
Frekvensen av bevegelser	Hvordan dette ble vurdert
Fly	Sivilt og/eller militært; flytyper
Helikopter	Sivilt og/eller militært; flytyper
Seilfly (inkl. motorglider)	Vurdert eller ikke
Luftskip	Vurdert eller ikke
Varmluftballong	Vurdert eller ikke
UAVer (Droner)	Vurdert eller ikke
Flyfaser	Hvilke flyfaser er betraktet
Kollisjonsvinkel	Hvordan spekteret av kollisjonsvinkler ble betraktet
Brukbarhet/nytte	Generelle kommentarer

### **2.4.1 NUREG-modellen (1975 og utover)**



United States Nuclear Regulatory Commission (US NRC) har publisert en standard for godkjenning av kjernekraftlisenser som gir operatører driftstillatelse av kjernekraftverk i USA. Standarden inneholder en rekke kjernekraft-reguleringer eller NUClear REGulations, kjent som NUREGs. Reguleringen som gjelder vurdering av farer knyttet til luftfartøy (US NRC, 2010) krever at operatøren vurderer flyplasser, sivile luftkorridorer, venteområder og innflygningstraséer, samt militære flyplasser, treningsruter og treningsområder. En luftkorridor forstås som et kontrollområde i form av et led eller trasé for lufttrafikk, forsynt med hjelpemidler for radionavigasjon.

Reguleringen sier at risikoen er akseptabel dersom alle de følgende tre screening-kriterier er møtt:

- «Anlegg-til-flyplass-distansen  $D$  er mellom 5 til 10 engelske mil, og forventet årlig antall bevegelser er mindre enn  $500D^2$ , eller anlegg-til-flyplass-distansen  $D$  er større enn 10 engelske mil, og forventet årlig antall bevegelser er mindre enn  $1000D^2$ .
- Anlegget er minst 5 engelske mil fra nærmeste militære treningsområder og lavtflygingsruter (unntatt de som har mer enn 1000 bevegelser per år, eller der aktivitetene skaper en uvanlig stressende situasjon (for eksempel angrepsøving).
- Anlegget er minst 2 engelske mil fra sivile luftkorridorer, venteområder, eller innflygningstraséer.» (US NRC, 2010).

Dersom alle ovennevnte kriterier er møtt ble det antatt at den årlige sannsynligheten for en luftfartøykollisjon med kjernekraftverket er mindre enn  $1 \times 10^{-7}$ . Denne antagelsen har ikke blitt begrunnet med referanser eller beregninger. Det er utenfor oppgavens omfang å kommentere på akseptnivået, men det må stilles spørsmål om gyldigheten av screening-kriteriene, samt om de er anvendbare for Norge gitt at det mangler referanser og beregninger.

En detaljert vurdering må bli gjort dersom screening-kriteriene ikke er møtt. Vurderingen kan bruke formler og data foreslått av reguleringsdokumentet for å beregne en kollisjonsfrekvens. Bidrag fra luftkorridorer er basert på ulykkesfrekvens per mil for luftfartøyet ganget med antall flyginger per år langs luftkorridoren, og ganget med arealet av anlegget. Den beregnede verdien er videre delt på en faktor som skal representere den

horisontale fordelingen av ulykker fra luftkorridorens senter-linje. Denne faktoren er enten gitt som bredden til luftkorridoren (dersom anlegget ligger direkte under luftkorridoren), eller bredden av luftkorridoren pluss den dobbelte distansen fra utkanten av anlegget til kanten av luftkorridoren (dersom anlegget ligger i nærheten eller ikke direkte under den). Det er ingen referanser eller begrunnelse for hvorfor en horisontal fordeling har blitt brukt.

Reguleringsdokumentet oppgir formler for sivile og militære flyplasser. Sannsynligheten for en ulykke per kvadrat mil som en funksjon av distansen fra en flyplass, er oppgitt i en tabell som igjen må bli ganget med relevante antall bevegelser. Denne tabellen består av data fra tidlig 1970-tallet (Eisenhut, 1973) og oppgir sannsynlighet for ulykke i gitte distanseintervaller fra rullebanes ende. Problemet med denne tabellen er at det ikke er en jevn nedgang i sannsynlighet for ulykke desto lenger bort fra flyplassen en kommer. For eksempel i distanseintervallet fire til fem engelske mil så er sannsynligheten  $0.27 \times 10^{-8}$  mens det for fem til seks engelske mil går ned til null, for deretter å øke til  $0.14 \times 10^{-8}$  for åtte til ni engelske mil. Tabellen oppgir tall for både sivile og militære operasjoner i totalt fire separate kategorier for luftfartøyoperasjoner. Under er en oppsummering med oversikt over hva NUREG-modellen inneholder (se Tabell 2.2).

Tabell 2.2: Oppsummeringstabell med oversikt over hva NUREG-modellen inneholder.

<b>Evalueringskriterier</b>	<b>Kommentarer</b>
Sted og plassering	Ser på bakgrunn og flyplassrelaterte ulykker
Frekvensen av bevegelser	Må samle inn informasjon for screening, og dersom det kreves videre vurderinger så må det i tillegg samles data på flybevegelser fra operatørene.
Fly	Sivilt og/eller militært; flytyper
Helikopter	Helikopter inkludert i datagrunnlaget
Seilfly (inkl. motorglider)	Ikke nevnt
Luftskip	Ikke nevnt
Varmluftballong	Ikke nevnt
UAVer (Droner)	Ikke nevnt
Kollisjonsvinkel	Antagelser om kollisjonsvinkel er basert på utilgjengelig datagrunnlag.
Brukbarhet/nytte	NUREG-modellen er forkastet med bakgrunn i at screening-kriteriene av datagrunnlaget og bruk av tabeller ikke har blitt godt nok begrunnet.

#### 2.4.2 DOE-modellen (1996 og utover)

I 1996 publiserte Energidepartementet eller United States Department of Energy (DOE) en standard, kjent som DOE-standarden. De relevante delene for oppgaven har senere blitt oppdatert i 2006 (DOE, 2006). DOE-standarden, ble utviklet som et verktøy for å evaluere flykollisjon mot farlige anlegg, og ikke bare kjernekraftverk. DOE-standarden, heretter kalt DOE-modellen eller bare DOE, tar høyde for både ulykker i nærheten av en flyplass, og generelle ulykker i området. Dermed kan modellen tilpasses oppgavens problemstilling og anvendes til å vurdere brukonstruksjoner.

Den overordene modellen består av fire deler og ser på frekvensen for flykollisjon mot et anlegg; den strukturelle responsen av anlegget; frekvensen for farlige utslipp fra anlegget, og til sist den skadelige eksponering som følge av lekkasje. Oppgavens avgrensning betyr at kun den første delen av modellen er av interesse. Modellen ble utviklet for å gi et tilnærmet risikonivå istedenfor en detaljert risikoanalyse av et bestemt sted. Usikkerhet i modellen ble vurdert ved å gi en analytisk margin i stedet for en formell usikkerhetsanalyse.

Det første trinnet i standarden er å gjøre en screening for å se om kollisjonsfrekvensen er lavere enn den aksepterte kollisjonsfrekvensen, og kan dermed slippe videre undersøkelse. Den foreslåtte kollisjonsfrekvensen for det første screening trinnet er en kollisjonsfrekvens på mindre enn  $10^{-6}$  per år (mens den i oppgaven er  $10^{-4}$ ). Det er utenfor omfanget av oppgaven å diskutere det anvendte akseptnivået for brukonstruksjonen som er brukt i Norge.

I DOE-modellen er den årlige kollisjonsfrekvensen mot et anlegg primært avhengig av fire faktorer: antall bevegelser per år; sannsynligheten for at et fly vil styrte; den betingede sannsynligheten for at et fly vil styrte innen området der kjernekraftverket er lokalisert; og til slutt grunnarealet som konstruksjonen opptar.

Denne modellen ble ansett som enkel å bruke og nyttig som grunnlag for en modell som skal gjelde i Norge. Modellen må kanskje tilpasses og resultatene oppdateres når mer informasjon blir tilgjengelig, men de generelle prinsippene som er involvert i denne modellen var verdt ytterligere vurdering. Under er en oppsummering med oversikt over hva DOE-modellen inneholder (se Tabell 2.3).

Tabell 2.3: Oppsummeringstabell med oversikt over hva DOE-modellen inneholder.

<b>Evalueringskriterier</b>	<b>Kommentarer</b>
Ulykkessted	Ser på bakgrunn eller flyplassrelaterte ulykker
Frekvensen av bevegelser	Samler lokale flydata for stedet av interesse
Fly	Sivile og militære fly.
Helikopter	Formler oppgitt for lokasjon spesifikke beregninger.
Seilfly (inkl. motorglider)	Ikke nevnt
Luftskip	Ikke nevnt
Varmluftballong	Ikke nevnt
UAVer (Droner)	Ikke nevnt
Flyfaser	De fleste flyfasene er vurdert utenom sivil og militær lavtflyging.
Kollisjonsvinkel	Kollisjonsvinkel oppgitt men ikke basert på hvilken type ulykke det er snakk om.
Brukbarhet/nytte	Ansett som relativt enkel å bruke for folk som ikke er eksperter innen luftfart. Modellen har godt potensial og bør vurderes for videre utvikling.

### 2.4.3 Byrne-modellen (1997 og utover)

Den såkalte Byrne-modellen er et samlenavn på flere modeller som har blitt lagd av den britiske kjernekraftindustrien for å vurdere luftfartøykollisjoner mot kjernekraftanlegg. I oppgavens sammenheng har særlig arbeidet fra Byrne (1997), heretter kalt for B97, vært en stor inspirasjon til å utvikle en beregningsmetode for å estimere kollisjonsfrekvensen av luftfartøy mot Bjørnafjorden bru. Arbeidet til Byrne er basert på en rekke studier som har blitt gjennomført for å samle data og modellere kollisjonsfrekvenser for ikke-flyplassrelaterte og flyplassrelaterte aktiviteter. I modellen til B97 er dermed kollisjonsfrekvensen mot et spesifikt mål basert på bidrag fra to hovedkomponenter: ulykker som oppstår på grunn av flyge-aktivitet utenfor flyplass (bakgrunnsfrekvens for flystyrt), såkalt ikke-flyplassrelatert aktiviteter, og ulykker som oppstår innen området til flyplassen eller flyplassrelaterte aktiviteter. Grunnen til at kollisjonsfrekvensen deles inn i bidrag fra enten ikke-flyplass eller flyplassrelaterte aktiviteter, er fordi sannsynligheten for ulykke er høyest ved avgang og landing på flyplassen, i motsetning til når luftfartøyet er i marsjhøyde (se Tabell 5.4). Ulykkene klassifiseres enten som ikke-flyplass eller flyplassrelaterte aktiviteter basert på hvor ulykken inntreffer i forhold til flyplassen. I B97 ble ulykker som inntraff innen 20 km fra flyplasser klassifisert som flyplassrelatert.

Den totale årlige kollisjonsfrekvensen for et luftfartøy per km<sup>2</sup> per år mot et mål av interesse kan da finnes ved å summere bidraget fra kollisjonsfrekvens som følge av ikke-flyplassrelaterte og flyplassrelaterte aktiviteter. Fremgangsmåten for å beregne disse to bidragene til den totale kollisjonsfrekvensen beskrives mer i Kapittel 5.

Hver hovedkomponent ble videre delt inn i følgende ulike luftfartøykategorier:

- Lett fly med maksimal startvekt på opp til 2300 kg og dekker de fleste "single-engine" fly og "twin-engine" fly opp til seks seter. Det har ikke blitt nevnt noe om gyrokoptere, seilfly, luftskip, og varmluftballonger så disse har ikke blitt inkludert.
- Små transportfly med maksimal startvekt mellom 2300 til 20000 kilo (inkluderte både sivile og militære fly).
- Store transportfly med maksimal startvekt over 20000 kilo.
- Helikoptre ble samlet til en enkelt gruppe. Dette betyr at det var ingen forskjeller mellom små og store helikoptere.

Med maksimal startvekt, eller på engelsk "Maximum Takeoff Weight" (MTOW) forstås det som den høyeste tillatte vekt et luftfartøy kan ha med hensyn til fartøyets konstruksjon, i henhold til gitte sikkerhetsmarginer, ved avgang.

Datagrunnlaget til B97 baserte seg på ulykkesstatistikk som dekker Storbritannia (GB) fra 1985 til 1994. I ulykkesstatistikken var det noen kriterier som ekskluderte ulykker fra dette datagrunnlaget. For eksempel ble ulykker som involverte nødlandinger sett bort i fra basert på en antagelse om at piloten ville se og avverge en kollisjon med kjernekraftverket. I tillegg ble arbeidsrelaterte ulykker, som for eksempel involverer spredning av blant annet plantevernmidler og gjødningsstoffer, og ulykken inntraff innen eller nær arbeidsområdet ikke inkludert i grunnlaget. Under er en oppsummering med oversikt over hva Byrne-modellen inneholder (se Tabell 2.4).

Tabell 2.4: Oppsummeringstabell med oversikt over hva Byrne-modellen inneholder.

<b>Evalueringskriterier</b>	<b>Kommentarer</b>
Ulykkessted	Ser på bakgrunn og flyplassrelaterte ulykker
Frekvensen av bevegelser	Samling av data nasjonalt
Fly	Deler flyene inn i flere typer: Ser på både fly under og over 2300 kg maksimal startvekt, helikoptere, og militære fly.
Helikopter	Vurdert for både bakgrunn og i nærheten av flyplass.
Seilfly (inkl. motorglider)	Ikke nevnt
Luftskip	Ikke nevnt
Varmluftballong	Ikke nevnt
UAVer (Droner)	Droner ble først nevnt i en senere oppdatering av modellen (ESR Technology, 2008). Droner ble ansett for å ikke være et vesentlig bidrag til kollisjonsrisikoen.

Flyfaser	Alle flyfaser er vurdert.
Brukbarhet/nytte	Ansett som anvendelig og relevant for oppgaven.

#### 2.4.4 Oppsummerende evaluering

Litteraturstudien viser at det finnes mange måter å vurdere luftfartøykollisjoner mot et spesifikt mål, som for eksempel et kjernekraftverk, eller i oppgavens tilfelle en brukonstruksjon. Forfatter har til en viss grad stått fritt til å sette sammen en modell basert på eksisterende modeller. Det må bemerkes at den utviklede modellen har sine begrensninger fordi forfatter ikke har tilgang til alle relevante data og begrensede kunnskaper innen luftfartsindustrien. Modellene i litteraturstudien inneholder flere faktorer enn det som har blitt evaluert, men fordi forfatter ikke har hatt tilgang til rapportene som det henvises til i modellene, har det følgelig ikke vært mulig å gjøre en vurdering av den aktuelle faktoren. Tabell 2.5 under, oppsummerer evalueringene som har blitt gjort på modellene som har blitt gjennomgått.

Tabell 2.5: Oppsummerende evaluering av modellene som har blitt gjennomgått i oppgavens litteraturstudie.

Evalueringsskriterier	NUREG	DOE	Byrne
Ulykkessted	Dekket	Dekket	Dekket
Frekvensen av bevegelser	Dekket	Dekket	Dekket
Fly	Dekket	Dekket	Dekket
Helikopter	Dekket	Delvis dekket	Dekket
Seilfly	Ikke dekket	Ikke dekket	Ikke dekket
Luftskip	Ikke dekket	Ikke dekket	Ikke dekket
Varmluftballong	Ikke dekket	Ikke dekket	Ikke dekket
UAVer (Droner)	Ikke dekket	Ikke dekket	Ikke dekket
Flyfaser	Ikke dekket	Dekket	Dekket
Kollisjonsvinkel	Ikke dekket	Delvis dekket	Dekket
Endelig evaluering	NUREG-modellen er forkastet med bakgrunn i at screening-kriteriene av datagrunnlaget og bruk av tabeller ikke har blitt godt nok begrunnet.	DOE-modellen er ansett som relativt enkel å bruke for folk som ikke er eksperter innen luftfart. Modellen har godt potensial og bør vurderes for videre utvikling.	Byrne-modellen er ansett som anvendelig og relevant for å estimere bakgrunnsfrekvens for flystyrt og pålitelighet per flybevegelse. Modellen kan brukes som den er eller settes sammen med en annen modell.

### 3 Metode

Dette kapittelet beskriver hvordan oppgaven ble gjennomført i sin helhet, hvilke metoder som ble brukt, og hvordan og hvorfor de ble brukt. Forfatter har ikke fått noen begrensninger fra SVV, og dermed hatt stor grad av frihet til å velge fremgangsmåte, metodikk, grunnlagsdata og antagelser.

Oppgaven skal svare på hva den årlige kollisjonsfrekvensen for luftfartøy mot Bjørnafjorden bru er, ved å kombinere kvalitative og kvantitative metoder for å analysere empiri. Det skilles mellom to typer forskningsmetoder, kvalitativ og kvantitativ. Kvalitativ metode skal hjelpe oss til å forstå hvordan og hvorfor ting oppstår. Kvalitativ metode genererer kunnskap ved å undersøke meninger og synspunkt for hvordan de som opplever en bestemt hendelse responderer og erfarer den. Det vil si at data kan ordfestes, men ikke tallfestes eller hvor det ikke er et poeng å kvantisere. Kvalitativ metode benyttes ofte der det er relativt få forekomster. Derimot skal kvantitativ metode prøve å gi en presis måling av et eller annet som skal tallfestes og bevises (Blumberg m. fl., 2008). Kvantitativ forskning kan befattes med det som er målbart med tall og verdier. Telling og måling er vanlige former for kvantitative metoder, og ofte er resultatet en verdi.

Videre kan man generelt dele informasjon inn i to kategorier (Strauss og Corbin, 1990); kvalitativ og kvantitativ informasjon. Kvantitativ informasjon er empiri som stammer fra undersøkelser, statistikk, eksperimenter og andre talldata. Mens kvalitativ informasjon er data i form av tekst som dokumenter, prosedyrer, artikler fra konferanser, journaler, intervjuer og feltobservasjoner.

For kontekst rundt problemstillingen benyttes det i stor grad internettbasert innholdsanalyse, og kvalitative metoder i form av dokumentanalyse. I tillegg ble det tatt i bruk en idémyldringsprosess på et tidlig stadium for å identifisere hva som ville bli relevant informasjon i forhold til oppgavens problemstilling senere. Forfatter har dermed i prosessen med informasjonssamling gått gjennom følgende informasjonskilder:

- Nasjonale og internasjonale standarder, veiledninger, modeller og tilnærminger.
- Publiserte artikler, akademisk litteratur og lærebøker.

- Eksempler og veiledninger på risikovurderinger for å lære om hvordan disse har blitt gjort tidligere i forskjellige industrivirksomheter (bygg-industrien, luftfartsindustrien, kjernekraftindustrien, og olje- og gassindustrien).

Deretter ble det brukt en screening-prosess av litteraturen for å identifisere modeller som kunne anvendes for å svare på problemstillingen. Valg av modell(er) som anvendes i risikovurderingsprosessen er basert på tilgjengelig data og informasjon.

## 3.1 Dokumentanalyse

Ifølge Strauss og Corbin (1990) forstås dokumentanalyse som en systematisk prosedyre for å gjennomgå og evaluere dokumenter. Dokumentanalyse som metode krever at data blir studert og tolket for å gi forståelse og utvikle empirisk kunnskap, som kan brukes til å trekke konklusjoner. For å forstå det teoretiske rammeverket og hvordan risikovurderinger av luftfartøykollisjoner kan gjøres, legges det vekt på dokumenter som er offentlig tilgjengelige.

### 3.1.1 Fordeler og begrensninger med dokumentanalyse

Dette avsnittet er i stor grad hentet fra Bowen (2009). Dokumentanalyse som en kvalitativ forskningsmetode har både fordeler og begrensninger. Under er en liste med fordeler av å bruke dokumentanalyse:

1. Dokumentanalyse er en *effektiv metode* som er mindre tidkrevende og derfor mer effektiv enn andre forskningsmetoder fordi man velger data, i stedet for datainnsamling.
2. Mange dokumenter er *tilgjengelige* fra eksempelvis offentlige steder og nettsider. Spesielt internett har gjort det mulig å hente dokumenter uten at forfatter må godkjenne. I denne oppgaven har de fleste av dokumentene kommet fra myndigheter som kommuniserer via sine nettsider.
3. Dokumentanalyse er *kostnadseffektivt* og billigere enn andre forskningsmetoder fordi dataene dokumentene inneholder allerede er samlet. Det som gjenstår forfatter er å vurdere innholdet og kvaliteten på dokumentene.
4. *Mangel på reaktivitet* er et resultat av at dokumentanalyse ikke endrer innholdet i dokumentet. I andre forskningsmetoder, for eksempel observasjon, vil muligens en hendelse forløpe seg annerledes på grunn av bevissthet rundt at observasjon forekommer.



5. *Stabilitet* er et resultat av at dokumenter ikke er reaktive, og dokumentene er dermed egnet til å bli vurdert gjentatte ganger.
6. *Nøyaktighet* er et resultat av at referanser, detaljer og navn er inkludert i dokumenter som gjør forskningsprosessen enklere å finne relevante sammenhenger og følge opp ulik forskning.
7. Dokumenter gir *bred dekning* fordi de spenner over et langt tidsperspektiv, og kan dermed dekke flere hendelser og settinger.

Dokumentanalyse omfatter ikke bare forskningsdokumenter som artikler, bøker og rapporter, men også artikler fra medier som nettaviser. Følgende er en liste over mulige begrensinger av dokumentanalyse:

1. Dokumentene kan ha *mangelfulle detaljer* fordi de er produsert til andre formål enn forskning og opprettet uavhengig av en forskningsagenda. Derfor gir de ofte alene ikke tilstrekkelig detalj for å svare på et forskningsspørsmål.
2. Dokumenter kan av flere ulike grunner være *utilgjengelig* for offentligheten fordi de inneholder sensitiv informasjon.
3. Innholdet i dokumentene, som er brukt i denne oppgaven, er utgitt av myndigheter og organisasjoner, og følgelig kan innholdet være påvirket av av politiske agendaer. Dermed må en være klar over at *partisk selektivitet* i dokumenter kan gi ufullstendige resultater.

Med ovennevnte fordeler og begrensinger av dokumentanalyse så anerkjenner forfatter at dokumentene som har blitt analysert i oppgaven kan ha mangler eller svakheter som kan svekke resultatene. Likevel sett i relasjon til effektiviteten og kostnadseffektiviteten, gir dokumentanalyse fordeler som overveier begrensningene.

## 3.2 Internettbasert innholdsanalyse

Internett har på mange måter gjort det enklere for forskeren å innhente informasjon gjennom innholdsanalyser (Boolsen, 2006). Innholdsanalyse anvendes ofte i forbindelse med analyse av dokumenter og tekster gjennom kvalitative måter å systematisere informasjon ut ifra bestemte kategorier eller kvantifisering av innholdet. Imidlertid må en være klar over fordelene og ulempene internettbasert innholdsanalyse medfører (i likhet med dokumentanalyse). Ifølge Kim og Kuljis (2010) så er fordelene med

innholdsanalyse at arbeidet er ikke-påtrengende, ustrukturert, kontekstsensitivt og i stand til å takle store mengder data, og at det kan benyttes til å studere for eksempel tekst i artikkel uten kontakt med individer. Dermed er det mulig å studere noe uten at forskningen endrer utfallet og følgelig er resultatene mindre påvirket av partisk selektivitet. Imidlertid må en være klar over at internettbaserte innholdsanalyser også har ulemper. En stor ulempe med internettbasert innholdsanalyse er at internettbaserte kilder fort kan endre seg. I tillegg til at den kan føre til spekulative svar på spørsmål. Med andre ord bør innholdsanalysen gjøres i kombinasjon med andre metoder som dokumentanalyse eller kvantitativ innsamling av empiri.

### 3.3 Litteraturstudie

Oppgaven har benyttet en rekke kilder til litteraturstudiet for å forstå det teoretiske rammeverket og hvordan risikovurderinger av luftfartøykollisjoner kan gjøres. For informasjon om hvordan risikovurderinger av luftfartøykollisjoner utføres, og teoretisk rammeverk har arbeidet til DOE-rapporten (1992) og Byrne (1997) vært sentrale. Relevant informasjon og statistikk om lufttrafikk og ulykkesrapporter er i størst grad hentet fra norske kilder tilgjengelig på nett, hovedsakelig fra Avinor og Statens havarikommisjon for transport (SHT). Flere av kildene som er brukt underveis i litteraturstudiet kommer fra søkemotorene vist i Tabell 3.1. Flere artikler, spesielt relatert til transportutviklingen i Norge, er hentet fra Nasjonal transportplan (NTP) og Transportøkonomisk institutt (TØI). Spesielt har arbeidet til Thune-Larsen (2015) vært viktig for oppgaven.

Tabell 3.1: Tabellen viser søkemotorer og søkeord benyttet i oppgaven. Engelsk oversettelse av søkeord er også brukt.

Søkemotorer	Søkeord på norsk	Søkeord på engelsk
Brage BIBSYS	Risikovurdering	Risk assessment
Google Scholar	Kvantitativ risikoanalyse	Quantitative risk analysis
ScienceDirect - Elsevier	Luftfart	Aviation
Oria	Luftfartsulykker	Aircraft accident
TØI	Luftfartøykollisjon	Aircraft impact/collision
SINTEF	Kjernerkeftindustri	Nuclear industry

## 3.4 Datakilder for ulykkesdata og datagrunnlag

### 3.4.1 Datakilder

Dette delkapittelet gir en kortfattet oversikt over kilder til data og ulykkesrapporter, samt hvor de kan finnes.

Det er etablert mange databaser med informasjon om ulykker og dødsulykker. Noen av disse er offisielle databaser som er etablert av internasjonale eller nasjonale myndigheter og som har god kvalitetssikring. Andre er etablert av konsulentselskaper, interessegrupper eller enkeltpersoner. Kvaliteten på denne typen databaser varierer sterkt. Noen databaser er svært detaljerte, mens andre bare gir en kort beskrivelse av selve hendelsen, og sier ingenting om årsakene til ulykken.

De kvantitative dataene benyttet i oppgaven er hentet fra offentlige kilder fra Avinor og SHT i henhold til antall terminalpassasjerer, flybevegelser perioden 2007-2016, samt antall luftfartsulykker perioden 2007-2016. Dataene anses å komme fra sikre, objektive kilder. For en ryddig prosess i utvelgelsen av data har oppgaven klassifisert flyulykker inn i følgende kategorier basert på Rausand og Utne (2009):

- Ulykke under avgang eller landing
- Systemsvikt i undervegsfasen
- Kontrollert flyging inn i terreng eller annen hindring som eksempel bygninger og konstruksjoner
- Kollisjon i lufta mellom to fly
- Skade på personell i eller utenfor flyet
- Andre (lynneslag, ising, ekstrem turbulens og liknende).

Punktene under er viser noen av databasene og informasjonskilder som har blitt blitt brukt i statistikkanalysen.

#### **Statistikk publisert av sivile luftfartsmyndigheter og granskningskommisjoner**

- Den internasjonale organisasjonen for sivil luftfart eller FNs luftfartsorganisasjon (ICAO) arbeider med medlemslandene og industrigrupper for å administrere og styre konvensjonen om internasjonal sivil luftfart. Målet er at medlemslandenes nasjonale luftfart skal bli regulert i samsvar med internasjonale normer. ICAO (2016a) utgir årlig en oppsummeringsrapport med statistiske analyser for global

luftfartssikkerhet så vel som kommersiell flyselskapsaktivitet. Trafikkdata er rapportert for hver region, inkludert Europa, basert på årlig antall planlagte flyavganger mellom 2011 til og med 2015.

- Det europeiske flysikkerhetsbyrået (EASA) er EUs organ for flysikkerhet og utarbeider det felleseuropeiske regelverk for sivil luftfart som i stor grad bygger på anbefalinger fra ICAO. EASA gir ut en årlig flysikkerhetsrapport (EASA, 2017) som inkluderer statistikk på allmennflyging og kommersiellflyging innen deres geografiske grenser.
- Luftfartstilsynet (LT) i Norge sin hovedoppgave er å bidra til økt sikkerhet i all norsk sivil luftfart gjennom å integrere nasjonalt og internasjonalt regelverk, utarbeide forskrifter for norsk luftfart, og føre tilsyn med at aktørene følger gjeldende lover, regler og forskrifter. Særnorske bestemmelser og regelverket bygger i stor grad på anbefalinger gitt av ICAO.
- Statens Havarikommisjon for Transport (SHT) er undersøkelseskommissjonen for transportulykker i Norge innen luftfart, jernbane, veitrafikk, og sjøfart. Offisielle ulykkesrapporter utarbeidet av SHT kan lastes ned fra nettadressen <https://www.aibn.no/Luftfart>.
- Air Accident investigation Branch (AAIB) er et britisk statlig organ som gransker ulykker med sivile luftfartøy. Offisielle ulykkesrapporter fra AAIB kan hentes fra nettadressen [www.aaib.gov.uk](http://www.aaib.gov.uk).
- National Transportation Safety Board (NTSB) er den amerikanske undersøkelseskommissjonen for transportulykker innen luftfart, jernbane, veitrafikk, og sjøfart. Data og offisielle ulykkesrapporter utarbeidet av NTSB kan hentes fra nettsiden <https://www.nts.gov/>.
- Federal Aviation Administration (FAA) er det amerikanske luftfartstilsynet, og data fra FAA kan hentes fra nettsiden <https://www.faa.gov/>.

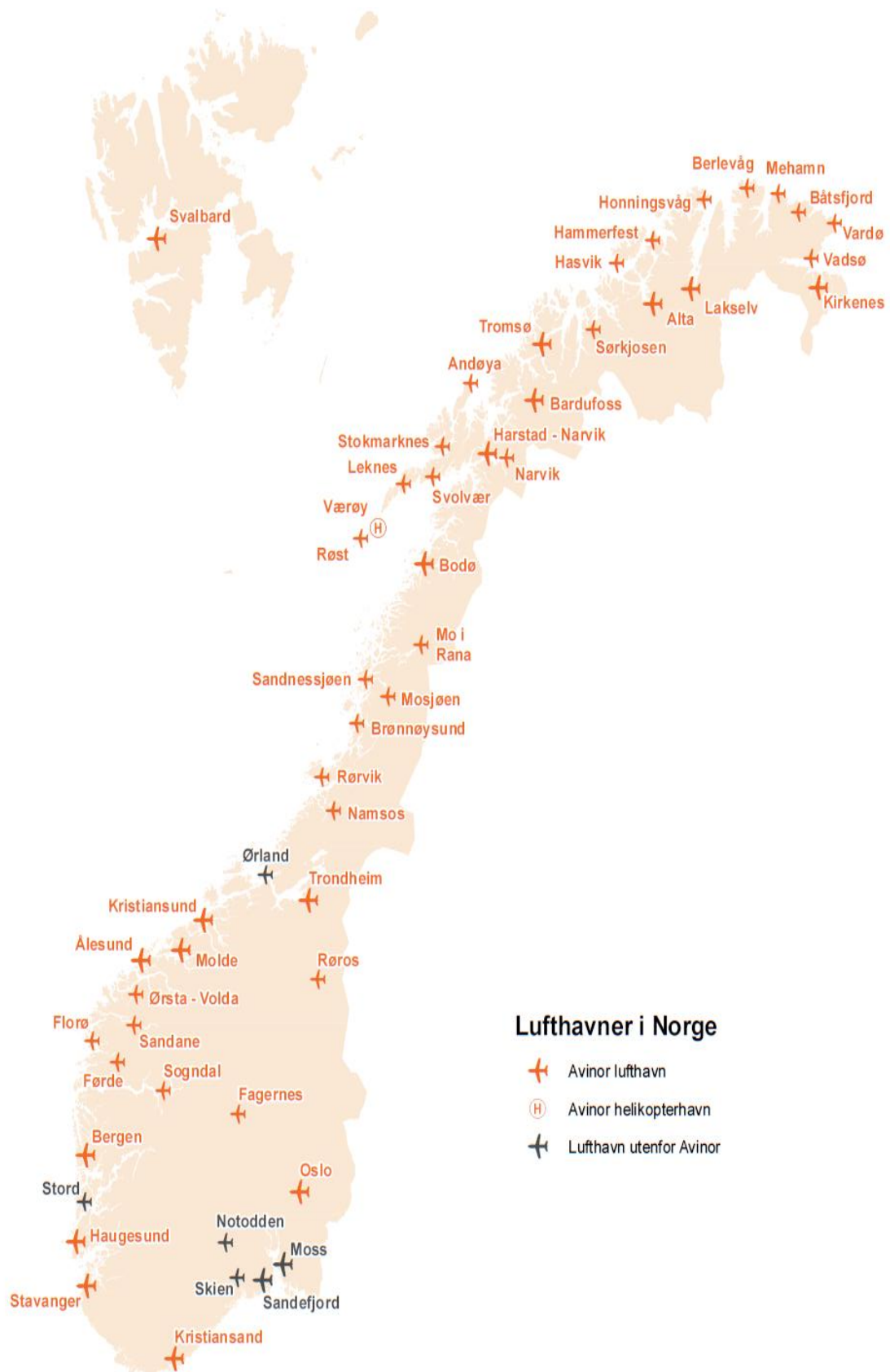
### **Statistikk publisert av luftfartsorganisasjoner og produsenter**

- Internasjonal sammenslutning av ruteflyselskaper eller International Air Transport Association (IATA) publiserer årlig en sikkerhetsrapport (IATA, 2017a) som oppsummerer hvilke områder industrien skal fokusere på, samt tiltak for å redusere antall flyulykker.

- Boeing produserer en betydelig andel av verdens flyflåte og er den største flyprodusenten i verden. Årlig publiserer Boeing (2017) en oppsummeringsrapport med nyttig informasjon om for eksempel antall ulykker i de forskjellige flyfasene.
- Avinor AS (2018a) har ansvar for å drive 45 flyplasser i Norge, der 12 av disse drives i samarbeid med Forsvaret (se Figur 3.1 for oversikt over flyplassene). Avinor publiserer jevnlig statistikk som omfatter all kommersiell lufttransport i Norge. Statistikken beskriver tall på antall terminalpassasjerer og flybevegelser mellom norske flyplasser, og mellom norske flyplasser og utlandet (månedlig og årlig). Statistikken kan hentes fra nettadressen [www.avinor.no/trafikkstatistikk](http://www.avinor.no/trafikkstatistikk).

### **Mulige kilder for å hente flydata**

- Flightradar24.com er en nettside som viser direktesendt flytrafikk, samt historiske data for tidligere flyginger. Nettsiden har blitt brukt til å finne antall overflygninger i Bjørnafjorden-området. Flydata av tidligere flyginger inkluderer posisjon, hastighet og høyde for flyet, og kan hentes fra nettsiden <https://www.flightradar24.com/>.
- Radarbox24.com er en konkurrent til Flightradar24 som viser direktesendt flytrafikk. Flydata kan hentes fra nettsiden <https://www.radarbox24.com/>.



Figur 3.1: Oversiktskart over lufthavner i Norge som driftes av Avinor og Forsvaret. Hentet fra NTP (2016).

### 3.4.2 Datagrunnlag for estimering

Dette delkapittelet beskriver datagrunnlaget som har blitt brukt i oppgaven. Datagrunnlaget for estimering baserer seg i stor grad på ulykkesrapporter utgitt av SHT. SHT kategoriserer disse i fire forskjellige kategorier som "alvorlig luftfartshendelse", "luftfartshendelse", "luftfartsulykke", og "lufttrafikkhendelse". I relevans til oppgavens problemstilling har datautvelgelsen bare prioritert kategorien "luftfartsulykker". Ifølge ICAO defineres en luftfartsulykke som «en uønsket begivenhet som inntreffer i forbindelse med bruk av et luftfartøy fra det tidspunkt en person går om bord i fartøyet med flyging som formål, til alle har forlatt fartøyet. Minst én av følgende kriterier må være oppfylt for at en ulykke skal kategoriseres som luftfartsulykke:

1. Dersom noen dør eller påføres alvorlig skade som følge av enten å være i luftfartøyet, eller å være i direkte kontakt med en del av luftfartøyet. For eksempel deler som løsner fra det, eller på grunn av direkte virkninger av eksosstrøm fra jetmotor. Dødsfall og skader som skyldes naturlige årsaker regnes ikke som en luftfartsulykke.
2. Skade som nedsetter luftfartøyets yteevne, flyge-egenskaper, eller styrken på strukturen, og som nødvendiggjør større reparasjon eller utskifting av deler eller komponenter.
3. Luftfartøyet er savnet eller fullstendig utilgjengelig.» (ICAO, 2016b, s. 1-1)

Følgende data har blitt ekskludert fra datagrunnlaget:

- Ulykker som ikke har blitt klassifisert på grunn av utilstrekkelige data.
- Fly produsert i Samveldet av uavhengige stater (SUS) eller Sovjetunionen er ekskludert fordi det mangler operasjonelle data. Kommersielle fly brukt av militæret er også ekskludert (militær-eide kommersielle fly brukt til sivil flyging er derimot inkludert).
- Tilsiktede handlinger som sabotasje, kapring, terrorisme og militære handlinger er ekskludert fra datagrunnlaget.

For å få en ryddig prosess i datasamlingsprosessen grupperes de forskjellige fasene av flyreisen inn i følgende tre forskjellige flyfaser; avgangsfase, underderveisfase, og landingsfase (se Tabell 5.4). En mer detaljert beskrivelse av de ulike flyfasene som er brukt i Tabell 5.4 finnes i vedlegg E.

Videre i utvelgelsen av data har det henholdsvis blitt brukt ytterligere kriterier for beregning av kollisjonsfrekvens som følge av aktiviteter i bakgrunnen og i nærheten av flyplassen. Datagrunnlaget er beskrevet mer detaljert under.

### **Datagrunnlag for beregning bakgrunnsfrekvens for flystyrt**

For å beregne årlig bakgrunnsfrekvens for flystyrt per km<sup>2</sup> landareal har datagrunnlaget filtrert bort og ekskludert ulykker som har følgende kriterier:

- En ulykke som tydelig inntraff i avgang eller landingsfasen, eller var involvert i flyplassrelaterte aktiviteter som venting for å gå inn for landing. Dette ekskluderer ulykker som inntraff innen 20 km av flyplassen.
- En ulykke som inntraff som følge av nødlanding og piloten til en viss grad hadde kontroll på luftfartøyet til å velge landingsplass. I dette tilfellet er det rimelig å anta piloten vil manøvrere bort fra tettbygdestrøk, eller store konstruksjoner på bakken.
- Arbeidsrelaterte ulykker, som for eksempel involverer reindring eller spredning av blant annet plantevernmidler og gjødningsstoffer, og ulykken inntraff innen eller nær arbeidsområdet.
- Ulykken involverte et helikopter som svever nær bakken.
- Ulykker som involverer skade på passasjerer forårsaket av turbulens.

Tabell 3.2 under, oppsummerer antall luftfartsulykker som har blitt valgt ut til datagrunnlaget for beregning av årlig bakgrunnsfrekvens for flystyrt i delkapittel 5.2 som kommer senere. Antall luftfartsulykker i Norge er basert på perioden 2007 til 2016. Grunnen til at ulykkestall fra 2017 og 2018 ikke er tatt med i grunnlaget er fordi mange av disse fortsatt er pågående undersøkelser. En mer detaljert beskrivelse av luftfartsulykkene finnes i vedlegg (se Tabell B.1).

### **Datagrunnlag for estimering av luftfartøyets ulykkessannsynlighet per bevegelse**

For å estimere luftfartøyets ulykkessannsynlighet per bevegelse baseres datagrunnlaget på antall dødsulykker som inntreffer som følge av et gitt antall bevegelser. En dødsulykke ble ansett som flyplassrelatert dersom den tilfredsstilte følgende kriterier:

- Ulykken inntraff innen 20 km av flyplassen.



- Ulykken inntraff som følge av at piloten mistet kontroll over luftfartøyet og klarte ikke å unngå kollisjon med bygninger eller konstruksjoner.
- Ulykken resulterte i fatale skader på besetning eller passasjerer.

Luftfartøyets ulykkessannsynlighet per bevegelse brukes i ligning (4) til å beregne kollisjonsfrekvensen som følge av flyplassrelaterte aktiviteter. Tabell 3.3 under, oppsummerer antall dødssulykker som har blitt valgt ut til datagrunnlaget for beregning av luftfartøyets ulykkessannsynlighet per bevegelse i delkapittel 5.3 som kommer senere. Antall dødsulykker og bevegelser i Norge er basert på perioden 2007 til 2016. Grunnen til at ulykkestall fra 2017 og 2018 ikke er tatt med i grunnlaget er fordi mange av disse fortsatt er pågående undersøkelser. En mer detaljert beskrivelse av dødsulykkene finnes i vedlegg (se Tabell B.2).

Tabell 3.2: Antall luftfartsulykker i Norge per år i perioden 2007 til 2016 basert på ekskluderingskriteriene over.

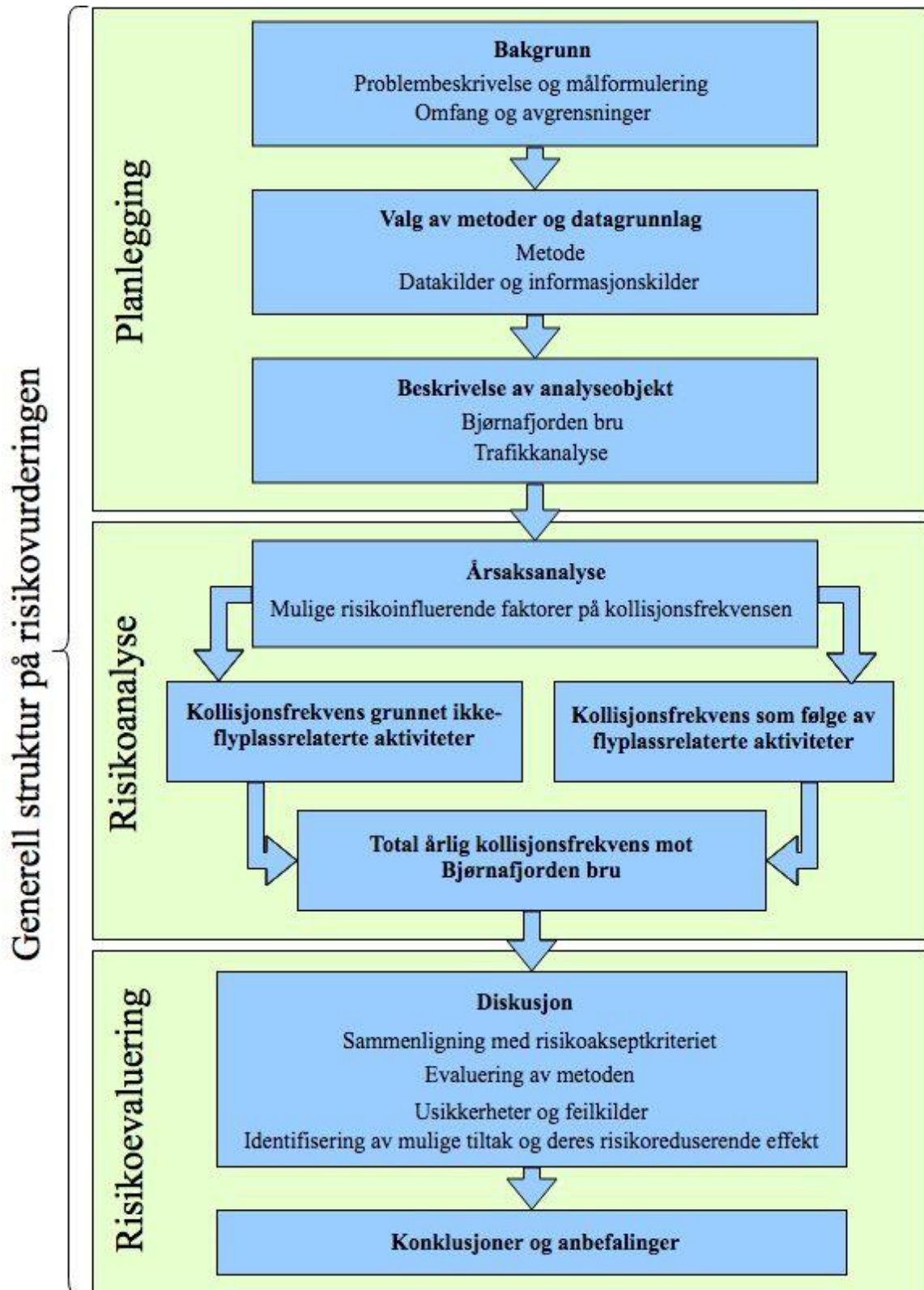
År	Antall luftfartsulykker
2007	13
2008	9
2009	10
2010	9
2011	8
2012	8
2013	7
2014	5
2015	10
2016	10
<b>Totalt</b>	<b>89</b>

Tabell 3.3: Antall bevegelser og dødsulykker i Norge per år i perioden 2007 til 2016.

År	Antall bevegelser (million)	Antall dødsulykker
2007	0.648	0
2008	0.655	2
2009	0.618	1
2010	0.662	2
2011	0.754	1
2012	0.814	2
2013	0.821	0
2014	0.848	1
2015	0.829	1
2016	0.813	1
<b>Totalt</b>	<b>7.47</b>	<b>11</b>

### 3.5 Oversikt over risikovurderingen

Figur 3.2 viser den generelle strukturen på risikovurderingen som har blitt gjort i oppgaven. Risikovurderingen baserer seg på NS 5814 som nevnt tidligere i oppgaven.



Figur 3.2: Oversikt over den generelle strukturen på risikovurderingen i oppgaven.

# 4 Beskrivelse av analyseobjekt – Bjørnafjorden bru og lufttrafikken

## 4.1 Bjørnafjorden bru

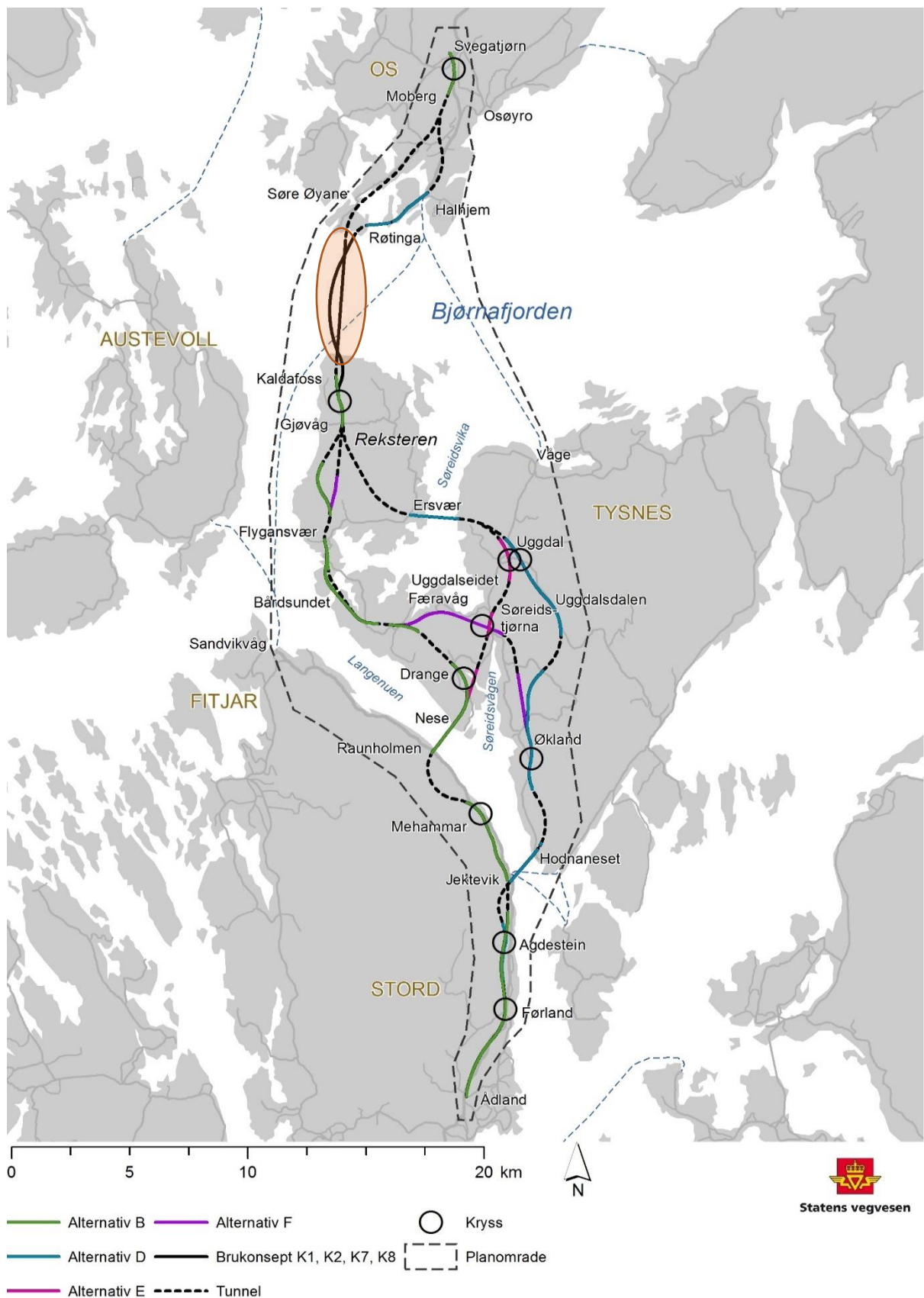
Bjørnafjorden bru er en planlagt ferjefri forbindelse på E39 mellom Os og Stord i Hordaland. Det planlagte utbyggingsområdet ligger mellom 20 til 23 km sør for Bergen lufthavn Flesland, og ligger innflygingsflaten til bane 35 (fra sør) og utflygningsflaten fra bane 17 (mot sør). Bruens beliggenhet i forhold til Bergen lufthavn gjør det interessant å finne ut risikoen for luftfartøykollisjon mot bruene (se Figur 4.2).

Dagens ferjesamband på E39 går mellom Halhjem og Sandvikvåg, se Figur 4.1 (langs blå stiplede linjer). Kryssing av Bjørnafjorden tar i dag omtrent 40 minutter. Om ferjesambandet blir erstattet med bru vil dette kutte reisetiden ned til 11 minutter. Etter planen skal bygging av bruene starte i 2024, og vil tidligst bli ferdigstilt i 2030.

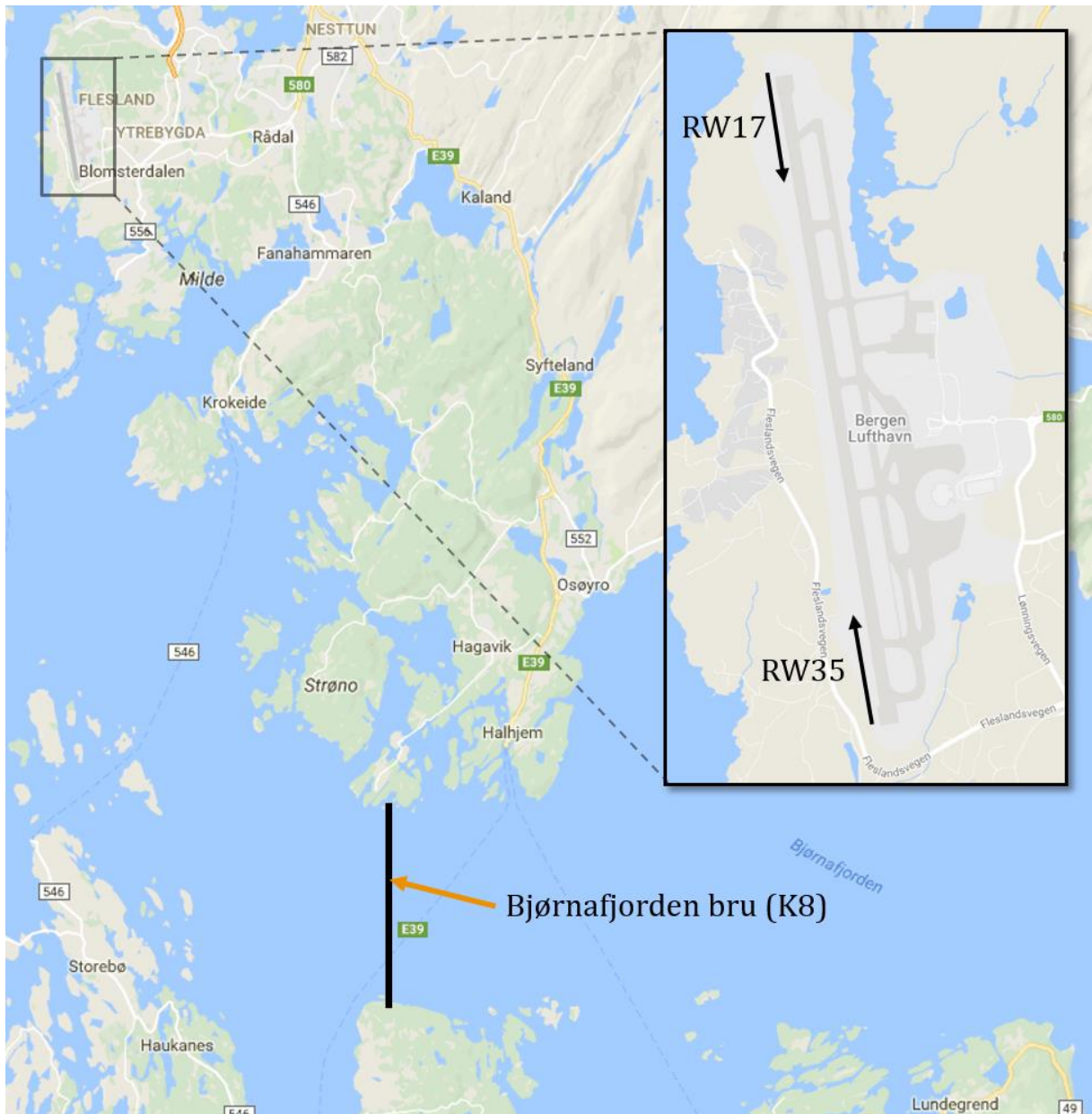
Bruene skal krysse Bjørnafjorden sør for Bergen, som er 5 km bred og opptil 600 meter dyp. Bredden og dybden til Bjørnafjorden gjør at det ikke er mulig å bygge en tradisjonell bru, og dermed må det utvikles en ny type bru som gjør det mulig å krysse fjorden. Arbeidet har bestått i utvikling av tre prinsipielt forskjellige hovedkonsepter: flytebru, rørbru og flerspenns-hengebru på flytende fundamenter, også kalt TLP. Hvert hovedkonsept har igjen flere underkonsepter som bygger på hovedkonseptet. Til sammen har det blitt foreslått åtte underkonsepter (se Tabell 4.1).

Tabell 4.1: Oversikt over foreslåtte brukonsepter for Bjørnafjorden.

Konsept	Beskrivelse
K1	Flerspenns-hengebru på flytende fundament (TLP) med flyter i stål.
K2	Flerspenns-hengebru på flytende fundament (TLP) med flyter i betong.
K3	Pongtongforankret rørbru.
K4	Strekstagforankret rørbru.
K5	Endeforankret flytebru med seilingsled midtfjords.
K6	Sideforankret flytebru med seilingsled midtfjords.
K7	Endeforankret flytebru med seilingsled i sør.
K8	Sideforankret flytebru med seilingsled i sør.



Figur 4.1: Oversiktskart over alternative vegtraséer som skal utredes i kommunedelplan med konsekvensutredning i samsvar med vedtatt planprogram. Illustrasjon er hentet fra Statens vegvesen (2018).



Figur 4.2: Illustrasjonen viser Bjørnafjordbruens planlagte beliggenhet i forhold til Bergen lufthavn, samt rullebaneretning 17 og 35, betegnet henholdsvis RW17 og RW35.

I det følgende delkapittelet er en kort beskrivelse av de foreslåtte brukonseptene og hvilken type bru Statens vegvesen på nåværende tidspunkt mener å ha størst potensial for å realiseres.

Flerspenns-hengebru på flytende fundament i enten stål (K1) eller betong (K2) kombinerer kjent hengebruteknologi sammen med teknologi fra offshore. Etter videre utvikling av brukonseptene og nye kostnadsanslag for de ulike konseptene, har Statens vegvesen avklart at TLP-hengebru (konsept K1/K2) ikke blir tatt med videre. TLP-hengebru har en vesentlig høyere kostnad enn flytebru. Dessuten vil den ikke gi bedre

løsning med tanke på teknikk, konstruksjon og trygghet, eller naturmiljø og landskap enn flytebru.

En rørbru er et nedsenket betongrør som blir holdt på plass enten med pongtonger på overflaten (K3), eller med strekkstag fra sjøbunnen (K4). Rørbru var på et tidlig stadium en attraktiv mulighet, men en har valgt å gå bort fra konseptet fordi det ville bli for dyrt å bygge og vedlikeholde.

Konseptene endeforankret flytebru (K5) og sideforankret flytebru (K6), begge med seilingsled midtfjords, ble utgreid februar 2016. Disse variantene med seilingsled midtfjords er imidlertid utgått til fordel for seilingsled i sør (K7) og (K8) med tanke på bruens stabilitet i vind og reduserte kostnader.

Statens vegvesen har på nåværende tidspunkt ikke bestemt seg for hvilket brukonsept de skal satse på, men per dags dato står valget enten mellom endeforankret flytebru (K7) eller sideforankret flytebru (K8), som begge har seilingsled i sør.

Den endeforankrede flytebruen (K7) som vises i Figur 4.3 vil ha en total lengde på 5479 meter, en bredde på 77 meter, og høyeste punkt på 242.5 meter (Statens vegvesen, 2018).

Den sideforankrede flytebruen (K8) som vises i Figur 4.4 og 4.5 vil ha en total lengde 5158.5 meter, bredde på 77 meter, og den høyeste dimensjonen vil være på 242.5 meter (Statens vegvesen, 2018).



Figur 4.3: K7 - Endeforankret flytebru. Illustrasjon hentet fra Statens vegvesen (2018).

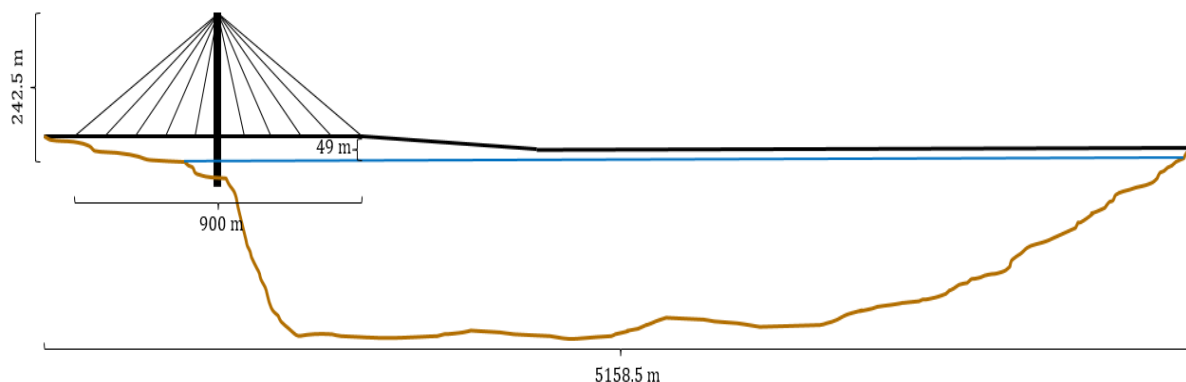


Figur 4.4: K8 - Sideforankret flytebru. Illustrasjon hentet fra Statens vegvesen (2018).



Figur 4.5: Illustrasjonen viser hvordan den sideforankrede flytebruen (K8) er festet til sjøbunnen med stålvaiere. Illustrasjon hentet fra Statens vegvesen (2018).

Fordi oppgaven bare anses som en enkel analyse vil arealområdet som K7 og K8 opptar forutsettes å være tilnærmet like siden det ikke er store forskjeller i bredde, lengde og høyde mellom bruene. Dermed skiller analysen ikke mellom endeforankret flytebru (K7) og sideforankret flytebru (K8), slik at risikoen for de to underkonseptene er antatt å være den samme. For å forenkle beregningsprosessen har forfatter valgt å gjøre ytterligere avgrensninger ved å bruke sideforankret flytebru (K8) som analyseobjekt. Forfatter har hatt tilgang til detaljerte tegninger av sideforankret flytebru, men av hensyn til konfidensialitet rundt tegningene er det valgt å gjengi en enkel skisse med de viktigste dimensjonene for oppgaven (se Figur 4.6 under).



Figur 4.6: Enkel skisse med de viktigste dimensjonene av Bjørnafjorden bru for beregning av totalt areal. Forholdene mellom de ulike dimensjonene på bruene i skissen er ikke i rett skala. I tillegg er pongtonger og forankringer ikke tatt med i skissen.

## 4.2 Trafikkanalyse

Bjørnafjorden bru vil som nevnt ikke bli ferdigstilt før i år 2030. I tillegg skal bruene dimensjoneres for å ha en levetid på minst 100 år. Dermed er det hensiktsmessig å se på hvordan trafikken vil utvikle seg. I oppgaven introduseres derfor en såkalt skaleringsfaktor for dagens trafikkvolum for å kunne si noe om hvordan den utvikler seg fremover. Dette delkapittelet ser på trafikkutviklingen og viser hvordan trafikken kan skaleres.

### 4.2.1 Dagens trafikknivå

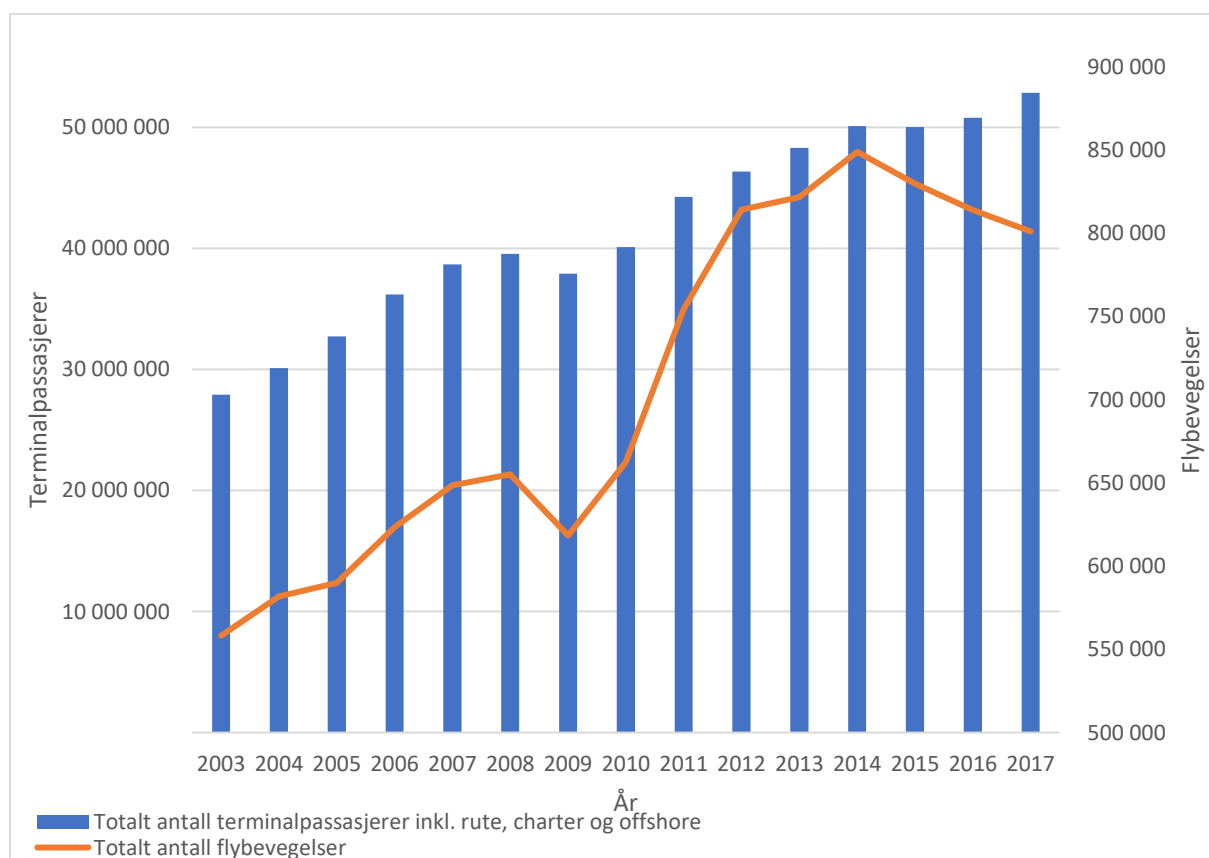
Trafikkvolumet innen norsk luftfart har hatt en kvantitativt sett stor vekst de siste 15 årene. Ifølge Avinors statistikker (Avinor, 2017) har antallet terminalpassasjerer som kommer eller drar steget fra omtrent 28 millioner i 2003, til over 52 millioner i 2017, en økning på over 89 prosent. Figur 4.6 viser at antall flybevegelser har steget markant fra omtrent 558 tusen i 2003 til litt over 800 tusen i 2017. Den prosentvise økningen har her vært mindre med i overkant av 43 prosent økning. Fra 2002 til 2008 opplevde flytrafikken fra og til norske lufthavner kraftig vekst, før finanskrisen førte til en markant nedgang i luftfarten høsten 2008. Fra høsten 2009 og fram til slutten av 2014 var det sterk vekst før trafikken hadde en negativ nedgang siden starten på oljekrisen i 2014. Dette viser at det er en sammenheng med trafikkaktivitetene og investeringene knyttet til finansindustrien og offshore-industrien.



Imidlertid må det bemerkes at selv om antall flybevegelser har gått ned så har antall terminalpassasjerer økt kraftig. Dette forteller oss først og fremst at flyene går med langt høyere kapasitet enn tidligere. Selv med nedgang i flybevegelser forventes det at fra 2018 og utover vil det være økt aktivitet på grunn av at situasjonen rundt oljekrisen ser ut til å bedre seg.

Ikke overaskende varierer trafikken mye fra måned til måned, og er sterkt sesongpreget grunnet turisttrafikk (se Figur A.1 i vedlegg A) med de travleste månedene på sommerstid (mellom 1. mai og 31. oktober). Det forventes at de samme variasjonene mellom måneder i trafikken vil fortsette fremover, men siden det i oppgaven fokuseres på en hendelse som skjer så langt frem i tid så vil det ikke være hensiktsmessig gå ned på månedsnivå.

Dersom vi ser på de ti største flyplassene i Norge og rangerer disse etter gjennomsnittlig antall flybevegelser for de siste fem årene fra 2013 til 2017, ser vi at Bergen lufthavn er Norges nest mest trafikkerte flyplass etter Oslo lufthavn (se Tabell A.2 i vedlegg). Siden Bjørnafjorden ligger sør for Bergen lufthavn og innflygingsbanen har oppgaven sett på hvordan lufttrafikken fra denne flyplassen bidrar til sannsynligheten for luftfartøykollisjon mot Bjørnafjorden bru.



Figur 4.6: Totalt antall terminalpassasjerer og flybevegelser i Norge 2003 – 2017. Data er hentet fra Avinor (2018) og mer detaljert beskrevet i Tabell A.1.

For oppgavens del betyr forventet passasjervekst og trafikkvekst at trafikkgrunnet må skaleres slik at risikoanalysen blir gjennomført med riktige forutsetninger. Hvordan trafikkskaleringen har blitt gjort beskrives mer detaljert i neste delkapittel.

#### **4.2.2 Trafikkskalering**

Skalering av trafikkmengder benyttes for å kompensere for eventuelt manglende datagrunnlag for dagens situasjon, samt for å skalere trafikken til andre situasjoner, som for eksempel en prognose.

Utviklingen i årene fremover for Oslo lufthavn er beskrevet i NTP (2017) og gjengitt i Tabell 4.2. Disse tallene er basert på prognose fra Thune-Larsen (2015) og angir antall passasjerer og flybevegelser per år for regelbunden trafikk både for innland og utland. Antall flybevegelser er beregnet som en funksjon av antall terminalpassasjerer. Både utvikling i antall fraktfly, flystørrelser, eventuell transitt og belegg på flyene vil ha betydning for utviklingen i forholdet mellom antall terminalpassasjerer og antall flybevegelser. Dette er forhold som vil variere fra lufthavn til lufthavn, og antagelser fremover vil være preget av usikkerhet. På grunn av arbeidsomfanget knyttet til en drøfting av disse forholdene for hver enkelt lufthavn er det her lagt til grunn at antall terminalpassasjerer og bevegelser vil utvikle seg prosentvis som antatt for Oslo lufthavn. Det er ikke grunn til å anta at Bergen lufthavn Flesland vil avvike fra den utviklingen som er beskrevet.

For lufthavner der det er spesielt kritisk å utarbeide prognoser for flybevegelser basert på detaljert drøfting kan dette gjøres som et etterarbeide. Dagens trafikksituasjon har hatt en svakere vekst enn antatt, og dermed legges det til grunn gjennomsnittet for de siste fem årene for prognosen siden de er tilnærmet like (99 000 bevegelser) som i år 2015. Gjennomsnittet for de fem siste årene har blitt brukt som grunnlag i skaleringen fordi dette gir en mer konservativ tilnærming for å ta hensyn til usikkerheter i antall forventede bevegelser. Dermed brukes følgende prognoser for antatt utvikling i antall terminalpassasjerer og bevegelser for Bergen lufthavn som gjengitt i tabell 4.3 under.

Tabell 4.2: Forutsatt trafikkvekst for 2015 og prognoser for terminalpassasjerer og flybevegelser på OSL 2020-2060. (Kilde: NTP, 2017).

År	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Million passasjerer	24.6	27.8	31.8	35.1	37.9	40.7	43.7	46.7	49.7	52.7
1000 flybevegelser	242	257	285	306	322	338	355	372	389	406

Tabell 4.3: Forutsatt trafikkvekst for 2015 og prognoser for terminalpassasjerer og flybevegelser på BGO 2020-2060.

År	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Million passasjerer	6.0	6.8	7.8	8.6	9.2	9.9	10.7	11.4	12.1	12.9
1000 flybevegelser	99	105	117	125	132	138	145	152	159	166

I oppgaven beregnes flyplassrelatert kollisjonsfrekvens basert på prognose situasjoner. Prognosen i Tabell 4.3 angir en forventet utvikling av trafikken for Bergen lufthavn. For Bergen lufthavn tilsa prognosene at forventet antall terminalpassasjerer og bevegelser skulle være på omtrent 101 000 bevegelser for 2017. Det viser seg at trafikken i 2017 faktisk var mye lavere, med 90 341 flybevegelser. Tallene viser at antall flybevegelser fra Bergen har stagnert, og hatt en negativ nedgang siden starten på oljekrisen i 2014. Dette viser at det er en sammenheng med aktivitetene og investeringene knyttet til offshore-industrien. Trafikken forventes derfor å flate ut. Skalering for trafikk settes derfor til henholdsvis 1.11 og 1.07 for 2025 og 2030. Prognosetallene sier da at det blir en økning til 105 000 bevegelser i 2020, og 125 000 i 2030. Prognosene viser en årlig vekst på 2.6 prosent fram mot 2030, etterfulgt av en noe avtagende vekst. Økt konkurranse og bedre tilbud kan gi raskere trafikkvekst. Usikkerheten er stor på grunn av utviklingen i olje- og gassnæringen. TØIs prognose er derfor vurdert som det beste anslaget på framtidig utvikling.

### 4.2.3 Rullebanebruk ved Bergen lufthavn

Hovedrullebanen ved Bergen lufthavn (BGO) er orientert tilnærmet nord-syd og kan benyttes i begge retninger. Rullebanene benevnes som bane 17 (banebruk mot sør) og bane 35 (banebruk mot nord). Banen er 45 meter bred pluss 7.5 meter skuldre, og har avgangslengder på ca. 2800 meter. Informasjon om BGO har blitt hentet fra Aeronautisk Informasjonspublikasjon for Norge (AIP, 2018).

Bergen lufthavn er åpen 24 timer i døgnet og trafikken styres avhengig av tidspunkt på døgnet. Bruken av rullebaneretning er avhengig av vindforhold fordi luftfartøy vil som

regel ta av eller lande imot vindretningen om mulig. I beregningene har det blitt tatt hensyn til at rullebanen kan benyttes i begge retninger og at det er en naturlig fordeling av trafikken mellom de to inn- og utflygingsretninger til hver bane. Forfatter har gjort en enkel telling basert på flydata fra Flightradar24.com for å få et innblikk i fordelingen av innflyging og utflyging ved Bergen lufthavn. Trafikken på hovedrullebanen ble funnet til å ha en fordeling på 55/45 med mest trafikk på retning 17, som er i retning mot Bjørnafjorden. SINTEF (2014) fant en trafikkfordeling på omtrent 60/40 rullebanen med mest trafikk på retning 17, noe som ikke er ikke så forskjellig fra det som har blitt funnet i oppgaven. Fordelingen på rullebanen fra SINTEF brukes som grunnlag i analysen fordi det er basert på et bedre datagrunnlag i tillegg til at det gir en mer konservativ tilnærming for å ta hensyn til usikkerheter i antall forventede bevegelser over Bjørnafjorden.

# 5 Risikoanalyse av luftfartøykollisjon mot Bjørnafjorden bru

Dette kapittelet beskriver hvordan metoden for risikoanalyse av luftfartøykollisjon mot Bjørnafjorden bru har blitt utført. Metoden er som nevnt i stor grad inspirert av tidligere arbeider om luftfartøykollisjon mot kraftverk og farlige anlegg, særlig referansene DOE (1992) og Byrne (1997). I tillegg har forfatter hentet inspirasjon fra risikovurderinger av skipskollisjoner. En oversikt på fremgangsmåten i sin helhet finnes i delkapittel 3.5, og detaljerte utregninger finnes i vedlegg D.

## 5.1 Årsaksanalyse

### 5.1.1 Utvalgte ulykker

For å skaffe innsikt i hvordan ulykker oppstår og hva som forårsaker ulykkene har forfatter gått gjennom et bredt utvalg ulykkesrapporter fra SHT. I relasjon til oppgavens problemstilling har forfatter ikke lyktes med å finne rapporter som omhandler flyulykker på eller ved bruer. For å gjøre det mer interessant og illustrere hva risikoen av flyging innebærer beskrives det under noen utvalgte ulykker der fly har styrtet i nærheten av flyplasser eller i terreng.

#### **Asker-ulykken (1972)**

Asker-ulykken var en flyulykke som hendte den 23. desember 1972 under instrumentinnflyging til Oslo Lufthavn, Fornebu (SHT, 1975). LN-SUY havarerte etter mørkets frembrudd i terreng ved Asdøltjern i Akser, 8.6 nautiske mil fra Fornebu mens luftfartøyet var under innflyging til flyplassen. Luftfartøyet totalhavarerte, og av de 45 ombordværende mistet 40 livet. Kommisjonen kom frem til at den sannsynlige årsaken til ulykken var feil-navigering under en avkortet instrumentinnflyging til bane 6 på Fornebu. Dermed kom flyet under høyden for sikker terrengklaring og fløy rett inn i skogen.

#### **Torghatten-ulykken (1988)**

Den 6. mai 1988 under instrumentinnflyging i tett tåke og yr til Brønnøysund med LN-WFN Dash 7 kolliderte flyet med fjellet Torghatten om lag 10 km sørvest for flyplassen. Alle de 36 ombord omkom. Rapporten fra SHT (1989) påpeker at nedstigningen på siste

del av innflygingen ble påbegynt om lag 4 nautiske mil for tidlig. Dermed kom flyet under høyden for sikker terrengklaring og kolliderte med fjellveggen. Kommisjonen kunne ikke angi noen sikker grunn til at nedstigningen ble iverksatt så tidlig, men mener at besetningen ikke gjennomførte en forskriftsmessig flyging, idet den unnlot fullt ut å forholde seg til gjeldende bestemmelser og prosedyrer for instrumentflyging.

### **Turøy-ulykken (2016)**

Den siste store ulykken i Hordaland skjedde 29. april 2016 da et Airbus Helicopters EC 225 LP på vei fra Gullfaks B til Bergen lufthavn Flesland mistet hovedrotoren og styrtet på en holme øst for Turøy (SHT, 2017). Alle de 13 personene ombord omkom. Havarikommisjonen har avdekket at det var en utmattingssprekk i ett av de åtte andretrinns planetgearene i hovedgearboksen som førte til ulykken. Den pågående undersøkelsen har foreløpig ikke avdekket feil ved materialkvalitet eller produksjonsprosess av planetgearet.

### **Svolvær-ulykken (2018)**

Svolvær-ulykken skjedde 11. februar kl. 2036 da flyet skulle ut på en VFR nattflyging fra Svolvær til Tromsø (SHT, 2018). Etter avgang, da flyet hadde nådd ca. 500 fot høyde, begynte det å svinge til høyre. Det mistet imidlertid raskt høyde og traff sjøen med stor kraft ikke langt fra baneenden. Det var to personer om bord som kort tid etter ulykken ble funnet omkommet. Havarikommisjonen har ikke gjort funn som peker mot at det var tekniske feil ved flyet. Imidlertid viser undersøkelsen at avgangen fra Svolvær lufthavn Helle skjedde i det som blir omtalt som en usedvanlig mørk natt. Flygingen ble foretatt etter de visuelle flygereglene (VFR), noe som tilsier at det skal finnes visuelle referanser utenfor flyet. Nord for flyplassen er det få eller ingen lys som kan tjene som referanse for å holde kurs og stilling på flyet. Mye peker derfor mot at de to om bord kort tid etter avgang mistet kontroll over flyet grunnet manglende visuelle referanser.

## **5.1.2 Risikoinfluerende faktorer på kollisjonsfrekvensen**

Ifølge IATA (2017a) oppstår de fleste ulykker som følge av en lang årsakskjede av uheldige faktorer. For eksempel kan det oppstå motorsvikt og flyet må nødlande, men motorsvikt alene betyr ikke nødvendigvis at det vil oppstå en ulykke. Dersom det i tillegg skjer samtidig som det er dårlig vær og begrenset sikt kan piloten miste kontroll på flyet føre til at flyet kolliderer med terreng.

Ved å grave i ulykkesstatistikk har det vært mulig å identifisere og forstå ulike årsaksforhold og utløsende faktorer som fører til luftfartsulykker. I risikoanalyser i offshore-industrien har det i de senere årene blitt mer populært å innføre såkalte risikoinfluerende faktorer (RIFer) for å identifisere hva som har størst påvirkning på den initierende hendelsen (Vinnem m. fl., 2009). På engelsk kalles det "Risk Influencing Factors", og da benyttes også forkortelsen RIF (Rausand og Uten, 2009). I oppgaven brukes RIF som betegnelse på et forhold som påvirker kollisjonsfrekvensen, enten i positiv eller negativ retning. Eksempler på RIF kan være flyforhold, rullebanens tilstand, og luftfartøyets tekniske tilstand. Andre forhold er pilotens kjøremønster som fartsvalg, høyde, rute, og dyktighet, som pilotens reaksjonsevne.

RIFer kan være faktorer/forhold som påvirker følgende (Rausand og Uten, 2009):

- Sannsynligheten for å initiere avvik.
- Sannsynligheten for tilbakeføring til normalsituasjonen når et avvik har inntruffet.
- Sannsynligheten for å redusere konsekvensen av avviket/ulykken.

I oppgavens sammenheng brukes RIFer for å kartlegge grunnleggende årsaksforhold og for å klargjøre deres innbyrdes viktighet og sammenheng. Ofte kan ulike tiltak bidra til å bedre deres tilstand. For eksempel vil økt vintervedlikehold gi bedre tilstand for den RIF som er kalt isingsforhold. I andre tilfeller kan en "dempe" negative effekter av en "dårlig" RIF ved å innføre barrierer. Et eksempel er å bruke intelligente førerstøttesystem som et tiltak mot redusert førerdyktighet, eller forbedret navigasjonssystem. RIFer kan både være forhold som er relativt permanente, eller forhold som varierer over tid.

Tabell 5.1 viser at vesentlige RIFer for flyulykker er klima og værforhold, funksjonsfeil på fly, funksjonsfeil eller utilgjengelig navigasjonshjelp, motorsvikt og dårlig sikt, og mangel på visuell referanse. En gjennomgang av ulykkesrapporter viser at mange av de ovennevnte RIFer ofte er kombinert med en rekke regelbrudd, feilkommunikasjon, samt mangelfull risikobedømmelse. Under er en nærmere beskrivelse av noen utvalgte RIFer.

Tabell 5.1: Risiko influerende faktorer som har bidratt til dødsulykker fra 2012 til 2016.

(Kilde: IATA, 2017a)

Risiko influerende faktorer	Rangert i prosent
Klima og værforhold	43
Funksjonsfeil på fly	31
Navigasjonshjelp har funksjonsfeil eller utilgjengelig	26
Utmattelse/motorsvikt	25
Dårlig sikt	23
Mangel på visuell referanse	20
Tordenvær	17
Vind/vindskjær/vindkast	11
Lufttrafikktenester	9
Arbeidsstress	9
Isingsforhold	6
Terreng / Hindringer	6
Tap av kontroll på fly	3
Feil i flyinstrumenter	3
Flamme/Røyk (Cockpit/Kabin/Lasterom)	3
Strukturell svikt	3
Fuglekollisjoner	3

### Dårlig sikt og mangel på visuell referanse

Luftfartøy kan navigeres på to måter og det skilles mellom flygeprosedyrer for visuelflyging, og instrumentflyging som henholdsvis følger visuelle flygeregler (VFR) eller instrument flygeregler (IFR). VFR er visuelt basert og krever at piloten kan se bakken og flyr med spesielt definert minste avstand til skyer. IFR er flyging kun basert på instrumentindikasjoner og betyr at flyging kan foregå i mørke, tåke og skyer. Flyene navigerer da ved hjelp av instrumenter og radionavigasjonshjelpemidler som baserer seg på bakkestasjoner eller dirigering fra flygeledere ved kontrolltårnet. Regler for VFR og IFR fastsettes av det enkelte lands luftfartsmyndigheter. I Norge fastsettes de av Luftfartstilsynet gjennom BSL (Bestemmelser for sivil luftfart), som generelt sett er i samsvar med ICAO sine normer. Bestemmelsene omhandler instrumenter og navigasjonsutstyr, minstehøyder, marsjhøyder, samband, posisjonsmeldinger, godkjenning, og overholdelse av reiseplan. Navigasjon av luftfartøy i luften har mye til felles med navigasjon av skip. Forskjell mellom luftfartøy og skip er at det i tillegg til forflytning i horisontalplanet (posisjon) så endrer luftfartøy også høyde (vertikalplanet).

### Isingsforhold



Ising på luftfartøy oppstår ved lave temperaturer og isingsforhold. Ising er svært farlig for lufttrafikk, siden oppbygging av isbelegg endrer de aerodynamiske forholdene på overflaten av luftfartøyet, og på den måten hindre oppdrift eller kontroll. Selv om det i Norge ofte er kaldt, så er ising på fly generelt ikke et problem. Det har blitt innført gode rutiner på å forebygge ising ved å behandle flyene med avisingsmidler for å forhindre eller fjerne isoppbygging på luftfartøyene. Videre har det blitt bedre flygerutiner som gjør at piloter kan velge å unngå flygninger i områder særlig utsatt for isingsforhold.

### **Fuglekollisjoner**

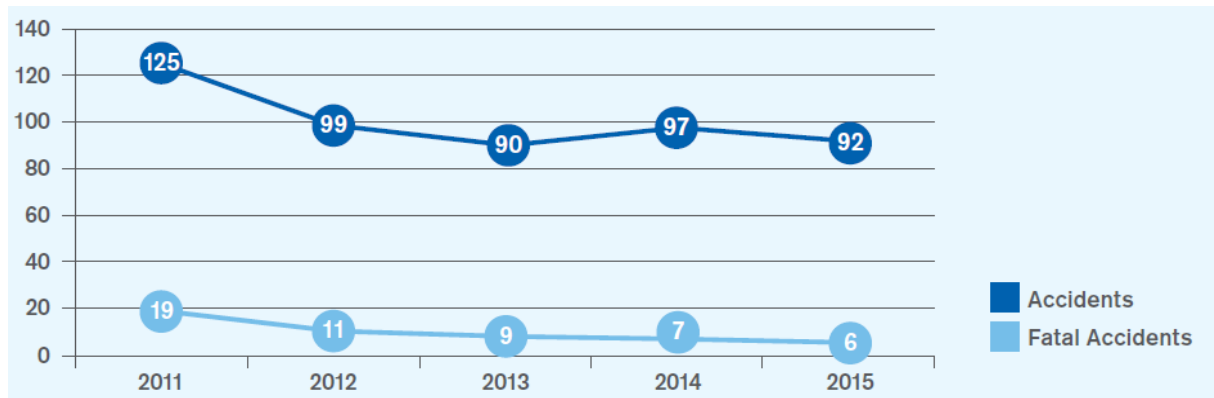
En fuglekollisjon ("birdstrike" på engelsk) oppstår når det er kollisjon mellom fugl og luftfartøy som beveger seg i lufta eller på bakken. Fuglekollisjon ved høy hastighet kan påføre store materielle skader på flyet, og kan for eksempel resultere i at et fly må returnere tilbake til flyplassen om dette oppstår under utflyging. I Luftfartstilsynets statistikk er det registrert 704 fuglekollisjoner i 2014 hvorav 537 av disse er i Norge. Måke, svale og spurv er høyest representert. Fuglekollisjoner avhenger av en rekke faktorer som blant annet temperatur, bestandstetthet og vinterlengde. Med økende populasjonsvekst av fugler langs kysten så har Bergen lufthavn i de siste årene hatt et økende problem med fuglekollisjoner.

## **5.2 Årlig kollisjonsfrekvens grunnet ikke-flyplassrelaterte aktiviteter**

Dødsulykker inntreffer relativt sjeldent og derfor kan antallet ulykker variere betydelig fra ett år til det neste. Derfor kan det være misvisende å fokusere for mye på ulykkestall for et enkelt år. I tillegg øker aktivitetsvolumet i luftfarten stadig og dette må tas i betraktning. Av disse grunnene er det mer fornuftig å se på ulykkesfrekvens eller rate når man analyserer ulykkestrender. Med ulykkesfrekvens forstås antall ulykker per million bevegelser (en bevegelse er enten avgang eller landing).

Statistikken fra ICAO (2016a) i Figur 5.1 viser at årlig antall ulykker har generelt sett hatt en nedgang mellom 2011 og 2015, fra 125 i 2011 til 92 i 2015. Det var en reduksjon i antall ulykker i 2015 og en medfølgende reduksjon i ulykkesfrekvens til 2.8 ulykker per million bevegelser. Imidlertid har antallet av ulykker vært ganske stabil siden 2011. I 2015 var det en reduksjon på fem prosent i totalt antall ulykker innen kommersiell

lufttransport i forhold til 2014. Mens antallet kommersielle bevegelser økte med tre prosent i forhold til 2014. Som følge av dette, ble ulykkesfrekvensen for 2015 redusert til 2.8 ulykker per million bevegelser, det vil si en reduksjon på syv prosent i forhold til 2014 (3.0 ulykker per million bevegelser). I tillegg har antallet dødsulykker i 2015 hatt en nedgang til seks, den laveste i de siste fem årene.



Figur 5.1: Antall ulykker og dødsulykker for kommersielle flyginger i perioden 2011 til 2015. Hentet fra ICAO (2016a).

### 5.2.1 Estimering av årlig bakgrunnsfrekvens for flystyrt per km<sup>2</sup>

Antall flystyrt ble i B97 antatt og modellert som en Poisson-prosess, selv om ikke alle Poisson-forutsetningene (stasjonær, statistisk uavhengighet, og at flere hendelser ikke inntreffer samtidig) er oppfylt for ulykkene. Det viser seg likevel at noen tilnærminger kan gjøres (disse er beskrevet mer i diskusjonsdelen i punkt 6.2.2) uten at det vil påvirke resultatet av beregningene nevneverdig. Oppgaven har i likhet med B97, antatt at antall flystyrt per år vil følge en Poisson-fordeling med parameter  $\lambda$ :

$$P(x|\lambda) = \frac{(\lambda)^x}{x!} e^{-\lambda}, \quad (1)$$

der  $\lambda$  er den underliggende frekvensen for flystyrt, og  $x$  er antall luftfartøyulykker for en gitt periode.

#### Konfidensintervallet til $\lambda$

En vanlig metode for å angi usikkerheten til et estimat er å beregne et konfidensintervall. Med å anta at antall flystyrt per år vil følge en Poisson-fordeling så er fordelingen at kji kvadrat-fordelingen kan bli brukt til å beregne den kritiske verdien i konfidensintervallet for enhver signifikansnivå. I luftfartøykollisjonsstudier (for eksempel B97) har det vært vanlig praksis å bruke femti prosent signifikansnivå ( $\alpha =$

0.5) for å angi robustheten i det beregnede tallet. Gitt et antall observerte luftfartsulykker  $\hat{x}$  som inntreffer i perioden  $T$ , så kan man finne et ensidig  $\alpha$  øvre konfidensintervall for den underliggende frekvensen  $\lambda$  og ved å løse likningen:

$$P(\chi_{2(\hat{x}+1)}^2 \leq 2\lambda_U) = \alpha, \quad (2)$$

der  $\chi_n^2$  er kjikvadrat-fordelingen med  $n$  frihetsgrader. Dette leder til ligningen:

$$\lambda_U = \frac{\chi_{1-\alpha, 2(\hat{x}+1)}^2}{2T} \quad (3)$$

Der  $\lambda_U$  uttrykker bakgrunnsfrekvensen som antall flystyrt per år. Dersom  $\lambda_U$  deles med totalt landareal (som gjengitt i Tabell 5.2) får vi uttrykt bakgrunnsfrekvensen som flystyrt per km<sup>2</sup> landareal per år.

### 5.2.2 Beregning av årlig bakgrunnsfrekvens for flystyrt per km<sup>2</sup> mot Bjørnafjorden bru

I perioden 2007 til 2016 har det totalt vært 89 luftfartsulykker, i gjennomsnitt 8.9 luftfartsulykker per år (se Tabell 3.2). Dermed kan man finne en bakgrunnsfrekvens for flystyrt per km<sup>2</sup> per år (se Tabell 5.2). Beregningene har ikke tatt hensyn til å trekke fra arealet av flyplasser eller lagt til arealer for å ta hensyn til den lange kystlinjen langs fastlandet i Norge. For å ha et sammenligningsgrunnlag har data fra Byrne (1997) blitt gjengitt i Tabell 5.2 for Storbritannia. Antall luftfartsulykker basert på perioden 1985 til 1994 er markert med \* og hentet fra (Byrne, 1997).

Tabell 5.2: Estimat for årlig bakgrunnsfrekvens per km<sup>2</sup> landareal.

Land	Landareal [km <sup>2</sup> ]	Antall luftfartsulykker, $\hat{x}$	Årlig bakgrunnsfrekvens for flystyrt per km <sup>2</sup> per år [km <sup>-2</sup> år <sup>-1</sup> ]	
			Standard ( $\alpha=0.5$ )	Mer konservativt ( $\alpha=0.95$ )
Norge	385 203	89	$2.33 \times 10^{-5}$	$2.76 \times 10^{-5}$
Storbritannia (GB)	231 091	56*	$2.46 \times 10^{-5}$	$3.03 \times 10^{-5}$

Dersom vi vil finne årlig bakgrunnsfrekvens for flystyrt mot Bjørnafjorden bru så må det tas høyde for det totale arealet som konstruksjonen opptar (funnet til å være  $A_T = 0.824$  km<sup>2</sup> i punkt 5.3.4 senere), og vi får følgende i Tabell 5.3 under.

Tabell 5.3: Resultat av årlig kollisjonsfrekvens for luftfartøy mot Bjørnafjorden grunnet ikke-flyplassrelaterte aktiviteter.

Land	Årlig bakgrunnsfrekvens for flystyrt mot Bjørnafjorden per år	
	Standard ( $\alpha=0.5$ )	Mer konservativt ( $\alpha=0.95$ )
Norge	$1.92 \times 10^{-5}$	$2.27 \times 10^{-5}$
Storbritannia (GB)	$2.03 \times 10^{-5}$	$2.50 \times 10^{-5}$

### 5.3 Årlig kollisjonsfrekvens som følge av flyplassrelaterte aktiviteter

Statistikk fra Boeing (2017) viser at de fleste dødsulykker skjer under avgang eller innflyging- og landingsfasen innen 20 km av rullebanens ende. En dødsulykke forstås som en ulykke som resulterer i fatale personskader (IATA, 2017a). Avgang, innflyging og landing er svært komplekse flyfaser som stiller betydelige krav til piloten og besetningen med hensyn til navigasjon, endringer i flykonfigurasjon, kommunikasjon med flykontrolltjenesten (ATC), og skjer ofte i tett lufttrafikk rundt flyplassen og/eller under dårlige værforhold. Det komplekse samspillet mellom høy arbeidsbelastning og økt potensiell bidrag av uventede faktorer er akkurat det som kan føre til dødsulykker. Prosentandelene av dødsulykker som forekommer i innflyging- og landingsfasen i perioden 2007 til 2016 fremhever at disse er de farligste fasene under en flytur (se Tabell 5.4).

Tabell 5.4: Oppsummering av antall dødsulykker i forskjellige flyfaser av flyreisen i perioden 2007-2016 i verden (Boeing, 2017).

Flyfase		Antall dødsulykker	Prosent dødsulykker
Avgang	Parkering, last/avlasing, takse	6	10
	Avgang rullebane	4	6
	Avgang, innledende klatring	4	6
Underveis	Klatring	4	6
	Marsj	7	11
	Nedstigning	2	3
Landing	Innledende innflyging	5	8
	Siste innflyging	15	24
	Landing	15	24

## Årlig kollisjonsfrekvens for luftfartøy mot Bjørnafjorden bru som følge av flyplassrelaterte aktiviteter

Den årlige kollisjonsfrekvensen for luftfartøy mot Bjørnafjorden bru som følge av flyplass aktiviteter er beregnet med en enkel matematisk modell som tar høyde for fire faktorer, (1) antall bevegelser over konstruksjonen, (2) sannsynligheten for at luftfartøyet styrter, (3) gitt flystyrt, sannsynligheten for at luftfartøyet kolliderer med konstruksjonen der den ligger, (4) totalt areal av konstruksjonen. Følgende formel som har blitt brukt er inspirert av arbeidet gjort i DOE:

$$F = N \times R \times f(r, \theta) \times A_T \quad (4)$$

Der,

$F$  = årlig kollisjonsfrekvens for luftfartøy mot Bjørnafjorden bru som følge av antall bevegelser over konstruksjonen.

$N$  = Antall bevegelser over konstruksjonen per år.

$R$  = Estimert ulykkesansynlighet for luftfartøyet per bevegelse.

$f(r, \theta)$  = Sannsynligheten for at et enhetsareal ved posisjonen  $(r, \theta)$  i forhold til rullebanen ved Bergen lufthavn vil bli truffet av et luftfartøy gitt flystyrt. Her er  $r$  avstanden målt i km fra rullebanens ende og  $\theta$  er vinkelen målt i grader mellom den forlengede senter-linjen til rullebanen og en vektor parallelt med  $r$  (se Figur 5.3).

$A_T$  = totalt landareal som konstruksjonen opptar som tar høyde for konstruksjonens grunnareal  $A_K$  og skyggearealet  $A_S$ .

I de følgende underkapitler beskrives metodikken for å finne tallene som har blitt brukt i formelen over. Detaljerte utregninger vises i vedlegg D.

### 5.3.1 Antall bevegelser over konstruksjonen per år ( $N$ )

Tidligere arbeid (DOE-standard) har basert beregningene på årlig antall bevegelser fra flyplassene. Dette vil ikke være representativt da ikke all lufttrafikk fra BGO går over det aktuelle området. I likhet med sjøtrafikken representerer hvert skips møte eller passeringer under bruene i et seilingsled en faresituasjon, dette er velkjent på sjøen. Dermed brukes et tenkt luftled, eller en såkalt luftkorridor, som går over brua for å telle

antall fly som flyr over Bjørnafjorden-området. Luftfartøy som utfører en flyging over en konstruksjon, eller et avgrenset geografisk område av interesse, kalles for en overflyging. I oppgaven gjøres beregninger med grunnlag i årlig antall fly som flyr over området der konstruksjonen skal ligge for å få et bedre datagrunnlag lokalt i området, og følgelig et mer representativt risikobilde.

### **Fremgangsmåte for å telle antall overflygninger i Bjørnafjorden-området**

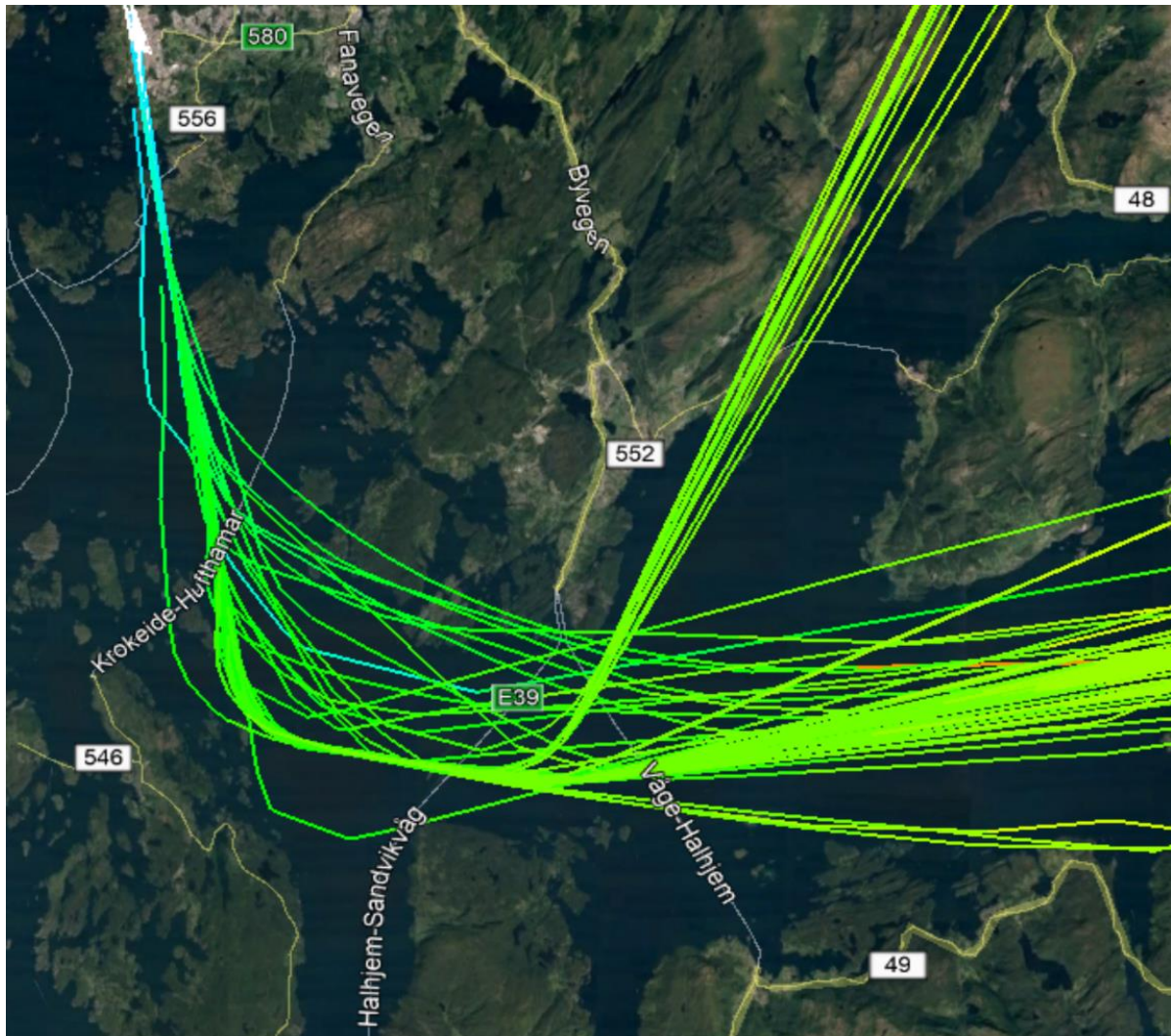
Flydata på antall overflygninger i Bjørnafjorden-området har blitt hentet ut fra Flightradar24.com som er en nettside som viser direktesendt flytrafikk. Flydata er lastet ned som filer i KML-format, og deretter importert inn i Google Earth. KML er et filformat som blir brukt til å representere geografiske data i et kartprogram, som for eksempel Google Earth. KML-filene inneholder data av tidligere flyginger og inkluderer posisjon, hastighet og høyde. Google Earth har blitt brukt fordi det er enkelt å bruke, lett tilgjengelig, og gratis for alle å bruke. Traséene er tegnet inn på grunnlag av flydata tatt fra Flightradar24, og behandlet og plottet av forfatter i Google Earth for å vise hvordan flyene kommer til å fly over bruene (se Figur 5.2 under).

I mange tilfeller kan fly fortsette å gli videre i luften selv om alle motorene skulle svikte. Derfor antas det fly som flyr over en høyde på 10 000 fot vil gi piloten nok tid til å manøvrere vekk i fra bruene og avverge en eventuell kollisjon med bruene om flyet skulle styrte. Med andre ord så må et luftfartøy fly lavere enn 10 000 fot for å telles som en overflyging. I tillegg er det veldig sannsynlig at piloten klarer å avverge en kollisjon med bruene dersom luftfartøyet flyr parallelt med bruens lengderetning. Dette gjelder særlig for ruten mellom Bergen og Stavanger. Derfor har følgende kriterier måttet være oppfylt for å telles som en overflyging over Bjørnafjorden:

- Luftfartøyet må fly lavere enn 10 000 fot
- Luftfartøyet må fly på tvers av bruene lengderetning.
- Luftfartøyet må fly over det totale arealet av konstruksjonen

Data om bevegelser er samlet mellom perioden 1. januar 2017 til 31. desember 2017. Playback speed ble satt til 120x i begynnelsen, men måtte etter hvert reduseres ned til 84x da dette gav best resultat med hensyn til dataavlesning på skjermen. Grunnen til dette kan være at nettsiden bruker mye data. I telleprosessen ble de brukt et mekanisk tellerverk for å holde orden og registrere antall fly som fløy over Bjørnafjorden-området.

Det tok omtrent 14 til 17 min å registrere en dag med flytrafikk i Bjørnafjorden-området og til sammen tok datasamlingsprosessen omtrent 14 dager. Resultatet for tellingen av antall overflyvninger er gjengitt mer detaljert i vedlegg C (se Tabell C.1).



Figur 5.1: Utvalgte flytraseer over Bjørnafjorden i innflygingsfasen. Fargen på flytraseene indikerer høyden på flyet langs den nominelle flytrase, der fargen lyseblå representerer at flyet er ved en lavere høyde enn grønn. Skjermdump hentet fra Google maps plottet med data fra Flightradar24.

### Antall overflyvinger i Bjørnafjorden 2017

Telling av antall fly viser at det ble registrert 8600 overflyvinger i Bjørnafjorden-området (se vedlegg Tabell C.1). Grovt sett betyr dette at omtrent 16 prosent av all flytrafikk ved BGO i 2017 som har flydd mot sør vil gå direkte over Bjørnafjorden. Dersom vi ikke hadde hatt informasjonen om banefordeling (60/40 med mest trafikk mot sør) så kunne det alternativt blitt sagt at omtrent ti prosent av den totale årlige trafikken ved BGO i 2017

har flydd over Bjørnafjorden. I beregningene legges det til grunn en 60/40 banefordeling frem til og med 2030 som betyr at 60 prosent av den årlige trafikken ved BGO flyr mot sør, og at 16 prosent av denne trafikken flyr over Bjørnafjorden. I oppgaven antas det at forventet årlig antall overflygninger ved Bjørnafjorden vil vokse i samme takt som trafikkskaleringen gjort tidligere (se Tabell 4.3). Dermed får vi forventet årlig antall overflygninger i Bjørnafjorden for prognosesituasjoner som gjengitt i Tabell 5.5 under.

Tabell 5.5: Forventet årlig antall overflygninger i Bjørnafjorden for prognosesituasjoner fra 2020 til 2060.

År	Årlig antall overflygninger ved Bjørnafjorden bru
2017	8600
2020	10500
2025	11700
2030	12500
2035	13200
2040	13800
2045	14500
2050	15200
2055	15900
2060	16600

### 5.3.2 Estimering av luftfartøyets ulykkessannsynlighet per bevegelse

Antall dødsulykker ble i TAP(2014) anta til å følge en Poisson-prosess. Dermed kan man bruke samme fremgangsmåte for å estimere luftfartøyenes ulykkessannsynlighet per bevegelse  $R$  som for bakgrunnsfrekvensen for flystyrt gjort tidligere. Gitt et antall observerte dødsulykker  $\hat{x}$  som inntreffer som følge av  $N$  bevegelser (i million) ved flyplassen, så kan man finne et ensidig  $\alpha$  øvre konfidensintervall for den underliggende frekvensen  $\lambda$  og dermed ender vi opp med ligningen:

$$\lambda_U = \frac{\chi_{1-\alpha, 2(\hat{x}+1)}^2}{2N} \quad (5)$$

Der  $\lambda_U$  uttrykker ulykkessannsynligheten for et luftfartøy per bevegelse nær en flyplass gitt flystyrt.

I perioden 2007 til 2016 har det totalt vært 11 dødsulykker og i gjennomsnitt 1.1 dødsulykker per år (se Tabell 3.3). Dermed kan man bruke antall bevegelser for hele perioden som grunnlag for å finne dødelig ulykkesfrekvens per bevegelse som er gjengitt



i Tabell 5.6. For å få et sammenligningsgrunnlag har data fra en rapport utgitt av ESR Technology (ESR Techonology, 2008) for GB mellom 1979 til 2006 blitt gjengitt i samme tabell.

Tabell 5.6: Estimer for ulykkesansynligheten per bevegelse for luftfartøy.

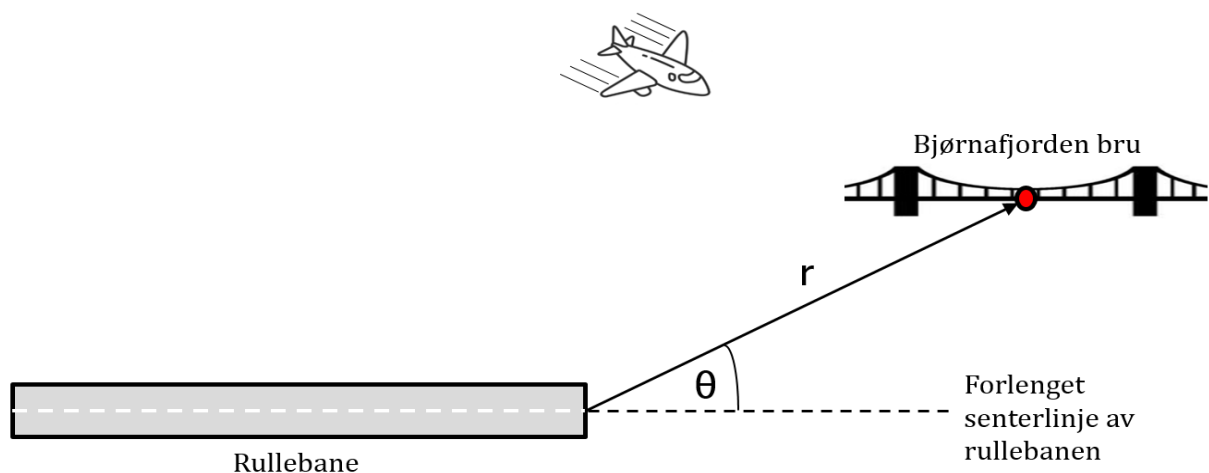
	Norge (2007-2016)	GB (1979-2006) (Byrne, 1997)
Antall ulykker	11	144
Flybevegelser (million)	7.47	89.29
Ulykkesansynlighet per bevegelse ( $\alpha = 0.5$ )	$1.56 \times 10^{-6}$	$1.61 \times 10^{-6}$
Ulykkesansynlighet per bevegelse ( $\alpha = 0.95$ )	$2.44 \times 10^{-6}$	$1.85 \times 10^{-6}$

### 5.3.3 Sannsynlighet for luftfartøykollisjon mot konstruksjonen som funksjon av dens posisjon i forhold til flyplassen

Følgende ligning ble brukt for å finne sannsynligheten for luftfartøykollisjon mot et gitt enhetsareal ved posisjonen  $(r, \theta)$  i forhold til flyplassen (Phillips, 1987):

$$f(r, \theta) = 0.08e^{-r/2.5}e^{-\theta/60} \quad (6)$$

Der  $r$  er avstanden målt i km fra rullebanens ende og  $\theta$  er vinkelen målt i grader mellom den forlengede senter-linjen til rullebanen og en vektor parallelt med  $r$  (se Figur 5.3). Midtpunktet til Bjørnafjorden bru ligger omtrent 21.6 km fra BGO med en vinkel på  $18^\circ$  i forhold til forlenget senter-linje av rullebanen, og dermed får vi  $f(r, \theta) = 1.05 \times 10^{-5} \text{ km}^{-2}$ .



Figur 5.3: Koordinatsystem  $(r, \theta)$  for ulykker som skjer i nærheten av flyplasser.

### 5.3.4 Totalt effektivt areal av konstruksjonen ( $A_T$ )

Å beregne ut totalt effektivt areal for konstruksjonen er en komplisert prosess og krever detaljerte analyser. Følgende beskrives kun én av mange måter å regne seg frem til totalt areal på. I oppgavens sammenheng trengs det kun én enkel beregningsmetode for å grovt regne ut totalt areal for konstruksjonen. Metoden har blitt spesifikt valgt for brukonstruksjonen og kan for andre typer konstruksjoner være irrelevante. Metoden er bare et forslag, og bør ikke tolkes som den eneste metoden tilgjengelig, eller den mest konservative beregningsmetoden.

$A_T$  er definert som totalt effektivt areal og er det arealet som omfatter grunnarealet av en konstruksjon  $A_K$  og området som kan bli truffet eller skadet av et luftfartøy som kolliderer mot konstruksjonen, såkalt skyggeareal  $A_S$ . Dermed er det totale effektive arealet for en konstruksjon ( $A_T$ ) gitt som:

$$A_T = A_K + A_S \quad (7)$$

#### **Grunnarealet av konstruksjonen ( $A_K$ ):**

Grunnarealet er den totale mengden landareal konstruksjonen okkuperer, og er avhengig av konstruksjonens lengde  $L$  og bredde  $B$ .

$A_K$  er definert som grunnarealet av konstruksjonen, lengde  $\times$  bredde av konstruksjonen, [ $L \times B$ ].

#### **Skyggearealet av konstruksjonen ( $A_S$ ):**

I beregningene er det lagt til et skyggeareal for å ta hensyn til det potensielle skadeomfanget som følge av en kollisjon mot konstruksjonen. Skyggearealet vil være avhengig av høyden  $H$  til konstruksjonen og kollisjonsvinkelen  $\phi$  til luftfartøyet, se Figur 5.4. Kollisjonsvinkler som har blitt brukt i lignende studier har variert mellom  $10^\circ$  og  $90^\circ$ . I denne oppgaven har en kollisjonsvinkel på  $45^\circ$  blitt brukt som grunnlag i beregningene av skyggearealet. En kollisjonsvinkel på  $45^\circ$  har blitt begrunnet i B97 som rimelig å kunne anta. Dette forenkler beregningsprosessen i kombinasjon med å gi et mer konservativt estimat.

$A_S$  er definert som skyggearealet (illustrert i Figur 5.4) av konstruksjonen, høyde  $\times$  største dimensjon av konstruksjonen, [ $a \times S$ ] eller [ $a \times H$ ].

$$\tan \phi = H / S$$

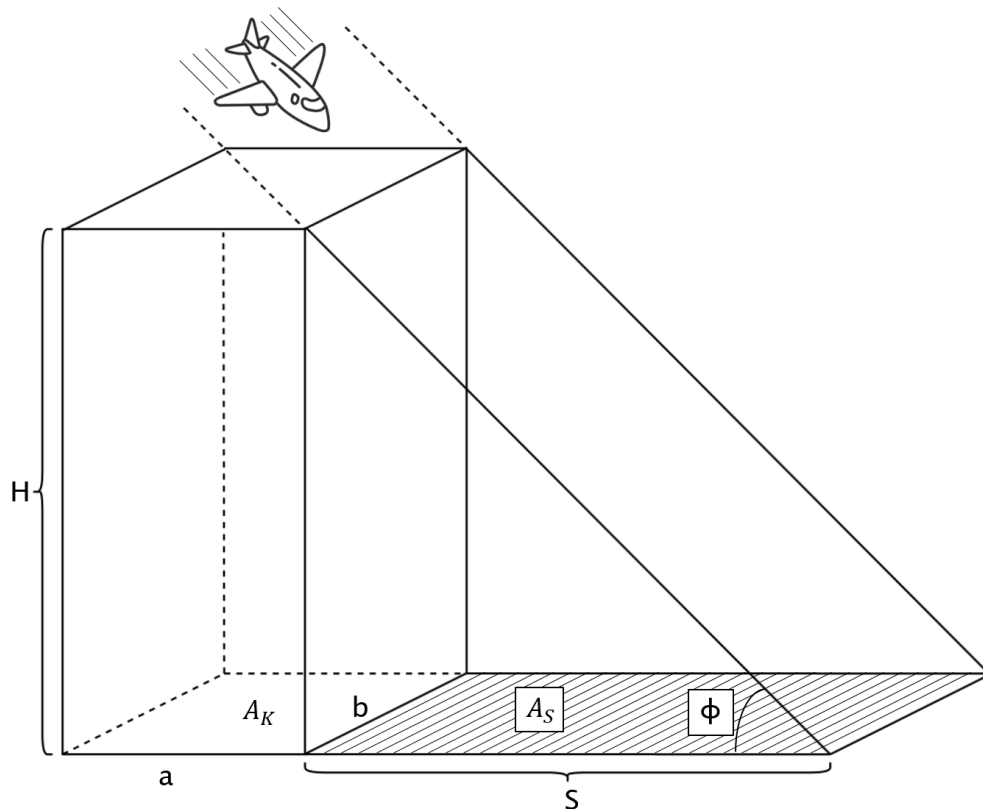
Der

H er høyden av konstruksjonen, og

S er lengden av skyggen i retningen av luftfartøyets kollisjonsvinkel.

Dersom

$\phi = 45^\circ$ ,  $\tan 45^\circ = 1.0$ , og  $H = S$ .



Figur 5.4: Illustrasjonen viser skyggearealet av en konstruksjon gitt en kollisjonsvinkel. Basert på DOE (1992).

### Beregnet totalt effektivt areal av konstruksjonen

Følgende beregning av totalt effektivt areal som konstruksjonen opptar er basert på en enkel skisse av bruene (se Figur 4.6):

$$A_K = 5158.5 \times 77 = 397204 \text{ m}^2$$

$$A_S = 900 \times 242.5 + 4258.5 \times 49 = 426916.5 \text{ m}^2$$

$$A_T = A_K + A_S = 824120 \text{ m}^2 \approx \underline{0.824 \text{ km}^2}$$

Det antas en kollisjonsvinkel  $\phi=45^\circ$  og slik at  $H = S$ .

### 5.3.5 Beregnet årlig kollisjonsfrekvens for luftfartøy mot

#### Bjørnafjorden bru som følge av flyplassrelaterte aktiviteter

Den årlige kollisjonsfrekvensen for luftfartøy mot Bjørnafjorden bru som følge av flyplassrelaterte aktiviteter har blitt beregnet basert på årlig antall bevegelser i området, estimert ulykkesanssynlighet for luftfartøy per bevegelse, sannsynligheten for at Bjørnafjorden bru ved posisjonen  $(r,\theta)$  i forhold til rullebanen ved Bergen lufthavn vil bli truffet av et luftfartøy gitt flystyrt, og totalt landareal som konstruksjonen opptar. Tabell 5.7 under, gjengir resultatet av den beregnede årlige kollisjonsfrekvensen for luftfartøy mot Bjørnafjorden bru som følge av flyplassrelaterte aktiviteter.

Tabell 5.7 Årlig kollisjonsfrekvens for luftfartøy mot Bjørnafjorden bru som følge av flyplassrelaterte aktiviteter for 2017 og prognose situasjoner.

<b>Årlig kollisjonsfrekvens for luftfartøy mot Bjørnafjorden bru som følge av flyplassrelaterte aktiviteter</b>		
<b>År</b>	<b>Standard (<math>\alpha=0.5</math>)</b>	<b>Mer konservativt (<math>\alpha=0.95</math>)</b>
2017	$1.20 \times 10^{-7}$	$1.35 \times 10^{-7}$
2020	$1.47 \times 10^{-7}$	$1.68 \times 10^{-7}$
2025	$1.64 \times 10^{-7}$	$1.87 \times 10^{-7}$
2030	$1.75 \times 10^{-7}$	$2.00 \times 10^{-7}$
2035	$1.85 \times 10^{-7}$	$2.11 \times 10^{-7}$
2040	$1.93 \times 10^{-7}$	$2.21 \times 10^{-7}$
2045	$2.03 \times 10^{-7}$	$2.32 \times 10^{-7}$
2050	$2.13 \times 10^{-7}$	$2.43 \times 10^{-7}$
2055	$2.23 \times 10^{-7}$	$2.54 \times 10^{-7}$
2060	$2.32 \times 10^{-7}$	$2.66 \times 10^{-7}$

### 5.4 Total årlig kollisjonsfrekvens for luftfartøy mot

#### Bjørnafjorden bru

For å få total årlig kollisjonsfrekvens for luftfartøy mot Bjørnafjorden bru summeres bidragene for kollisjon fra bakgrunn og flyplassrelaterte aktiviteter. Tabell 5.8 og 5.9 viser den beregnede totale årlige kollisjonsfrekvensen for luftfartøy mot Bjørnafjorden bru ved henholdsvis femti og nittifem prosent signifikansnivå.

Tabell 2.8: Total årlig kollisjonsfrekvens for luftfartøy mot Bjørnafjorden bru ved femti prosent signifikansnivå ( $\alpha=0.5$ ).

År	Årlig bakgrunnsfrekvens for flystyrt (basert på tall fra Norge)	Årlig kollisjonsfrekvens for luftfartøy mot Bjørnafjorden bru som følge av flyplassrelaterte aktiviteter	Total årlig kollisjonsfrekvens for luftfartøy mot Bjørnafjorden bru
	Standard ( $\alpha=0.5$ )	Standard ( $\alpha=0.5$ )	Standard ( $\alpha=0.5$ )
2017	$1.92 \times 10^{-5}$	$1.20 \times 10^{-7}$	$1.93 \times 10^{-5}$
2020	$1.92 \times 10^{-5}$	$1.47 \times 10^{-7}$	$1.93 \times 10^{-5}$
2025	$1.92 \times 10^{-5}$	$1.64 \times 10^{-7}$	$1.93 \times 10^{-5}$
2030	$1.92 \times 10^{-5}$	$1.75 \times 10^{-7}$	$1.93 \times 10^{-5}$
2035	$1.92 \times 10^{-5}$	$1.85 \times 10^{-7}$	$1.93 \times 10^{-5}$
2040	$1.92 \times 10^{-5}$	$1.93 \times 10^{-7}$	$1.93 \times 10^{-5}$
2045	$1.92 \times 10^{-5}$	$2.03 \times 10^{-7}$	$1.94 \times 10^{-5}$
2050	$1.92 \times 10^{-5}$	$2.13 \times 10^{-7}$	$1.94 \times 10^{-5}$
2055	$1.92 \times 10^{-5}$	$2.23 \times 10^{-7}$	$1.94 \times 10^{-5}$
2060	$1.92 \times 10^{-5}$	$2.32 \times 10^{-7}$	$1.94 \times 10^{-5}$

Tabell 5.9: Total årlig kollisjonsfrekvens for luftfartøy mot Bjørnafjorden bru ved nittifem prosent signifikansnivå ( $\alpha=0.95$ ).

År	Årlig bakgrunnsfrekvens for flystyrt (basert på tall fra Norge)	Årlig kollisjonsfrekvens for luftfartøy mot Bjørnafjorden bru som følge av flyplassrelaterte aktiviteter	Total årlig kollisjonsfrekvens mot Bjørnafjorden bru
	( $\alpha=0.95$ )	( $\alpha=0.95$ )	( $\alpha=0.95$ )
2017	$2.27 \times 10^{-5}$	$1.35 \times 10^{-7}$	$2.28 \times 10^{-5}$
2020	$2.27 \times 10^{-5}$	$1.68 \times 10^{-7}$	$2.29 \times 10^{-5}$
2025	$2.27 \times 10^{-5}$	$1.87 \times 10^{-7}$	$2.29 \times 10^{-5}$
2030	$2.27 \times 10^{-5}$	$2.00 \times 10^{-7}$	$2.29 \times 10^{-5}$
2035	$2.27 \times 10^{-5}$	$2.11 \times 10^{-7}$	$2.29 \times 10^{-5}$
2040	$2.27 \times 10^{-5}$	$2.21 \times 10^{-7}$	$2.29 \times 10^{-5}$
2045	$2.27 \times 10^{-5}$	$2.32 \times 10^{-7}$	$2.29 \times 10^{-5}$
2050	$2.27 \times 10^{-5}$	$2.43 \times 10^{-7}$	$2.29 \times 10^{-5}$
2055	$2.27 \times 10^{-5}$	$2.54 \times 10^{-7}$	$2.30 \times 10^{-5}$
2060	$2.27 \times 10^{-5}$	$2.66 \times 10^{-7}$	$2.30 \times 10^{-5}$

## 6 Diskusjon

Problemstillingen oppgaven har forsøkt å besvare har vært å finne den totale årlige kollisjonsfrekvensen for luftfartøy mot Bjørnafjorden bru for se å se om hendelsen tas hensyn til i dimensjoneringen av bruene. Oppgaven har besvart problemstillingen kvantitativt med å finne kollisjonsfrekvensen, samtidig som den har vist fremgangsmåten for å beregne seg frem til tallet. Dette kapittelet diskuterer først og fremst resultatet av risikovurderingen, evaluering av metoden, samt eventuelle usikkerheter og feilkilder i metoden.

### 6.1 Evaluering av resultater

Resultatene indikerer at den totale årlige kollisjonsfrekvensen for luftfartøy frem til 2060 er lavere enn akseptkriteriet på  $10^{-4}$  og dermed er det ikke nødvendig å dimensjonere bruene for å tåle luftfartøykollisjon. Fra resultatene i Tabell 5.8 og 5.9 ser vi at bidraget fra bakgrunnsaktivitet er den dominerende komponenten til den totale årlige kollisjonsfrekvensen mot Bjørnafjorden bru. Grunnen til dette er at brukonstruksjonen kommer til å ligge langt borte fra flyplassen slik at flyplassrelaterte aktiviteter vil ha neglisjerbar bidrag på den totale kollisjonsfrekvensen for luftfartøy mot Bjørnafjorden bru. Dette er ikke overraskende med tanke på at kollisjonsfrekvensen som følge av flyplassrelaterte aktiviteter synker desto lenger fra flyplassen konstruksjonen er plassert. Ved en avstand på omtrent 10 km fra flyplassen så vil bidraget fra flyplassrelaterte aktiviteter være omtrent det samme som bakgrunnsaktiviteten. Dersom konstruksjonen plasseres mer enn 20 km fra flyplassen vil bidraget fra flyplassrelaterte aktiviteter være tilnærmet neglisjerbar og det dominerende bidraget til luftfartøykollisjon mot Bjørnafjorden bru vil være bakgrunnsfrekvensen for flystyrt.

Overraskende nok er bidraget fra bakgrunnsaktiviteter såpass høyt at det må stilles spørsmål om denne ikke er beregnet altfor konservativ. Likevel om vi ser på den beregnede årlige bakgrunnsfrekvensen for Norge og Storbritannia så er det ikke altfor store forskjeller. En annen mulighet kan være at forfatter har feilkategorisert luftfartsulykker slik at den estimerte bakgrunnsfrekvensen er basert på feil datagrunnlag, og dermed kan det hende at den estimerte verdien for Norge enten er under eller overestimert. Det anerkjennes at utvelgelsen av data til datagrunnlaget i stor grad er

basert på analytikerens kvalitative metoder. Gode bakgrunnskunnskaper innen industrien vil redusere muligheten for å feilkategorisere luftfartsulykker slik at estimater er basert på riktig datagrunnlag.

En utfordring med å gjøre en enkel inndeling av risikobidrag fra bakgrunnsaktivitet og flyplassrelatert aktivitet basert på avstand fra flyplassen vil være et spørsmål om hvor denne grensen skal gå. Forfatter har bemerket at det er ulik praksis for hvilken avstand som defineres som flyplassrelatert. I likhet med grensen som ble brukt i B97 så har oppgaven definert ulykker som inntreffer innen 20 km fra flyplassen som flyplassrelaterte aktiviteter. Det har blitt nevnt tidligere at dersom konstruksjonen plasseres mer enn 20 km fra flyplassen vil bidraget fra flyplassrelaterte aktiviteter være tilnærmet neglisjerbar. Dermed er det grunnlag for å anvende en konstruksjon-til-flyplass distanse på 20 km som første screening kriterium for å få en oversikt over flyplass(er) i nærheten av konstruksjonen som skal vurderes. Det vil si at dersom konstruksjonen ligger mer enn 20 kilometer fra flyplassen så kan bidraget fra flyplassrelaterte aktiviteter bli neglisjert.

Den utviklede modellen i oppgaven gjør det enkelt å vurdere kollisjonsfrekvensen basert på konstruksjonens posisjon i forhold til flyplassen. Det er imidlertid svakheter i modellen som må kastes lys over. Spesielt ligning (6) som har blitt anvendt for å finne sannsynligheten for luftfartøykollisjon mot et gitt total areal for konstruksjonen ved posisjonen  $(r, \theta)$  i forhold til flyplassen (Phillips, 1987). Forfatter bemerker at ligning (6) er ekstremt følsom for avstand mellom konstruksjonen og flyplass ( $r$ ) og vinkelen ( $\theta$ ). Det vil si for store vinkler og nær rullebanens område, mellom 1-2 km fra rullebanens ende, så endrer sannsynligheten for luftfartøykollisjon mot konstruksjonen med en faktor på 10. Ligning (6) ble brukt frem til 1991, men har i det senere år blitt erstattet med en ny ligning som tar hensyn til flyulykker nær flyplass basert på posisjonen i  $x$  og  $y$  koordinater  $f(x,y)$ . Forfatter har ikke hatt tilgang til lokasjonsspesifikke koordinater for ulykker så derfor har det ikke vært mulig å anvende den nye ligningen. Det må nevnes at disse ligningene er svært kompliserte og ikke praktiske å anvende sett ifra forfatters ståsted. Imidlertid, har TAP (2014) argumentert at det også er store problemer med å anvende den nye ligningen, spesielt når en nærmer seg flyplassen.

Eisenhut (1973) etablerte tidlig på 1970-tallet en tabell som oppgir sannsynlighet for ulykke i gitte distanseintervaller fra rullebanes ende. Problemet med denne tabellen, som nevnt tidligere i punkt 2.4.1, er at det ikke er en jevn nedgang i sannsynlighet for ulykke desto lenger bort fra flyplassen en kommer. I tillegg er ikke screening-kriteriene av datagrunnlaget blitt godt nok begrunnet. Å opprette tabeller som oppgir sannsynlighet for ulykke i gitte distanseintervaller fra rullebanes ende er i teorien en god ide, men i praksis så viser det seg at det er problematisk å anvende tabellene på en fornuftig måte.

Diskusjonen så langt viser at det er store usikkerheter knyttet til det å forutsi hvilket sted et luftfartøy vil treffe dersom det styrter. Særlig fordi luftfartøy forflytter seg i horisontalplanet (posisjon) og endrer høyde (vertikalplanet). Forfatter anser ligning (6) for å være rimelig så lenge en er klar over svakheten til ligningen.

## 6.2 Evaluering av metoden

### 6.2.1 Tolkningen av årlig kollisjonsfrekvens

Det er tre viktige poeng å bemerke seg om metoden og tolkningene som har blitt lagt til grunn i analysen.

For det første - verdien som har blitt funnet for  $\lambda_U$  (betegnet som  $\theta$  i Ligning 1 i B97) betyr ikke at «sannsynligheten  $\alpha$  for gjennomsnittet er større eller lik verdien  $\theta$ », som er påstått i B97 (s.5). Istedenfor må verdien for  $\lambda_U$  tolkes som følgende: dersom den sanne underliggende frekvensen for flystyrt er lik  $\lambda_U$ , så er det en sannsynlighet  $1-\alpha$  for å observere antall flystyrt som er høyere enn verdien som har blitt observert tidligere.

Det er viktig å bemerke at ingen av de ovennevnte formuleringene handler om sannsynlighet for den underliggende sanne bakgrunnsfrekvensen for flystyrt (som ble påstått i B97, s.5). Det er sannsynlighets fordelingen for den sanne bakgrunnsfrekvensen for flystyrt  $\lambda$  som må brukes for å finne en sannsynlighet for fremtidige ulykker. Dermed må en Bayesiansk tilnærming anvendes i dette tilfellet for å finne den betingede sannsynligheten (se punkt 3 under).

For det andre så har det i luftfartøykollisjonsstudier vært vanlig praksis å bruke en standard verdi for signifikansnivå  $\alpha = 0.5$ . Det vil si et femti prosent ensidig øvre konfidensintervall, og denne standard verdien ble også brukt i B97.



ESRT07 gjorde en følsomhetsanalyse ved å sammenligne resultatene for bakgrunnsfrekvensen for flystyrt ved  $\alpha = 0.5$  med et mer konservativt valg for  $\alpha$  ( $\alpha = 0.95$ ). I oppgaven har det blitt utført en følsomhetsanalyse for å se hvordan det beregnede resultatet blir påvirket av et mer konservativt valg for  $\alpha$ . Den totale årlige kollisjonsfrekvensen for luftfartøy mot Bjørnafjorden bru har blitt beregnet ved henholdsvis femti og nittifem prosent signifikansnivå. Der høyere signifikansnivå betyr at de estimerte verdiene brukt til å beregne den totale årlige kollisjonsfrekvensen er mer konservativt. Ikke overraskende er det beregnede resultatet som er basert på et signifikansnivå på nittifem prosent betydelig høyere enn det som er brukt som standard verdi med signifikansnivå på femti prosent (se Tabell 5.8 og 5.9). For at en sammenligning mellom bakgrunnsfrekvens og flyplassrelatert kollisjonsfrekvens skal gi mening så må det også anvendes et høyere signifikansnivå for beregninger av ulykkessannsynligheten per bevegelse for luftfartøy (se Tabell 6.10).

Sett i lys av punkt (1) ovenfor, så vil et  $\alpha = 0.5$  bety at det vil være like sannsynlig for at den faktiske bakgrunnsfrekvens for flystyrt overskrider signifikansnivået eller ikke. Dermed kan ikke den estimerte verdien i B97 bli brukt som et robust estimat for det øvre konfidensintervallet av den sanne underliggende frekvensen. Derfor anbefales det å bruke et signifikansnivå på minst nittifem prosent eller mer for å få et mer robust og konservativt estimat. Det bør stilles spørsmål om hvilket signifikansnivå som gir et robust nok resultat, men det har vært utenfor oppgavens omfang å diskutere dette i videre detalj.

For det tredje så er det mulig å finne et mer robust estimat for sannsynligheten til bakgrunnsfrekvensen for flystyrt gitt de observerte dataene ved å bruke en Bayesiansk tilnærming. Fordelene med en Bayesiansk tilnærming vil være som følger:

- Det oppgir sannsynligheten for kvantiteten av interesse. Det vil si at sannsynlighet for fremtidige luftfartøykollisjoner gitt observert historisk bakgrunnsfrekvens.
- Det tar hensyn til usikkerheten av estimert frekvens i sannsynligheten for fremtidige luftfartøykollisjoner, noe som neglisjeres i den klassiske tilnærmingen brukt i B97.

- Det er en generalisering av tilnærmingen brukt i B97, og vil gi en mer konservativ og mer robust estimering av den faktiske fremtidige sannsynligheten for luftfartøykollisjon.

### **6.2.2 Er alle Poisson-forutsetningene virkelig oppfylt?**

Det kan argumenteres for at flyulykker ikke tilfredsstiller Poisson-forutsetningene, spesielt 2 og 3. Ulykkesfrekvensen vil være påvirket av mange faktorer som endrer seg over tid. For eksempel har det i oppgaven ikke blitt hensyn til at bakgrunnsfrekvensen endrer med tiden. I og med at luftfartsindustrien over tid innfører nye rutiner for luftfart og produsenter som produserer luftfartøy med ny teknologi gjør at flysikkerheten vil bli bedre med årene. Dermed vil den økte flysikkerheten påvirke bakgrunnsfrekvensen for styrt og påliteligheten av luftfartøyene. Imidlertid er det snakk om en relativt lang tidsperiode på ti år så i dette tilfelle er det rimelig å anta at prosessen er stasjonær.

Videre kan kollisjon i lufta mellom to fly telles som to separate hendelser, gitt at to ulykkessteder kan bli identifisert. Ulykker som involverer kollisjon i lufta mellom to fly forekommer relativt sjeldent i forhold andre typer ulykker som skjer under avgang og innflyging, og er dermed antatt som neglisjerbart.

### **6.2.3 Forslag til forbedringer av modellen**

#### **Inndeling av flydata i kategorier og vekt**

Modellen som har blitt anvendt i oppgaven har ikke tatt hensyn til at det vil være forskjellig ulykkes sannsynlighet mellom flykategorier og flystørrelse. For eksempel at det er forskjellig i pålitelighet mellom fly og helikopter, om de er gamle eller nye, og hvilke type flyoperasjon det er snakk om. Ifølge IATA (2017a) vil sannsynligheten for en ulykke per flyging være avhengig av hvilken type flyging (sivil eller militær) som ble utført og hvilken type fly som ble brukt. Modellen bør ta høyde for dette. Videre vil fly av gammel årgang høyere ulykkesfrekvens enn mer moderne luftfartøy (IATA, 2017a). En av mange grunner kan være at det er vanskeligere å vedlikeholde luftfartøy, utmattelse på deler, dårligere fly-ytelse som følge av slitasje og mer krevende pilothåndteringsevner på grunn av manglende instrumentteknologi. Det bemerkes at "utenlandske operatører", for eksempel de utenfor Vest-Europa, Nord-Amerika, Australia og New Zealand, har en høyere ulykkesfrekvens per flytur enn Norge og Storbritannia. En mulig grunn kan være at det er strengere reguleringer for lufttrafikken i Norge i forhold til utlandet. Dermed har

oppgaven basert seg på datakilder fra Norge og Storbritannia, og ikke for eksempel data fra FAA og NTSB (disse kan brukes som supplement til datagrunnlaget).

Sett i lys av overnevnte betraktninger, anerkjenner forfatter at modellen burde blitt delt opp i ulike typer fly, og henholdsvis antall bevegelser for hver flytype. På grunn av at det ikke har vært mulig å skaffe seg tilgang til detaljerte data via Avinor, har det likevel ikke vært mulig å gjøre en slik inndeling. Imidlertid så foreslår forfatter at inndeling av flytypekategorier gjøres i likhet med det som SHT bruker i sin database for ulykker for å gjøre det enklere å samle inn og sortere data. Dermed anbefales det å dele flykategoriene inn i åtte grupper (se Tabell 6.1). I tillegg foreslås det å gjøre enda en inndeling av utvalgte flytyper etter størrelse som baserer seg maksimal startvekt i likhet med SHT sin database. Dermed anbefales det å dele flytyper inn i fem vektkategorier (se Tabell 6.2).

Tabell 6.1: Forslag til inndeling av flytypekategorier som er inspirert av SHTs database.

#	Beskrivelse
1	Helikopter, sivile landoperasjoner
2	Helikopter offshore
3	Moderne jetfly
4	Seilfly og sjøfly
5	Små propellfly med 1 eller 2 stempelmotorer
6	Små turboprop fly
7	Eldre turboprop fly
8	Moderne turboprop, primært rutefly

Tabell 6.2: Forslag til inndeling av flytyper inn i ulike vektkategorier etter maksimal startvekt som er basert på SHTs database.

#	Vektkategorier
1	Lett helikopter ( $\leq 2250$ kg)
2	Tung helikopter ( $> 2250$ kg)
3	Lett fly ( $< 5700$ kg)
4	Middels fly (5700 - 10000 kg)
5	Tung fly ( $> 10000$ kg)

Det anbefales å bruke maksimal startvekt fordi det omfatter vekten av flyskroget, motorer, og annet utstyr som er en integrert del av fartøyet, inkludert bagasje, passasjerer og drivstoff. I en eventuell konsekvensanalyse vil dermed maksimal startvekt gi en konservativ tilnærming samtidig som det forenkler beregning av luftfartøyets kollisjonsenergi mot bruen. Med tanke på at dette bare har vært en enkel semi-kvantitativ risikoanalyse for å finne kollisjonsfrekvensen så har det resulterende skadeomfanget av en luftfartøykollisjon vært utenfor omfanget av denne oppgaven og således ikke blitt evaluert.

Av totalt 8600 overflygninger har det bare blitt observert 23 ambulanshelikopter og ambulansfly flygende over Bjørnafjorden-området. I tillegg har det ikke blitt observert noen offshore-helikopter som flyr nær nok eller over der bruen skal bygges. En mulig forklaring på at de ikke flyr direkte over bruen er antakeligvis fordi de fleste offshore-helikopter flyr ut mot kontinentalsokkelen. En annen mulig forklaring til at de fleste ambulanshelikopter eller ambulansfly flyr lenger ut mot vest-kysten er for å unngå høyt terreng som fjell og skoger, i tillegg til prominente isingsforhold ved høye høyder i fjellområder. Dermed er det i Bjørnafjorden sitt tilfelle rimelig å anta at bidrag fra helikoptertrafikk over bruen kan neglisjeres, og tilnærmet settes lik null dersom en inndeling i ulike flytypekategorier hadde blitt brukt. I oppgaven har ikke antall bevegelser fra helikoptertrafikk blitt trukket fra totalt antall årlige bevegelser som er oppgitt av Avinors statistikker og beregningene anses for å være en konservativ tilnærming.

### **Modellen bør å ta hensyn til lokale forhold**

Modellen som har blitt anvendt i oppgaven har ikke tatt hensyn til forskjeller i lokale forhold. Fra årsaksanalysen ble det funnet at RIFer med størst påvirkning på kollisjonsfrekvensen er klima og værforhold, funksjonsfeil på fly og utmattelse eller motorsvikt. Dette er ikke ulikt det Wong m. fl. (2006) konkluderte i sin studie som kom frem til at meteorologiske forhold og påliteligheten av flysystemer i stor grad påvirker sannsynligheten for flystyrt.

Modelleringen av bakgrunnsfrekvens for flystyrt ved å fordele antall ulykker over hele landarealet i Norge vil ikke reflektere de lokale operasjonelle forholdene ved konstruksjonen. En mulighet for å vurdere luftfartøykollisjon for lokale forhold vil være å bruke ulykkessannsynlighet per km flyging (istedenfor per km<sup>2</sup> landareal) kombinert

med informasjon om traséer for hver enkelt luftfartøy. Dette gjør det mulig å få et bedre estimat for bakgrunnsfrekvensen lokalt ved konstruksjonen.

For flyplassrelaterte ulykker så anbefales følgende tre elementer for å ta høyde for lokale forhold:

1. Estimere en gjennomsnittlig ulykkesfrekvens.
2. Kombinert med en justering av gjennomsnittlig ulykkesfrekvens for å ta hensyn til lokale forhold.
3. Finne en fordeling på hvor ulykkene skjer i forhold til flyplassen dersom mulig.

Det første elementet kan være basert på flyplassrelaterte ulykker for luftfartøy slik det ble utført i denne oppgaven. Det andre elementet kan adresseres ved å implementere meteorologiske faktorer fra Wong-modellen på noen flyplasser i Norge. Potensielle faktorer inkluderer justeringer for nedbør, vindforhold, tåke og terrengforhold. Det siste og tredje elementet kan adresseres ved hjelp av å modellere flystyrtlokasjoner i forhold til flyplass i likhet med det som har blitt gjort av Universitetet La Sapienza i Roma i samarbeid med det italienske luftfartstilsynet (ENAC). Datagrunnlaget for ENAC-modellen (Cardi et al, 2012) er basert på ulykkesdata fra 1996 til 2011 for nordamerikanske og europeisk bygde fly. Likevel på grunn av manglende beskrivelser av hvordan dataene har blitt valgt, og hvordan de matematiske ligningene i dataprogrammet har blitt brukt for å analysere disse dataene, så er det ikke hensiktsmessig å bruke denne modellen uten å ha først fått en bedre forståelse.

Det burde utvikles flystyrtlokasjonsmodeller for flyplasser som gjør det enklere å beregne individuell risiko og tredjepartsrisiko i området rundt flyplasser. Arbeidet vil være omfattende, men til gjengjeld vil det kunne opprettes risikokart rundt flyplasser for å raskt kunne vurdere kollisjonsfrekvensen for luftfartøy mot alle typer konstruksjoner og bygninger i Norge.

Det må anerkjennes at risikoanalyser av denne typen for lokale områder med meget få, eller i noen tilfeller ingen ulykker, er usikre både fordi en realistisk verifikasjon ved sammenlikning med reelle ulykkesdata gir liten mening, og fordi modelleringen er nokså grov. Imidlertid mener forfatter at det aktuelle området i Bjørnafjorden ikke er så spesielt

at ikke generelle data relatert til andre områder, som for eksempel Storbritannia, kan anvendes.

### **Andre faktorer som modellen burde inkludere**

Metoden som er brukt i oppgaven for å modellere frekvensen av luftfartøykollisjon mot Bjørnafjorden bru har ikke inkludert menneskelige faktorer. I sammenheng med risikovurderinger av skipsstøt anvendes det en anerkjent Heinrich-faktor for å ta høyde for menneskelige faktorer (Jensen, 2017). For eksempel om kapteinen er alkoholpåvirket, sovner bak styrespaken, uerfaren, eller er stresset. Hvis alkohol eller det at piloten sovner er med i bildet vil det kunne utgjøre stor fare for kollisjon fordi det vil være vanskelig å gjenvinne kontrollen og avverge en potensiell ulykke. Bakgrunnen for å bruke en såkalt Heinrich-faktor ligger i at piloter eller kapteiner alltid vil prøve å avverge en kollisjon eller direkte treff med bruen. Dermed vil trolig kollisjonsfrekvensen være lavere enn det som er beregnet. Et problem med å bruke en Heinrich faktor vil være dersom det er mørkt eller tåke, for eksempel under instrumentinnflyging. I tillegg er det utfordrende å bestemme hvor stor denne faktoren faktisk skal være. I marsjhøyde vil det være mer tid til å gjenvinne kontrollen på luftfartøyet enn om man er innflygingsfasen og flyr lavt. De utvalgte ulykkene som ble beskrevet tidligere er eksempler på hva som kan skje dersom man mister kontroll, får motorsvikt eller bruker instrumentene feil når man flyr i relativt lav høyde.

Arealberegningene i modellen har ikke tatt med effekten av skrenselengde for flyvraket. Tilfeller der flyet treffer vannet først, og deretter «spretter» videre mot bruen, eller at vrakrester spres utover et større område på grunn av stor kollisjonsvinkel. Forfatter mener utregninger av totalt areal som inkluderer effekten av skrenselengde ville blitt for detaljert og arbeidskrevende uten at det ville påvirket resultatet av analysen nevneverdig. Alternativt kunne totalt areal blitt ganget med en konservativ faktor for å ta høyde for skrenselengden, men da er spørsmålet hvor stor denne faktorene faktisk skal være? Det komplekse samspillet mellom kollisjonsvinkel og skrenselengde har dermed vært utenfor oppgavens omfang.

### **6.2.4 Konkluderende evaluering av metoden**

Det har vært fokus på å finne en metode som er lett anvendelig uten å inneha dype kunnskaper innen luftfartsindustrien. Metoden er inspirert av kvantitative risikoanalyser

gjort på kjernekraftverk og er således anvendbar på andre konstruksjoner. Det har ikke vært mulig å etablere en generisk modell for å raskt vurdere risikoen for luftfartøykollisjon mot bruer. Risikoen må vurderes særskilt i hvert tilfelle med tanke på at antall overflygninger og arealet av konstruksjonen vil være forskjellig. Imidlertid mener forfatter at det burde være enkelt å gjøre samme risikovurdering for de andre bruene nevnt tidligere i introduksjonen ved å følge samme framgangsmåten som i denne oppgaven.

## **6.3 Usikkerheter og feilkilder**

### **6.3.1 Antakelser og forenklinger**

Risikoanalysens rolle er for å støtte beslutningstaking (Aven, 2015). For oppgavens problemstilling argumenteres det for at en enkel semi-kvantitativ risikoanalyse er bedre enn en detaljert modellbasert analyse. En grunn til at semi-kvantitative analyser i mange tilfeller er mer egnet enn modellbaserte analyser er fordi de er mer egnet til å kvalitativt vurdere relevante risikofaktorer enn de modellbaserte analysene kan. En annen grunn er at en enkel semi-kvantitativ analyse og vurdering av risiko som kommer i tide, er bedre enn en detaljert modellbasert analyse som kommer for sent før en beslutning tas. Dersom analysen kommer for sent til å inkluderes i beslutningsgrunnlaget så kan analysen i beste fall kun brukes som verifikasjon av en beslutning som allerede er tatt (Aven, 2015).

Imidlertid må man alltid være klar over begrensingene av risikoanalysen fordi de er basert på analytikerens antagelser og bakgrunnskunnskaper innen luftfart. På grunn av oppgavens omfang og tidsbegrensninger har det blitt gjort mange antagelser og forenklinger for å svare på oppgavens problemstilling. Resultatene er dermed beheftet med epistemiske usikkerheter, og følgelig er det viktig at analytikeren klarer å kommunisere den epistemiske usikkerheten videre til beslutningstagere så de kan ta beslutninger som er basert på berettigede antagelser.

Tabell 6.3 under viser en oversikt over et utvalg av antagelsene og forenklingene som har blitt gjort i oppgaven for å svare på problemstillingen. Graden antakelsene eller forenklingene har blitt berettiget gjøres kvalitativt av analytiker og er beskrevet som enten sterk, moderat, eller svak (Flage m. fl, 2018).

Tabell 6.3: Oversikt over antakelser og forenklinger som har blitt gjort i risikovurderingen, berettiget antakelse, og vurderinger på graden antakelsene er berettiget.

<b>Antakelse/forenklinger</b>	<b>Berettiget antakelse</b>	<b>Graden antakelsene er berettiget</b>
Omtrent 10 prosent av den årlige trafikken ved BGO flyr over Bjørnafjorden bru.	Å anta at omtrent 10 prosent av den årlige trafikken ved BGO flyr over Bjørnafjorden bru kan være farlig. Særlig fordi data kun har blitt samlet for ett år og tar dermed ikke hensyn til variasjon i antall overflygninger fra år til år.	Svak
Luftfartøy som flyr lavere enn 10 000 fot for å telles som en overflyging.	I mange tilfeller kan fly fortsette å gli videre i luften selv om alle motorene skulle svikte. Dette er en antagelse som baserer seg på det forfatter har funnet i gjennomgangen av ulykkesrapporter.	Svak
En kollisjonsvinkel på 45° har blitt brukt som grunnlag i beregningene av skyggearealet.	Byrne (1997) oppgir tabeller for kollisjonsvinkler som er basert på emiriske data og teoretiske modeller.	Moderat
En ulykke som inntraff som følge av nødlanding og piloten til en viss grad hadde kontroll på luftfartøyet til å velge landingsplass. I dette tilfellet er det rimelig å anta piloten vil manøvrere bort fra tettbygdestrøk	Denne antakelsen forutsetter at piloten ser hindringen i tide for å unngå kollisjon. Dersom piloten flyr når det er mørkt eller dårlig sikt på grunn av tåke så vil det mest sannsynligvis ikke være mulig å avverge en kollisjon før det allerede er for sent. Det må derfor stilles	Svak



eller store konstruksjoner på bakken.	spørsmål om denne antagelsen er berettiget på rett grunnlag.	
---------------------------------------	--	--

### 6.3.2 Fremtidens luftfartstrender

Det er usikkerhet knyttet til utviklingen av fremtidig lufttrafikk med tanke på at det er en lang tidshorisont før bruene er ferdigstilt. I punktene under diskuteres noen av disse usikkerhetene.

#### **Trafikken vil ikke fortsette å øke for alltid**

Basert på trend på flytrafikk viser disse at flytrafikken bare vil øke, men trafikkøkning trenger ikke nødvendigvis være tilfellet i 2030, 2040, 2050 eller 2060. Trafikkanalysen har vist at globale faktorer kan være med å påvirke trafikkveksten, som for eksempel finanskrisen i 2008, og oljekrisen i 2014. Videre vil ikke nødvendigvis behovet for flytransport være like ettertraktet som den har vært de siste tiårene. I en rapport gitt ut av IATA (2017b) nevnes flere faktorer som vil være med på å påvirke utviklingen og behovet for lufttransport i fremtiden. Blant annet nevnes det at utviklingen av høyhastighetstog og utbedret infrastruktur både i og mellom storbyer vil gjøre det mer gunstig å ta tog eller annen form for kollektivtransport på kortere avstander. Den utbedrede kollektivtransporten kan være en konkurrerende faktor som er med på å redusere behovet for antall kortruteflyginger, og følgelig redusere antall flybevegelser slik at risikoen for luftfartøykollisjon blir redusert.

#### **Teknologiutviklingen vil gi bedre flysikkerhet**

Ifølge (Avinor, 2015) vil teknologiutviklingen føre til endringer av flystørrelse, sammensetning av flytyper, lufttrafikkjeneste og flyplassdrift. For eksempel nevnes det at automatisering av manuelle kontrollfunksjoner vil gi bedre sikkerhet og lavere enhetskostnader i fremtiden. Videre skal det implementeres avanserte overvåkningsfunksjoner som gjør det mulig å fjernstyre operasjoner. Fjernstyring ved hjelp av kamera- og sensorteknologi ventes å gi muligheter både for betydelig effektivisering, og for å opprettholde operasjoner som ellers ikke vil være aktuelle.

Utviklingen av ny teknologi og produksjonsteknikker har gjort det mulig å bygge større og sikrere fly. For eksempel gamle passasjerfly fra 1950-tallet, som Boeing 707 har bare en maksimal startvekt på 112 tonn, mens noen land har begynt å operere med større fly, som for eksempel Airbus A380-800 med omtrent fem ganger større kapasitet, og en

maksimal startvekt på 575 tonn. På tross av at flyene blir sikrere så vil likevel det potensielle skadeomfanget av en flyulykke vil bli mer alvorlig på grunn av økt flystørrelse og vekt.

### **Endret rullebanebruk**

Norge er avhengig av et godt luftfartstilbud og flytrafikken forventes å øke som nevnt tidligere. Ifølge Avinors Masterplan for Bergen lufthavn vil det være behov for å utvide flyplassen med en ny østre parallellrullebane (Avinor, 2014). Den østre parallelbanen vil i hovedsak benyttes for trafikk med østlig og sørøstlig destinasjon, samt for alle mindre propellfly. Dette betyr at det kan komme mer fly som flyr direkte over Bjørnafjorden-området. En ny risikovurdering på kollisjonsfrekvensen burde i så fall blitt utført for å finne ut om økt trafikk over Bjørnafjorden vil føre at kollisjonsfrekvensen går over akseptkriteriet. Imidlertid er behovet for denne banen forventet å inntreffe først i 2040, og at trafikfordelingen i retning mot nord eller sør forblir omtrent den samme frem til en ny rullebanen kommer.

### **6.3.3 Feilkilder og metodefeil**

En mulig feilkilde i oppgaven kan være tellefeil av antall overflygninger. Grunnen til dette kan være at mange småfly ikke har krav om å ha radiosendere installert. Dermed er det ikke mulig for Flightradar24 å registrere bevegelser i Bjørnafjorden-området. I tillegg kan manglende radiodekning enkelte steder føre til at dataoverføringer mellom fly og bakkebaserte navigasjonsstasjoner av og til bli kuttet i Bjørnafjorden-området. Dette fører til at overflygning ikke blir registrert.

Noen av Avinors statistikker har for enkelte år hatt flere reviderte utgaver. En av grunnene til revideringene kan være at data fra lufthavnene er basert på deres økonomisystem, og er innsamlet fra flyselskap og agenter. Dermed kan datainnsamling fra de ulike lufthavnene være en kilde til mulige feil, både gjennom feilrapportering og manglende rapportering. I tillegg er det mulighet for feiltolkning av utgitte data fra forfatter sin side.

Det er heller ikke utelukket at forfatter har klassifisert ulykkene feil slik at for eksempel en ulykke, som ikke har blitt klassifisert som bakgrunnsaktivitet, egentlig er det. Siden forfatter har begrenset bakgrunnskunnskap innen luftfartsindustrien så vil kvalitative vurderinger om data skal bli inkludert i datagrunnlaget eller ikke, påvirke ulykkestallene

for Norge. Dermed er det rom feiltolkning av data, og en sammenligning av resultatene i oppgaven med resultater fra Storbritannia vil være basert på forskjellig grunnlag og følgelig ikke fornuftig. Resultatene fra Storbritannia har derfor i stor grad blitt brukt som pekepinn på hvordan resultatene kan se ut. Spesielt med tanke på at små endringer i antall ulykker vil påvirke den estimerte bakgrunnsfrekvensen i stor grad.

### **6.3.4 Begrensninger**

Statistikk viser at ulykker inntreffer relativt sjeldent og derfor kan antallet ulykker variere betydelig fra et år til det neste. Derfor kan det være misvisende å fokusere for mye på ulykkestall for ett enkelt år. I tillegg øker aktivitetsvolumet i luftfarten stadig, og dette må tas i betraktning. Antall bevegelser benyttes som grunnlag for beregning av kollisjonsfrekvens fordi det ifølge IATA (2017a) er sterkere statistisk korrelasjon mellom ulykker og antall bevegelser enn det er for eksempel mellom ulykker og antall flytimer, mellom antall ulykker og fly i tjeneste, eller ulykker og antall kilometer en passasjer reiser. Imidlertid har metoden sine begrensninger i og med at ulykkessannsynligheten per bevegelse er basert på begrenset datautvalg av 11 dødsulykker i Norge. Ideelt sett burde mer data blitt samlet for å få et bedre datagrunnlag. Dermed har ulykkessannsynligheten per bevegelse for luftfartøy basert på data fra Storbritannia blitt brukt til å beregne flyplassrelatert kollisjonsfrekvens.

Forfatter har ikke lyktes med å skaffe relevante flydata fra Avinor utenom det som har blitt publisert på nettsidene deres. Det ble sendt flere e-poster til Avinor for å spørre om mer detaljert flytrafikk-informasjon. Ingen respons ble mottatt på henvendelsene. Forfatter tok dermed en beslutning om å bruke en alternativ måte å samle data gjennom Flightradar24.com. Det anerkjennes at datasamlingsprosessen ikke er ideell og vil gi mindre presise data, men dataene anses som godt nok sett i lys av at dette bare er en enkel semi-kvantitativ analyse. Metoden bruker lang tid på å samle relevant data, og er mindre nøyaktig sammenlignet med å få direkte flydata fra Avinor. For eksempel vil det være mulig å få en detaljert oversikt over alle flybevegelser; luftkorridorer; fordeling på antall landinger og avganger; fordeling på rullebaneretning; antall operasjoner per type flyging eller flytype. Fremgangsmåten er i prinsippet den samme uansett, og det vil være enkelt å oppdatere dataene i modellen om disse tallene blir tilgjengelige. Imidlertid har datasamling lokalt for Bergen Lufthavn og Bjørnafjorden-området gitt innsikt i hvordan flytrafikken oppfører seg ved flyplassen, og området der bruene kommer til å ligge. Med

tanke på den aktuelle problemstillingen så er dette en bedre måte å samle data på for å forstå risikoen for luftfartøykollisjon mot bruen.

Det må også nevnes at tilgang til dataene hos Flightradar24.com krever månedlig medlemsavgift. Forfatter brukte et abonnement som kalles "Gold membership" som gir tilgang til flydata for opptil ett år. Dermed har det på grunn av økonomiske rammer bare blitt hentet flydata for en 1-års periode av antall bevegelser i Bjørnafjorden-området. Det er mulig å hente ut data for lengre perioder, men begrensningen ligger i at det koster urimelige summer for å hente skreddersydde data. Selv om det hadde vært mer optimalt med mer data så mener likevel forfatter at mengden data er rimelig å bruke, tatt i betraktning tiden det tar å samle mer data, og kostnaden av å hente ut mer data.

## **6.4 Risikoreduserende tiltak for å forhindre luftfartøykollisjoner**

Det er viktig å poengtere at selv om den totale årlige luftfartøykollisjonsfrekvensen er lavere enn akseptkriteriet så bør det likevel implementeres risikoreduserende tiltak i den grad det er mulig.

Luftfartshindringer utgjør en betydelig risiko for alle luftfartøy som opererer i lav høyde. Særlig hindringer som ikke er fysisk merket kan være vanskelig å oppdage fra luften. I bruens tilfelle vil dette innebære blant annet tårnet, skråstag og lyktestolper. Følgelig vil det være størst faremoment ved seilingsledet eller tårnet fordi det er konstruksjonens høyeste dimensjon, og den største hindringen for luftfartøy. Forfatter har i gjennomgangen av ulykkesrapporter lagt merke til at mange ulykker oppstår fordi piloten mangler visuell referanse med bakken. Risikoen for kollisjon øker betraktelig når flyging foregår i mørket eller dårlige siktforhold. Effektive risikoreduserende tiltak for å forhindre luftfartøykollisjon i dette tilfelle vil være å ha god oppmerking og belysning på bruen slik at piloter kan se bruen i mørke eller når det er begrenset sikt. Dermed vil det være mulig for piloten å avverge eller redusere konsekvensene av en eventuell kollisjon mot bruen. God oppmerking og belysning av bruen vil ikke bare ha positiv effekt for å forhindre luftfartøykollisjon, men også skipskollisjon. Det har vært utenfor oppgavens omfang å vurdere hvor stor eller liten grad disse risikoreduserende tiltakene vil påvirke kollisjonsfrekvensen.

## **6.5 Andre faremomenter**

### **6.5.1 Nødlandinger og redningsaksjoner på bru**

I gjennomgangen av ulykker har det blitt avdekket mange tilfeller der småfly eller helikoptre har måttet nødlande på vei, eller andre åpne områder fordi det ikke har vært mulig å komme seg til rullebanen. Siden bru kommer til å være bred nok for småfly og helikoptre vil dette legge til rette en mulighet for små luftfartøy å utføre en nødlanding på bru. Dette kan føre til kollisjoner med passasjertrafikk på veien, og føre til potensielle fataliteter og skader. Videre er det heller ikke uaktuelt at det vil forekomme redningsaksjoner der ambulanshelikopter må operere rett over bru for å komme seg til en eventuelt trafikkulykke som har inntruffet på bru. Scenariene der fly må nødlande på selve bru eller redningsaksjoner på grunn av trafikkulykke er utenfor oppgavens omfang og følgelig blitt ekskludert.

### **6.5.2 Tilsiktede uønskede hendelser som terrorisme og sabotasje**

Det har ikke vært mulig å finne informasjon som indikerer at Bjørnafjorden bru vil være et sannsynlig mål for terrorangrep eller sabotasje. Trusselen fra terrorisme og sabotasje har blitt vurdert på et generelt nivå basert på informasjon fra Nasjonal sikkerhetsmyndighet (2018), Etterretningstjenesten (2018), Politiets sikkerhetstjeneste (2018), Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (2014), risikovurdering av Luftfartstilsynet (2018), og andre relevante kilder. Transportsektoren har tidligere vært øverst på listen over terrormål, men det egentlige målet har alltid vært å påføre mest mulig skade på mennesker, og ikke transportsektoren i seg selv.

Med tanke på innsatsen og koordinasjonen som trengs for å utføre et terrorangrep med luftfartøy mot Bjørnafjorden bru, er skadepotensialet ganske begrenset, da bru vil være plassert langt fra tettbygde strøk, og med relativt lite trafikk sammenlignet med andre steder i Norge. Bruer, tunneler og vegsystemer er relevante mål i forhold til krigshandlinger for å hindre eller kutte forsyningsmuligheter, men per dags dato betraktes disse ikke som et relevant terroristmål. I tillegg finnes det alternative muligheter, for eksempel ferge eller vegbane, for å henholdsvis krysse over eller rundt Bjørnafjorden dersom bru blir satt ut av spill. Følgelig har forfatter ansett det som rimelig å se bort fra tilsiktede uønskede hendelser som terrorisme og sabotasje.

## 6.6 Refleksjoner

Forfatter håper med denne oppgaven å få frem at selv om en hendelse har «liten sannsynlighet for å inntreffe» så er det likevel viktig å gjøre en vurdering av hendelsen. Naturligvis er det ikke mulig å dimensjonere konstruksjoner til å motstå alle mulige hendelser på grunn av ressursbegrensinger, men da er det viktig at det er velbegrunnet hvorfor hendelsene ikke skal tas hensyn til. Forfatter mener at oppgaven til en viss grad har klart å begrunne hvorfor luftfartøykollisjoner kan sees bort fra analysen ved hjelp av en enkel semi-kvantitativ analyse. Imidlertid må det innrømmes at det med stor grad av frihet i forhold oppgavens rammer til tider har gjort det fristende å bare «plukke og blande» elementer som forfatter mener passer sammen i metoden. Dermed kan resultatet av oppgaven ha blitt påvirket i retningen som understøtter antakelsen om at kollisjonsfrekvensen er lav.

Utføringen av denne oppgaven har til dels vært en komplisert sak, men sett i lys av oppgavens oppsatte mål i delkapittel 1.2 så er forfatter totalt sett fornøyd med fremgangsmåten og utviklingen av metoden. En av de største utfordringene som forfatter støtte på var at det tok lang tid å sette skikkelig i gang med oppgaven fordi forfatter fra før ikke har hatt noen bakgrunn eller erfaring innen luftfartsindustrien. Det anbefales derfor å konsultere med eksperter innen feltet som jobber med dette til daglig for å få bedre innsikt i industrien og aktiviteten. En annen utfordring var det å prioritere informasjon i forhold til hva som var viktig i relasjon til oppgavens problemstilling. En ryddig prosess i litteraturstudien og gode søkestrategier har hjulpet betydelig med å prioritere relevant informasjon. Det må nevnes at forfatter på et tidlig stadium hadde satt seg for store ambisjoner for oppgaven, og at det viste seg etter hvert at risikovurdering av luftfartøykollisjoner er en mer omfattende prosess enn først antatt. En beslutning om å snevre inn på omfanget, og heller fokusere på kvalitet fremfor kvantitet har vist seg å være en god avgjørelse.

Etter å ha lest gjennom flere titalls risikovurderinger som har blitt gjort tidligere fra ulike industrivirksomheter har det blitt bemerket av forfatter at risikovurderinger kan være veldig forskjellige fra bedrift til bedrift, land til land, og industri til industri. Det viktigste for forfatters del har vært å lære seg tankeprosessen rundt hvordan risikovurderinger blir gjort for å prøve å reflektere og forstå intuitivt risikoen som er knyttet til aktiviteten.

Likevel må det nevnes at forfatter finner det overraskende at det ikke er mer samkjøring og informasjonsdeling mellom Avinor og Statens vegvesen for å fasilitere risikovurdering av ulykker på tvers av industrier med tanke på at de er begge statlige selskaper. Forfatter gjør ingen forsøk på å male Avinor som "den stygge ulven" siden de ikke responderte på henvendelsene, og respekterer at de ikke kan svare på alle mulige henvendelser.

## 7 Konklusjoner

Følgende konklusjoner kan bli gjort basert på litteraturstudiet, risikovurderingen og diskusjonen:

- I løpet av litteraturstudiet har det ikke blitt funnet noen rapporter som omhandler flyulykker på eller ved bruer. Det viser seg at det finnes mange databaser som kan være relevante kilder til problemstillingen, men kvaliteten på databasene varierer sterkt og må velges med omhu.
- Årsaksanalysen viser at metrologiske forhold har størst påvirkning på kollisjonsfrekvensen for luftfartøy. I tillegg skjer det ofte i sammenheng med en rekke regelbrudd, feilkommunikasjon, samt mangelfull risikobedømmelse at luftfartøykollisjoner oppstår.
- Resultatene indikerer at den totale årlige kollisjonsfrekvensen for luftfartøy mot Bjørnafjorden bru er lavere enn akseptkriteriet ( $10^{-4}$ ), og dermed må ikke hendelsen tas hensyn til i dimensjoneringen av bruene. Det har dermed ikke vært urimelig av Statens vegvesen å anta at kollisjonsfrekvensen for luftfartøy mot Bjørnafjorden bru er lav.
- Bjørnafjorden bru kommer til å ligge mer enn 20 km fra flyplassen. Dermed vil det dominerende bidraget til den totale årlige kollisjonsfrekvensen for luftfartøy mot Bjørnafjorden bru vil være bakgrunnsfrekvensen for flystyrt. Med andre ord er bidraget fra flyplassrelaterte aktiviteter tilnærmet neglisjerbar.
- Det er store usikkerheter i resultatet på grunn av begrenset bakgrunnskunnskap innen luftfartsindustrien og det lange tidsaspektet i risikoanalysen. Det er flere faktorer som er med på å påvirke den fremtidige lufttrafikken, og følgelig risikoen for luftfartøykollisjon mot Bjørnafjorden bru.
- Det har vært en nedgang i risikoen for ulykker med store rutefly på grunn av teknologiutviklingen innen flyindustrien. Denne nedgangen forventes å fortsette i årene fremover. Imidlertid er det forventet at det med økende flyaktivitet ikke kan forventes at dagens ulykkestall vil gå ned, selv om ulykkesfrekvensen er stabil. Siden de store ruteflyene blir større og har høyere passasjerkapasitet, vil dermed ulykker med slike fly føre til flere omkomne per ulykke.



# 8 Anbefalinger og forslag til videre arbeid

## 8.1 Anbefalinger

På bakgrunn av diskusjonen tidligere vil forfatter gi følgende anbefalinger:

- Beregningene burde omfatte et større datagrunnlag for å gi et bedre estimat for bakgrunnsfrekvensen for flystyrt og ulykkessannsynligheten per bevegelse i nærheten av en flyplass.
- Det anbefales å konsultere med eksperter fra Avinor for å verifisere at tallene som har blitt registrert i Bjørnafjorden-området stemmer.
- Modellen burde ta hensyn til ulike vektkategorier for luftfartøy, luftfartøytyper, og luftfartøyenes alder for å gi et mer representativt risikobilde.

## 8.2 Forslag til videre arbeid

Forfatter har vært nysgjerrig og ønsket å utforske mange ting, men på grunn av tidsbegrensninger har det ikke vært mulig å gå dypere inn på i oppgaven. Punktene under er forslag til videre arbeid:

- Det bør anvendes en Bayesiansk tilnærming for å finne sannsynligheten for fremtidige luftfartøykollisjoner. Med en Bayesiansk tilnærming tas det hensyn til usikkerheten av estimert frekvens i sannsynligheten for fremtidige luftfartøykollisjoner, noe som neglisjeres i den klassiske tilnærmingen brukt i Byrne (1997).
- Det bør utvikles en modell som inkluderer lokale forhold og menneskelige faktorer. En mulighet vil være å inkludere en Heinrich-faktor.
- Det bør utvikles flystyrtlokasjonsmodeller for flyplasser. Dette gjør det enklere å beregne individuell risiko og tredjepartsrisiko i området rundt flyplasser.

# Referanser

AIP Norge, 2018. *ENBR - BERGEN/Flesland*, Bergen: Avinor.

Aven, T., 2006. *Pålitelighets- og risikoanalyse*. 4 red. Oslo: Universitetsforlaget.

Aven, T., 2007. A unified framework for risk and vulnerability analysis and management. *Reliability Engineering and System Safety*, p. 92: 745–54.

Aven, T., 2011. *Quantitative Risk Assessment*. Cambridge.

Aven, T., 2012. The risk concept - historical and recent development trends. *Reliability Engineering and System Safety*, Volum 99, pp. 33-44.

Aven, T., 2013. How to define and interpret a probability in a risk and safety setting. (*Discussion paper with general introduction by Reniers G*). *Safety Science*, Volum 51, pp. 223-231.

Aven, T., 2015. *Risk Analysis*. 2nd red. Stavanger: Wiley.

Aven, T. & Renn, O., 2009. On risk defined as an event where the outcome is uncertain. *Journal of Risk Research*, pp. 1-11.

Avinor AS, 2018. <https://avinor.no/konsern/om-oss/trafikkstatistikk/trafikkstatistikk>. [Internett]

Tilgjengelig fra: <https://avinor.no/konsern/om-oss/trafikkstatistikk/trafikkstatistikk> [Besøkt: 15 05 2018].

Avinor, 2014. *MASTERPLAN 2014 for perioden 2014-2021 med perspektiver for en tidshorisont til 2065*, Bergen: Avinor.

Avinor, 2015. *Perspektivanalyse mot 2050*, Oslo: Avinor.

Blumberg, B., Cooper, D. & Schindler, P., 2008. *Business Research Methods*. 2nd Edition red. s.l.:McGraw-Hill Higher Education.

Boeing, 2017. *Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents: Worldwide operations 1959-2016*, Seattle, Washington: Boeing Commercial Airplanes.

- Bowen, G. A., 2009. Document Analysis as a Qualitative Research Method. *Qualitative Research Journal*, 9(2), pp. 27-40.
- Byrne, J., 1997. *The calculation of aircraft crash risk in the UK*, s.l.: Health and Safety Executive Sudbury.
- Cardi, A., Di Mascio, P., Di Vito, M. & Pandolfi, C., 2012. Distribution of Aircraft Accidents Around Runways. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 53 (2012) 862-871.
- Chelpati, C., Kennedy, R. & Wall, I., 1972. Probabilistic Assessment of Aircraft Hazard for Nuclear Power Plants. *Nuclear Engineering and Design* 19, pp. 333-364.
- Cowell, P., Gerrard, R. & Patterseon, D., 1997. *A crash loaction model for use in the vicinity of airports*, National Air Traffic Services, London: NATS R&D Report 9705.
- Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, 2014. *Nasjonalt risikobilde 2014*, Tønsberg: Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap.
- DOE, 1992. *The Annual Probability of an Aircraft Crash on the U.S. Department of Energy Reservation in Oak Ridge, Tennessee*, Oak Ridge, Tennessee: ORNL.
- DOE, 2006. *Accident Analysis For Aircraft Crash Into Hazardous Facilities*. DOE Standard DOE-STD-3014-2006 red. Washington D.C.: United States Department of Energy.
- Eisenhut, D. G., 1973. Reactor Siting in the Vicinity of Air Fields. *American Nuclear Society*, June.
- ESR Technology, 2007. *Lydd Airport Planning Application: Review of Dungeness B Aircraft Impact Analysis*, ESR Technology report ESRT/D0010905/001/Draft/18 July 2007. Warrington: ESR Technology.
- ESR Technology, 2008. *Review of Aircraft Crash Rates for the UK up to 2006*, ESR Technology report ESR/D1000646/001/Issue 1. Warrington: ESR Technology.
- Etterretningstjenesten, 2018. *Fokus 2018*, Oslo: Etterretningstjenesten.
- Flage, R., Aven, T. & Berner, C., 2018. A comparison between a probability bounds analysis and subjective probability approach to express epistemic uncertainties in a risk

assessment context - A simple illustrative example. *Reliability Engineering and System Safety* 169, pp. 1-10.

ICAO, 2016a. *Safety Report 2016*, Montreal, Canada: ICAO.

ICAO, 2016b. *Annex 13 - Aircraft accident and incident investigation*, (11th ed., July 2016). Montreal, Canada.

International Air Transport Association, 2017a. *Safety Report 2016*, Montreal, Geneva: International Air Transport Association.

International Air Transport Association, 2017b. *FUTURE OF THE AIRLINE INDUSTRY 2035*, Montreal, Geneva: International Air Transport Association.

ISO, 2009. Risk management vocabulary. *ISO/IEC Guide 73*.

Jensen, T. K., 2017. *Bestemmelse af Heinrich-faktor i forbindelse med "Ferjefri E39"*. København: Rambøll.

Kaplan, S., 1991. Risk assessment and risk management – basic concepts and terminology.

Kaplan, S. & Garrick, J., 1981. On the quantitative definition of risk. *Risk Analysis*.

Kim, I. & Kuljis, J., 2010. Applying Content Analysis to Web-based Content. *Journal of Computing and Information Technology*, 18(4), pp. 369-375.

Luftfartstilsynet, 2018. *Årsrapport 2017*, Bodø: Luftfartstilsynet.

Nasjonal sikkerhetsmyndighet, 2018. *Risiko 2018*, Sandvika: Nasjonal sikkerhetsmyndighet.

NORSOK, 2010. *NORSOK STANDARD Z-013N Risiko- og beredskapsanalyse*, Rev. 2.: Standard Norge.

NS 5814, 2008. *Krav til risikovurderinger*. Oslo: Standard Norge.

Phillips, D., 1987. *Criteria for the rapid assessment of the aircraft crash rate into major hazards installations according to their location*, SRD/HSE report R435.

Politiets sikkerhetstjeneste, 2018. *Trusselvurdering 2018*, Oslo: Politiets sikkerhetstjeneste.

Rausand, M. & Utne, I. B., 2009. *Risikoanalyse: teori og metoder*. Trondheim: Tapir Akademisk Forlag.

Rosa, E. A., 1998. Metatheoretical foundations for post-normal risk. *Journal of Risk Research Vol.1(1)*, pp. 15-44.

Rosa, E. A., 2003. The logical structure of the social amplification of risk framework (SARF): Metatheoretical foundations and policy implications. *The social amplification of risk*, ed. N. Pidgeon, R.E. Kaspersen and P. Slovic, pp. 47-76.

Samferdselsdepartementet, 2016. *Nasjonal transportplan 2018-2029*, Oslo: Samferdselsdepartementet.

SINTEF, 2014. *Støysoner etter T-1442/2012 for Bergen lufthavn Flesland*, Trondheim, Norge: SINTEF.

Society for Risk Analysis (SRA), 2015. *SRA glossary*.

Statens Havarikommisjon for Transport, 1975. *Rapport om luftfartsulykke nær Asdøltjern, Asker den 23. desember 1972 kl. 1634:55 med F-28, LN-SUY tilhørende Braathens Safe A/S*, Lillestrøm: Statens Havarikommisjon for Transport.

Statens Havarikommisjon for Transport, 1989. *RAPPORT OM LUFTFARTSULYKKE VED TORGHATTEN NÆR BRØNNØYSUND DEN 6. MAI 1988 MED DASH 7 LN-WFN*, Lillestrøm: Statens Havarikommisjon for Transport.

Statens Havarikommisjon for Transport, 2017. *NORSK SAMMENDRAG AV FORELØPIG RAPPORT OM LUFTFARTSULYKKE VED TURØY, ØYGARDEN I HORDALAND, 29. APRIL 2016 MED AIRBUS HELICOPTERS EC 225 LP, LN-OJF, OPERERT AV CHC HELIKOPTER SERVICE AS*, Lillestrøm: Statens Havarikommisjon for Transport.

Statens Havarikommisjon for Transport, 2018. *Undersøkelse av luftfartsulykke ved Svolvær lufthavn Helle*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <https://www.aibn.no/Luftfart/Undersokelser/18-147>  
[Besøkt: 25 05 2018].

Statens Havarikommisjon for Transport, 2018. *www.aibn.no*. [Internett]  
Tilgjengelig fra: <https://www.aibn.no/Luftfart/Avgitte-rapporter>  
[Besøkt: 31 05 2018].

Statens vegvesen, 2015. Håndbok N400 Bruprosjektering.

Statens vegvesen, 2017. *Årsrapport 2016 - Ferjefri E39*, Statens vegvesen.

Statens vegvesen, 2018. *www.vegvesen.no/Europaveg/e39stordos/fjordkryssing-bjornafjorden*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <https://www.vegvesen.no/Europaveg/e39stordos/fjordkryssing-bjornafjorden>  
[Besøkt: 14 juni 2018].

Strauss, A. & Corbin, J., 1990. *Basics of qualitative research: Grounded theory procedures and techniques*. Thousand Oaks, CA, US: Sage Publications, Inc.

TAP, 2014. *A Review and Statistical Modelling of Accidental Aircraft Crashes within Great Britain*, Derbyshire: Technical Advisory Panel.

Thune-Larsen, H., 2015. *Flytrafikkprognoser for Stavanger, Bergen og Trondheim 2014-40*, Oslo: Transportøkonomisk institutt.

US NRC, 2010. *Standard Review Plan, NUREG-0800*, Revision 4 dated March 2010, Washington D.C., United States of America: US NRC.

Vinnem, J. E., 2007. *Offshore Risk Assessment: Principles, Modelling and Applications of QRA Studies*. (3rd ed., Springer Series in Reliability Engineering). I: London: Springer.

Vinnem, J. E. et al., 2009. Generalised methodology for operational risk analysis of offshore installations. *Risk, Reliability and Societal Safety*, 223(1), pp. 87-97.

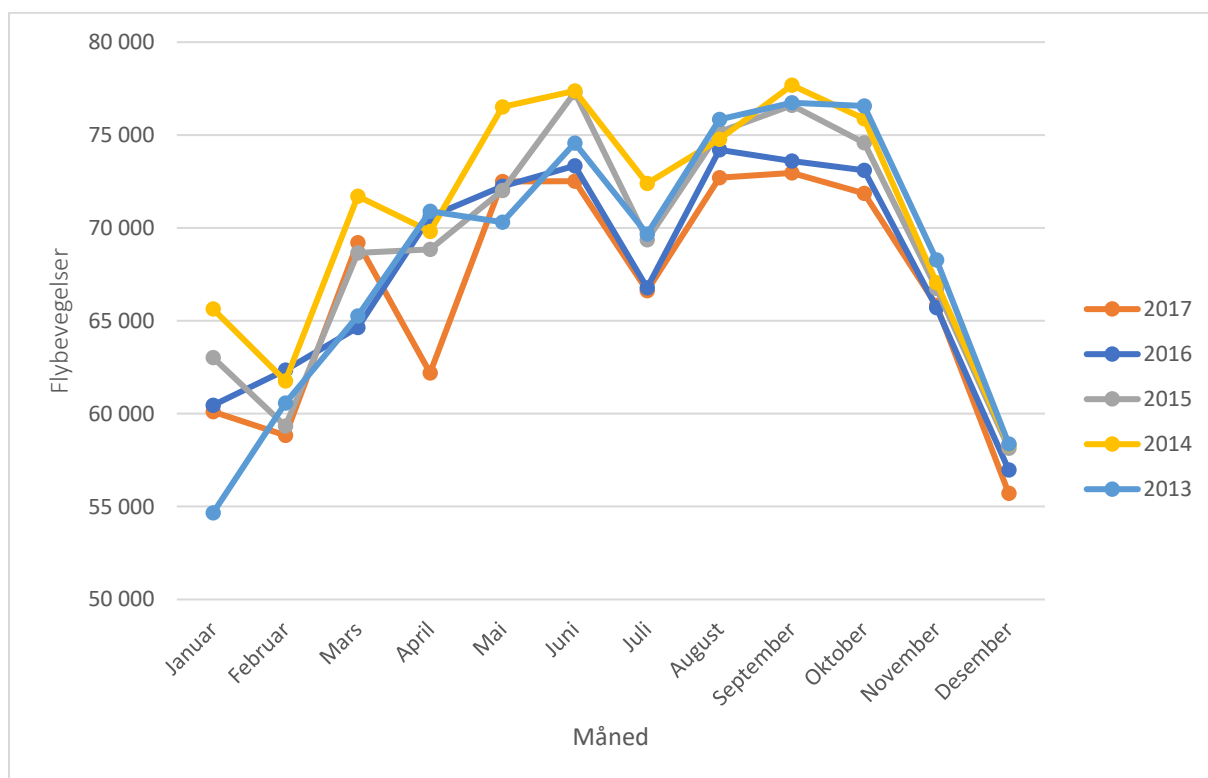
Willis, H. H., u.d. Guiding resource allocations based on terrorism risk. *Risk Analysis*, pp. 27:597-606.



# Vedlegg A - Statistikkgrunnlag for trafikkanalysen

Terminalpassasjerer er summen av passasjerer om bord ved avgang og passasjerer om bord ved ankomst. Flypassasjerer er reisende per flygning. Antall reiser vil være mindre enn antall flygninger siden mange reiser har mer enn én flygning. For innenlandstrafikk er flypassasjerer registrert to ganger i tallet for terminalpassasjerer. Tidligere publikasjoner om lufttransport er basert på aggregerte data fra Avinor. Fra og med januar 2009 er grunnlagsdata gitt om flybevegelse i tillegg til passasjerer, og publiseringen er derfor mer detaljert.

En flybevegelse eller bare bevegelse forstås som enten en landing eller avgang. Antall flybevegelser brukes dermed som et mål på aktivitetsnivået for en flyplass.



Figur A.1: Figuren viser variasjon av flybevegelser for Bergen lufthavn Flesland per måned i perioden 2013 til 2017. Basert på statistikk utgitt av Avinor for 2013 til 2017.



Tabell A.1: Årlig antall bevegelser og terminal passasjerer. Statistikk er hentet fra Avinor (2018). Se Tabell A.2 og A.3 for detaljert månedsstatistikk for henholdsvis terminalpassasjerer og antall flybevegelser.

År	Flybevegelser	Terminalpassasjerer
2003	558 200	27 920 421
2004	581 767	30 097 318
2005	589 898	32 740 827
2006	623 387	36 204 629
2007	648 672	38 679 674
2008	655 184	39 540 001
2009	618 453	37 899 778
2010	662 523	40 111 879
2011	754 355	44 266 405
2012	814 253	46 354 492
2013	821 716	48 310 381
2014	848 933	50 106 783
2015	829 782	50 014 539
2016	813 986	50 795 932
2017	801 040	52 867 843

Tabell A.2: Gjennomsnittlig antall flybevegelser av de ti største flyplassene i Norge for de siste 5 årene fra 2013 til 2017. Basert på statistikk utgitt av Avinor for 2013 til 2017.

#	Lufthavn Navn	IATA-kode	2013	2014	2015	2016	2017	Gjennomsnitt siste 5 årene
1	OSLO LUFTHAVN	OSL	243 092	248 550	242 445	247 560	253 541	247 038
2	BERGEN LUFTHAVN	BGO	106 225	103 767	98 936	94 180	90 341	98 690
3	STAVANGER LUFTHAVN	SVG	87 352	90 862	85 306	77 950	72 541	82 802
4	TRONDHEIM LUFTHAVN	TRD	60 830	61 474	60 643	61 663	60 152	60 952
5	TROMSØ LUFTHAVN	TOS	42 000	43 723	42 444	43 763	47 543	43 895
6	BODØ LUFTHAVN	BOO	42 531	43 392	42 902	43 982	43 625	43 286
7	SANDEFJORD LUFTHAVN	TRF	42 139	38 406	37 167	35 580	38 515	38 361
8	KRISTIANSAND LUFTHAVN	KRS	19 465	20 126	19 907	19 009	17 994	19 300
9	ÅLESUND LUFTHAVN	AES	16 057	16 978	17 092	16 323	17 030	16 696
10	HAMMERFEST LUFTHAVN	HFT	12 802	14 013	14 127	13 522	13 974	13 688

Tabell A.2: Årlig antall terminalpassasjerer i Norge fra 2003 til 2018. Basert på statistikk fra Avinor (2018a).

År	Januar	Februar	Mars	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Desember	Totalt
<b>2003</b>	1 903 422	1 978 467	2 282 199	2 154 705	2 378 759	2 750 067	2 457 129	2 509 821	2 539 959	2 610 931	2 357 232	1 997 730	27 920 421
<b>2004</b>	1 991 981	2 188 824	2 501 253	2 342 495	2 631 423	3 046 999	2 653 597	2 737 849	2 700 693	2 741 088	2 464 523	2 096 593	30 097 318
<b>2005</b>	2 211 120	2 326 220	2 529 196	2 649 952	2 871 071	3 178 654	2 818 239	2 929 900	3 048 273	3 027 977	2 799 631	2 372 113	32 740 827
<b>2006</b>	2 387 509	2 467 889	3 006 978	2 689 245	3 273 800	3 508 489	3 273 629	3 357 706	3 364 567	3 358 096	3 005 360	2 511 361	36 204 629
<b>2007</b>	2 652 992	2 655 937	3 280 381	2 921 185	3 424 930	3 716 735	3 390 446	3 518 591	3 555 839	3 615 010	3 282 339	2 665 289	38 679 674
<b>2008</b>	2 831 508	3 009 237	3 126 664	3 492 881	3 390 841	3 877 243	3 466 562	3 506 824	3 608 811	3 607 502	3 055 548	2 566 380	39 540 001
<b>2009</b>	2 572 314	2 689 907	3 162 119	3 026 500	3 237 531	3 677 154	3 341 461	3 354 686	3 460 397	3 546 380	3 164 293	2 667 036	37 899 778
<b>2010</b>	2 727 432	2 868 719	3 355 865	2 381 067	3 487 787	3 871 245	3 651 001	3 745 559	3 838 194	3 844 374	3 411 298	2 929 338	40 111 879
<b>2011</b>	2 961 192	3 036 173	3 655 738	3 436 743	3 969 861	4 198 757	3 934 627	3 937 823	4 119 351	4 135 812	3 725 243	3 155 085	44 266 405
<b>2012</b>	3 218 071	3 404 243	3 921 999	3 513 324	4 162 586	4 239 487	4 166 402	4 168 297	4 247 584	4 267 971	3 869 315	3 175 213	46 354 492
<b>2013</b>	3 277 807	3 418 984	3 741 816	4 035 227	4 220 892	4 597 152	4 462 056	4 364 289	4 466 332	4 457 440	3 904 541	3 363 845	48 310 381
<b>2014</b>	3 466 485	3 490 791	4 085 764	4 104 401	4 362 467	4 966 869	4 630 739	4 510 200	4 571 809	4 562 978	3 925 432	3 428 848	50 106 783
<b>2015</b>	3 335 025	3 499 805	4 024 348	4 012 683	4 368 314	4 903 813	4 726 456	4 560 026	4 597 268	4 549 491	4 001 911	3 435 399	50 014 539
<b>2016</b>	3 387 711	3 718 027	4 059 953	4 017 903	4 472 520	4 872 167	4 662 874	4 643 236	4 686 199	4 603 708	4 052 458	3 619 176	50 795 932
<b>2017</b>	3 598 087	3 707 640	4 371 756	4 171 684	4 637 714	5 088 909	4 939 296	4 865 456	4 810 992	4 818 612	4 182 127	3 675 570	52 867 843
<b>2018</b>	3 678 892	3 821 234	4 308 544	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	11 808 670

Tabell A.3: Årlig antall flybevegelser i Norge fra 2003 til 2018. Basert på statistikk fra Avinor (2018a).

År	Januar	Februar	Mars	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Desember	Totalt
<b>2003</b>	45 918	42 603	46 794	43 028	47 016	48 639	45 469	48 474	50 281	51 151	47 568	41 259	558 200
<b>2004</b>	46 484	45 347	51 689	45 859	48 134	52 091	45 940	51 092	50 923	51 697	48 474	44 037	581 767
<b>2005</b>	46 124	44 634	47 166	50 648	50 131	52 677	46 289	51 309	52 699	51 296	51 386	45 539	589 898
<b>2006</b>	48 226	45 421	54 699	47 065	55 766	55 320	48 878	54 975	55 672	57 055	54 469	45 841	623 387
<b>2007</b>	50 890	48 125	56 374	49 720	56 663	57 817	51 171	57 695	56 849	59 996	56 494	46 878	648 672
<b>2008</b>	53 245	51 208	50 169	58 728	54 250	59 787	52 030	57 254	59 522	59 372	53 455	46 164	655 184
<b>2009</b>	49 336	47 685	55 218	48 323	51 731	54 688	46 975	53 026	56 630	56 070	53 198	45 573	618 453
<b>2010</b>	51 971	50 830	56 911	45 475	56 315	59 714	51 691	58 730	62 090	60 783	57 694	50 319	662 523
<b>2011</b>	59 300	57 595	67 615	62 896	72 223	71 063	62 755	60 604	63 844	62 963	60 793	52 704	754 355
<b>2012</b>	62 829	61 225	69 730	63 988	73 392	74 284	65 583	73 339	71 128	73 712	68 161	56 882	814 253
<b>2013</b>	54 656	60 570	65 257	70 900	70 305	74 559	69 678	75 840	76 739	76 563	68 279	58 370	821 716
<b>2014</b>	65 647	61 770	71 699	69 813	76 520	77 379	72 389	74 774	77 685	75 872	67 047	58 338	848 933
<b>2015</b>	63 020	59 326	68 663	68 848	72 024	77 295	69 362	75 176	76 592	74 578	66 746	58 152	829 782
<b>2016</b>	60 449	62 341	64 636	70 599	72 247	73 351	66 783	74 202	73 597	73 095	65 717	56 969	813 986
<b>2017</b>	60 113	58 835	69 203	62 190	72 497	72 511	66 619	72 714	72 962	71 860	65 826	55 710	801 040
<b>2018</b>	60 417	58 415	64 071	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	182 903

# Vedlegg B – Datagrunnlag for ulykkesstatistikk

Tabell B.1: Antall luftfartsulykker i Norge per år i perioden 2007 til 2018. Statistikk hentet fra SHT (2018) og fremstilt av forfatter. Ulykker merket med (\*) er ulykker som fortsatt er pågående ulykkesgranskninger og bare midlertidige rapporter er publisert.

#	Hendelsesdato	Luftfartøy	Sted	Vektkategori
1	30.03.2007	<a href="#">Cessna U206G</a>	Stavanger lufthavn Sola (ENZV)	Lett, fly (< 5 700kg)
2	14.04.2007	<a href="#">PLZ Swidnik SA PW-6U</a>	Notodden flyplass (ENNO)	Lett, fly (< 5 700kg)
3	18.04.2007	<a href="#">Huges 369D</a>	Hardangsfjellet, Nordland	Lett, helikopter (<= 2 250kg)
4	23.05.2007	<a href="#">Rolladen-Schneider Flugzeugbau GmbH LS3-A</a>	Elverum flyplass Starmoen (ENHN)	Lett, fly (< 5 700kg)
5	22.06.2007	<a href="#">Cessna U206E</a>	Huseby flyplass, Østfold	Lett, fly (< 5 700kg)
6	06.07.2007	<a href="#">Piper PA-28-181 Archer III</a>	Svolvær lufthavn Helle (ENSH)	Lett, fly (< 5 700kg)
7	22.07.2007	<a href="#">Van's Aircraft RV-4</a>	Hamar flyplass Stafsberg (ENHA)	Lett, fly (< 5 700kg)
8	01.08.2007	<a href="#">EXTRA EA-230</a>	Elverum flyplass Starmoen (ENHN)	Lett, fly (< 5 700kg)
9	15.08.2007	<a href="#">Reims Aviation SA FR 172F</a>	Sør-sørøst for Karasjok	Lett, fly (< 5 700kg)
10	11.09.2007	<a href="#">Eurocopter AS350B2</a>	Åbakken, Sauherad, Telemark	Lett, helikopter (<= 2 250kg)
11	18.09.2007	<a href="#">Robinson Helicopter Company R44</a>	Bergeskogen nordøst for Elverum, Hedmark	Lett, helikopter (<= 2 250kg)
12	27.09.2007	<a href="#">Robinson Helicopter R22 Beta</a>	Sandfloegga, Hardangervidda, Hordaland	Lett, helikopter (<= 2 250kg)
13	29.10.2007	<a href="#">Robinson R-44</a>	Rudskogen i Østfold	Lett, helikopter (<= 2 250kg)
1	04.02.2008	<a href="#">Boeing 737-600</a>	Innflyging til Trondheim lufthavn Værnes (ENVA)	Tung, fly (> 10 000kg)
2	20.05.2008	<a href="#">Robinson R-44</a>	Mulbukindene, Tysfjord i Nordland	Lett, helikopter (<= 2 250kg)
3	05.06.2008	<a href="#">Rutan (EX) Vari-Eze</a>	Ved Lahelle i Vestfold	Lett, fly (< 5 700kg)
4	11.06.2008	<a href="#">Reims Aviation SA F 172P</a>	Reinsvoll flyplass (ENRV)	Lett, fly (< 5 700kg)
5	20.06.2008	<a href="#">Fairchild Aircraft Corporation SA226-T(B) Merlin</a>	I sjøen 10 NM vest for Sotra, Hordaland	Middels, fly (5 700 - 10 000kg)
6	24.09.2008	<a href="#">Bell Helicopter Textron Inc. 206B</a>	Hønefoss flyplass Eggemoen (ENEG)	Lett, helikopter (<= 2 250kg)
7	17.10.2008	<a href="#">Boeing Commercial Airplane Group 737-300</a>	Moss lufthavn Rygge (ENRY)	Tung, fly (> 10 000kg)
8	07.12.2008	<a href="#">Piper LA-18C Army Cub</a>	Lunde flyplass (ENLU)	Lett, fly (< 5 700kg)
9	18.12.2008	<a href="#">Eurocopter AS 332L</a>	7 NM vest av Hammerfest lufthavn (ENHF)	Tung, helikopter (> 2 250kg)
1	02.02.2009	<a href="#">Eurocopter SA 315 B Lama</a>	Tovenfjellet i Nordland	Tung, helikopter (> 2 250kg)
2	04.02.2009	<a href="#">Eurocopter AS 350 B3</a>	Rostadalen, Målselv i Troms	Lett, helikopter (<= 2 250kg)
3	27.04.2009	<a href="#">Diamond Aircraft Industries GmbH, DA40-D</a>	Hønefoss flyplass Eggemoen (ENEG)	Lett, fly (< 5 700kg)
4	10.08.2009	<a href="#">Piper PA-18-150</a>	Gol flyplass Klanten (ENKL)	Lett, fly (< 5 700kg)

5	11.08.2009	<a href="#">Reims Aviation F172M</a>	Coalbmejavri, Kautokeino, Finnmark	Lett, fly (< 5 700kg)
6	14.08.2009	<a href="#">Piper PA-18-150 Super Cub</a>	Elvenes flyplass i Salangen, Troms	Lett, fly (< 5 700kg)
7	22.09.2009	<a href="#">Schweizer 269C</a>	Sluskfjellet, Sørøya, Finnmark	Lett, helikopter (<= 2 250kg)
8	09.10.2009	<a href="#">Eurocopter AS 350B2 Ecureuil</a>	Store Hoggarvatn, Rogaland	Lett, helikopter (<= 2 250kg)
9	09.10.2009	<a href="#">Rotorway International EXEC 162F</a>	Madlansheiane, Rogaland	Lett, helikopter (<= 2 250kg)
10	03.12.2009	<a href="#">Cirrus Design Corp SR22</a>	Rørvik lufthavn Ryum (ENRM)	Lett, fly (< 5 700kg)
1	27.01.2010	<a href="#">Robinson Helicopter Company R44</a>	Horten	Lett, helikopter (<= 2 250kg)
2	16.03.2010	<a href="#">Piper Aircraft PA-28-140 Cherokee</a>	Rakkestad flyplass (ENRK)	Lett, fly (< 5 700kg)
3	10.05.2010	<a href="#">Reims Aviation SA F172M</a>	Bergen lufthavn Flesland (ENBR)	Lett, fly (< 5 700kg)
4	28.05.2010	<a href="#">Cirrus Aircraft SR20</a>	Sirdal, Vest-Agder	Lett, fly (< 5 700kg)
5	14.06.2010	<a href="#">Glaser-Dirks DG-300 Elan</a>	Braskereidfoss, Hedmark	Lett, fly (< 5 700kg)
6	12.07.2010	<a href="#">Lancair Legacy 2000</a>	Honningsvåg lufthavn Valan (ENHV)	Lett, fly (< 5 700kg)
7	16.07.2010	<a href="#">Saab Scania MFI 9/Piper Aircraft PA-28-151</a>	Kjeller flyplass (ENKJ)	Lett, fly (< 5 700kg)
8	27.07.2010	<a href="#">Piper Aircraft PA-19</a>	Haga flyplass, Akershus	Lett, fly (< 5 700kg)
9	21.08.2010	<a href="#">Vickers Supermarine Spitfire FR Mk. XVIII</a>	Tynset flyplass (ENTY)	Lett, fly (< 5 700kg)
1	02.03.2011	<a href="#">Fairchild Aircraft Corporation SA227-AC</a>	Oslo lufthavn Gardermoen (ENGM)	Middels, fly (5 700 - 10 000kg)
2	16.03.2011	<a href="#">Cirrus Design Corp SR22</a>	Rørvik lufthavn Ryum (ENRM)	Lett, fly (< 5 700kg)
3	09.04.2011	<a href="#">Cessna Aircraft Company 172S</a>	Nedre Vats, Rogaland	Lett, fly (< 5 700kg)
4	01.05.2011	<a href="#">Robinson R22 Beta</a>	Løfallstrand, Hordaland	Lett, helikopter (<= 2 250kg)
5	02.05.2011	<a href="#">Eurocopter AS350 B3</a>	Flekkefjord, Vest-Agder	Lett, helikopter (<= 2 250kg)
6	22.06.2011	<a href="#">Cessna Aircraft Company 172S</a>	Stavanger lufthavn Sola (ENZV)	Lett, fly (< 5 700kg)
7	04.07.2011	<a href="#">Eurocopter AS350 B3</a>	Nær Dalamot, Ullensvang i Hordaland	Lett, helikopter (<= 2 250kg)
8	31.12.2011	<a href="#">Diamond Aircraft Industries HK 36 TTC Dimona</a>	Oppdal flyplass Fagerhaug (ENOP)	Lett, fly (< 5 700kg)
1	11.01.2012	<a href="#">Robinson Helicopter Compan R44 Raven II</a>	2 Nm øst av Mosjøen lufthavn, Kjærstad (ENMS)	Lett, helikopter (<= 2 250kg)
2	19.06.2012	<a href="#">Schempp-Hirth flugzeugbau GmbH Duo Discus</a>	10 km nord for Elverum flyplass Starmoen (ENSM)	Lett, fly (< 5 700kg)
3	24.06.2012	<a href="#">Cessna Aircraft Company 180</a>	Brønnøysund havn	Lett, fly (< 5 700kg)
4	10.08.2012	<a href="#">Cessna Aircraft Corp. C 172 RG</a>	Nær Søvatnet i Bjugn, Sør-Trøndelag	Lett, fly (< 5 700kg)
5	19.08.2012	<a href="#">The New Piper Aircraft PA-28-181 Archer III</a>	Trysil flypass Sæteråsen (ENTS)	Lett, fly (< 5 700kg)
6	25.08.2012	<a href="#">Piper Aircraft, Inc. PA-18-150</a>	Sørum gård i Lier, Buskerud	Lett, fly (< 5 700kg)
7	25.08.2012	<a href="#">Grob Aircraft Club Astir II</a>	Elverum flyplass Starmoen (ENSM), Hedmark	Lett, fly (< 5 700kg)
8	15.09.2012	<a href="#">Cessna Aircraft Company P210N</a>	Rakkestad flyplass Åstorp (ENRK)	Lett, fly (< 5 700kg)
1	01.04.2013	<a href="#">Reims Aviation SA F172E</a>	Nome kommune, Telemark	Lett, fly (< 5 700kg)

2	27.04.2013	<a href="#">Eurocopter AS 350 B3</a>	Røldal skisenter, Odde	Lett, helikopter (<= 2 250kg)
3	17.06.2013	<a href="#">Alexander Schleicher GmbH &amp; Co</a>	Namsos lufthavn (ENNM)	Lett, fly (< 5 700kg)
4	18.07.2013	<a href="#">(EX) Pipistrel Sinus</a>	Bøverbru, Oppland	Lett, fly (< 5 700kg)
5	22.07.2013	<a href="#">Progressive Aerodyne Inc. Searay</a>	Gol flyplass Klanten (ENKL)	Lett, fly (< 5 700kg)
6	12.08.2013	<a href="#">Evans Aircraft (EX) EVANS VP MK2</a>	Skien lufthavn Geiteryggen (ENSN)	Lett, fly (< 5 700kg)
7	09.09.2013	<a href="#">Piper Aircraft PA-19</a>	Gjerstad, Skarnes, Hedmark	Lett, fly (< 5 700kg)
1	14.01.2014	<a href="#">Eurocopter Deutschland GmbH EC 135 P2+</a>	Ved Sollihøgda, Hole kommune, Buskerud	Lett, helikopter (<= 2 250kg)
2	17.06.2014	<a href="#">Piper Aircraft Inc. PA-28-140</a>	Ski flyplass (ENSI)	Lett, fly (< 5 700kg)
3	24.06.2014	<a href="#">Airbus Helicopters AS 350 B3e</a>	Hjerkin, Dovre kommune	Lett, helikopter (<= 2 250kg)
4	05.07.2014	<a href="#">Robinson Helicopter Company R44 II</a>	Trollheimen	Lett, helikopter (<= 2 250kg)
5	24.11.2014	<a href="#">Boeing Commercial Airplane Group 737-883</a>	Stavanger lufthavn, Sola (ENZV)	Tung, fly (> 10 000kg)
1	20.06.2015	<a href="#">Aerospatiale SNI (EX) NORD 1002</a>	Elverum flyplass Starmoen (ENSM)	Lett, fly (< 5 700kg)
2	10.07.2015	<a href="#">Reims Aviation SA - FR172E</a>	Privat flystripe, Villmobakken, Vannøya i Troms	Lett, fly (< 5 700kg)
3	24.07.2015	<a href="#">Cessna Aircraft Company 177A</a>	Rakkestad flyplass Åstorp (ENRK)	Lett, fly (< 5 700kg)
4	28.07.2015	<a href="#">Vans RV-6</a>	Ålesund lufthavn Vigra (ENAL)	Lett, fly (< 5 700kg)
5	15.08.2015	<a href="#">Airbus Helicopters EC 120B</a>	Reisadalen, Troms	Lett, helikopter (<= 2 250kg)
6	06.09.2015	<a href="#">Grob Aircraft AG. G 103C SL</a>	Norheim, Karmsund, Rogaland	Lett, fly (< 5 700kg)
7	24.09.2015	<a href="#">Alexander Schleicher GmbH &amp; CO</a>	Hatten, Lesja kommune, Oppland fylke	Lett, fly (< 5 700kg)
8	02.10.2015	<a href="#">American Champion Aircraft Corp 8KCAB</a>	Reinsvoll flyplass, Vestre Toten kommune, Oppland	Lett, fly (< 5 700kg)
9	21.11.2015	<a href="#">Robinson Helicopter Company R22 Beta</a>	Sandefjord Lufthavn, ENTO	Lett, helikopter (<= 2 250kg)
10	07.12.2015	<a href="#">Airbus Helicopters AS 350 B3</a>	Brydalsfossen, Masfjorden kommune, Hordaland	Lett, helikopter (<= 2 250kg)
1*	29.04.2016	<a href="#">Airbus Helicopters H225</a>	Turøy, Hordaland	Tung, helikopter (> 2 250kg)
2	17.05.2016	<a href="#">Piper Aircraft PA-28R-200</a>	7 km nord-nordøst av Halden, Østfold	Lett, fly (< 5 700kg)
3	31.05.2016	<a href="#">DeHavilland DH-82A Tiger Moth</a>	Kjeller flyplass (ENKJ)	Lett, fly (< 5 700kg)
4	14.06.2016	<a href="#">Robinson Helicopter Company R22 Beta</a>	Vangsnes, Sogn og Fjordane	Lett, helikopter (<= 2 250kg)
5	05.07.2016	<a href="#">Sikorsky Aircraft Corporation S-92A</a>	Stavanger lufthavn, Sola	Tung, helikopter (> 2 250kg)
6	15.07.2016	<a href="#">Allstar PZL Glider SZD-55-1</a>	Namnå i Grue kommune, Hedmark	Lett, fly (< 5 700kg)
7	20.07.2016	<a href="#">Airbus Helicopters AS 350 B3</a>	Fossbakken, Lavangen kommune, Troms	Lett, helikopter (<= 2 250kg)
8	18.09.2016	<a href="#">Hoffman Aircraft LTD H 36 Dimona</a>	Hopland, Sogn og Fjordane	Lett, fly (< 5 700kg)
9	28.09.2016	<a href="#">Cessna Aircraft Company 182T</a>	Bardufoss lufthavn (ENDU)	Lett, fly (< 5 700kg)
10	23.10.2016	<a href="#">Scheibe Flugzeugbau GmbH BERGFALKE IV</a>	Sandane lufthavn, Anda (ENSD)	Lett, fly (< 5 700kg)
1*	11.01.2017	<a href="#">Cessna Citation Encore 560</a>	Oslo lufthavn Gardermoen (ENGM)	Middels, fly (5 700 - 10 000kg)

2*	26.02.2017	<a href="#">DYN Aero MCR 4S</a>	Ångårdsvatnet, Oppdal kommune, Sør Trøndelag	Lett, fly (< 5 700kg)
3*	17.06.2017	<a href="#">Cessna Aircraft Company U206E</a>	Ved Frøylandsvannet i Bryne i Rogaland	Lett, fly (< 5 700kg)
4*	21.06.2017	<a href="#">Diamond Aircraft Industries GmbH DA40 NG</a>	Nær Råde kirke, Råde i Østfold	Lett, fly (< 5 700kg)
5*	24.07.2017	<a href="#">Piper Aircraft PA-34-220T Piper Seneca</a>	Leknes lufthavn (ENLK)	Lett, fly (< 5 700kg)
6*	01.08.2017	<a href="#">Aquila AT01-100</a>	Nordre Dyttholknatten, Sør Aurdal, Oppland	Lett, fly (< 5 700kg)
7*	22.08.2017	<a href="#">Aviat Aircraft inc., Pitts S-2B</a>	Holmestrand, Vestfold	Lett, fly (< 5 700kg)
8*	12.09.2017	<a href="#">Airbus Helicopters AS 350 B3</a>	Laksefjordvidda, Finnmark	Lett, helikopter (<= 2 250kg)
9*	19.09.2017	<a href="#">Vans Aircraft Inc. RV-4</a>	Hamar flyplass Stafsberg (ENHA)	Lett, fly (< 5 700kg)
10*	20.10.2017	<a href="#">Cessna Aircraft Company 182N</a>	Stord lufthavn Sørstokken (ENSO)	Lett, fly (< 5 700kg)
11*	26.10.2017	<a href="#">Mi 8AMT</a>	Barentsburg, Svalbard	Tung, helikopter (> 2 250kg)
12*	28.10.2017	<a href="#">Diamond Aircraft Industries GmbH DA40 NG</a>	Trysil flyplass Sæteråsen ENTS, Hedmark	Lett, fly (< 5 700kg)
13*	14.12.2017	<a href="#">Airbus Helicopters AS 350 B3</a>	Brettesnes i Lofoten	Lett, helikopter (<= 2 250kg)
1*	11.02.2018	<a href="#">Piper Aircraft, Inc. PA-28-161</a>	Svolvær lufthavn Helle, ENSH	Lett, fly (< 5 700kg)
2*	25.03.2018	<a href="#">Cessna Aircraft Company 182P</a>	Femundsjøen, Hedmark	Lett, fly (< 5 700kg)
3*	09.04.2018	<a href="#">Beech King-Air B200</a>	Stavanger lufthavn Sola	Lett, fly (< 5 700kg)

Tabell B.2: Antall dødsulykker i Norge per år i perioden 2007 til 2016. Statistikk hentet fra SHT (2018) og fremstilt av forfatter.

#	Hendelsesdato	Luftfartøy	Sted	Kategori luftfart
1	20.06.2008	<a href="#">Fairchild Aircraft Corporation SA226-T(B) Merlin</a>	I sjøen 10 NM vest for Sotra, Hordaland	Middels, fly (5 700 - 10 000kg)
2	30.03.2008	<a href="#">Mil Mi-8MT</a>	Kapp Heer, Svalbard	Middels, fly (5 700 - 10 000kg)
3	04.02.2009	<a href="#">Eurocopter AS 350 B3</a>	Rostadalen, Målselv i Troms	Lett, helikopter (<= 2 250kg)
4	27.01.2010	<a href="#">Robinson Helicopter Company R44</a>	Horten	Lett, helikopter (<= 2 250kg)
5	21.08.2010	<a href="#">Vickers Supermarine Spitfire FR Mk. XVIII</a>	Tynset flyplass (ENTY)	Lett, fly (< 5 700kg)
6	04.07.2011	<a href="#">Eurocopter AS350 B3</a>	Nær Dalamot, Ullensvang i Hordaland	Lett, helikopter (<= 2 250kg)
7	10.08.2012	<a href="#">Cessna Aircraft Corp. C 172 RG</a>	Nær Søvatnet i Bjugn, Sør-Trøndelag	Lett, fly (< 5 700kg)
8	11.01.2012	<a href="#">Robinson Helicopter Compan R44 Raven II</a>	2 Nm øst av Mosjøen lufthavn, Kjærstad (ENMS)	Lett, helikopter (<= 2 250kg)
9	14.01.2014	<a href="#">Eurocopter Deutschland GmbH EC 135 P2+</a>	Ved Sollihøgda, Hole kommune, Buskerud	Lett, helikopter (<= 2 250kg)
10	24.09.2015	<a href="#">Alexander Schleicher GmbH &amp; CO</a>	Hatten, Lesja kommune, Oppland fylke	Lett, fly (< 5 700kg)
11*	29.04.2016	<a href="#">Airbus Helicopters H225</a>	Turøy, Hordaland	Tung, helikopter (> 2 250kg)

# Vedlegg C – Antall overflygninger i Bjørnafjorden-området 2017

Tabell C.1: Antall overflygninger i Bjørnafjorden-området 2017 basert på flydata hentet fra Flihtadar24 av forfatter.

Dag/Måned	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des
1	19	14	15	25	47	27	27	22	35	49	0	11
2	12	9	28	7	26	33	19	3	46	22	37	21
3	33	7	42	3	35	11	38	43	44	63	25	8
4	37	18	33	41	35	57	26	41	26	12	38	12
5	24	25	29	9	11	42	45	37	39	15	35	15
6	18	35	33	9	21	37	38	13	19	6	25	5
7	4	21	25	22	40	34	27	7	22	36	26	23
8	7	35	16	25	18	29	22	11	31	49	30	23
9	15	15	20	34	40	12	27	21	41	30	21	12
10	21	21	7	9	36	11	21	29	12	35	11	14
11	14	9	28	47	21	29	11	30	50	25	12	21
12	21	24	23	32	40	31	22	25	23	27	13	15
13	9	21	33	7	8	34	13	1	34	14	23	28
14	0	19	11	1	23	25	38	29	26	50	30	17
15	11	19	9	37	5	39	29	10	33	12	26	20
16	20	18	6	7	20	32	11	46	14	16	20	0
17	29	29	21	27	8	27	30	35	45	50	19	1
18	36	34	10	47	33	48	30	31	28	32	29	10
19	47	13	49	21	18	29	14	17	15	30	11	19
20	27	5	33	13	27	9	10	33	40	33	38	18
21	30	7	34	29	48	7	25	43	34	0	2	14
22	22	14	25	9	0	24	1	21	34	43	28	32
23	20	23	31	49	29	24	37	47	19	13	29	10
24	33	33	33	44	9	42	39	19	12	31	34	13
25	14	1	9	21	47	13	46	26	7	49	13	13
26	16	15	15	26	22	30	35	21	0	30	9	27
27	12	19	18	8	21	21	12	50	35	2	11	19
28	5	9	34	7	27	31	15	25	43	25	23	8
29	18	N/A	11	42	30	38	27	31	30	10	13	24
30	18	N/A	27	13	25	29	13	20	43	44	14	16
31	10	N/A	13	N/A	20	N/A	12	43	N/A	0	N/A	12
Gjennomsnitt	19.42	18.29	23.26	22.37	25.48	28.50	24.52	26.77	29.33	27.52	21.50	15.52
Totalt (måned)	602	512	721	671	790	855	760	830	880	853	645	481

Totalt (2017) 8600



# Vedlegg D – Detaljerte utregninger

Dette vedlegget beskriver mer detaljert beregningene av årlig bakgrunnsfrekvens for flystyrt og kollisjonsfrekvens for luftfartøy mot Bjørnafjorden bru som følge av flyplassrelaterte aktiviteter.

## D.1 Årlig bakgrunnsfrekvens for flystyrt

Datagrunnlaget som brukes for å beregne bakgrunnsfrekvensen for flystyrt i Norge er basert på antall luftfartsulykker fra SHT (se Tabell B.1) som er satt sammen av forfatter for perioden 2007 til 2016. Årlig bakgrunnsfrekvens for flystyrt er beregnet med ligningen:

$$\lambda_U = \frac{\chi_{1-\alpha, 2(\hat{x}+1)}^2}{2T}$$

Der  $\lambda_U$  er den estimerte verdien og uttrykker bakgrunnsfrekvensen som antall flystyrt per år. Dersom  $\lambda_U$  deles med totalt landareal (som gjengitt i Tabell 5.8) får vi uttrykt bakgrunnsfrekvensen som flystyrt per km<sup>2</sup> per år. Verdiene som regnes her er gjengitt i Tabell 5.2.

### Utregnede verdier for Norge

Verdier som har blitt brukt:  $\alpha=0.5$ ,  $T=10$ ,  $\hat{x}=89$ ,  $A=385203$  km<sup>2</sup>.

$$\lambda_U = \frac{\chi_{1-\alpha, 2(\hat{x}+1)}^2}{2T} = \frac{\chi_{1-0.5, 2(89+1)}^2}{2 \times 10} = \frac{\chi_{0.5, 180}^2}{20} = \frac{179.334}{20} = 8.97 \text{ ulykkesfrekvens per år}$$

$$\frac{8.97 \text{ ulykkesfrekvens per år}}{385203 \text{ km}^2} = 2.33 \times 10^{-5} \text{ ulykkesfrekvens per km}^2 \text{ per år}$$

Verdier som har blitt brukt:  $\alpha=0.95$ ,  $T=10$ ,  $\hat{x}=89$ ,  $A=385203$  km<sup>2</sup>.

$$\lambda_U = \frac{\chi_{1-\alpha, 2(\hat{x}+1)}^2}{2T} = \frac{\chi_{1-0.95, 2(89+1)}^2}{2 \times 10} = \frac{\chi_{0.05, 180}^2}{20} = \frac{212.304}{20} \\ = 10.62 \text{ ulykkesfrekvens per år}$$

$$\frac{10.62 \text{ ulykkesfrekvens per år}}{385203 \text{ km}^2} = 2.76 \times 10^{-5} \text{ ulykkesfrekvens per km}^2 \text{ per år}$$

## Utregnede verdier for Storbritannia

Verdier som har blitt brukt:  $\alpha=0.5$ ,  $T=10$ ,  $\hat{x}=56$ ,  $A=231091 \text{ km}^2$ .

$$\lambda_U = \frac{\chi_{1-\alpha,2(\hat{x}+1)}^2}{2T} = \frac{\chi_{1-0.5,2(56+1)}^2}{2 \times 10} = \frac{\chi_{0.5,114}^2}{20} = \frac{113.334}{20} = 5.67 \text{ ulykkesfrekvens per år}$$

$$\frac{5.67 \text{ ulykkesfrekvens per år}}{231091 \text{ km}^2} = 2.46 \times 10^{-5} \text{ ulykkesfrekvens per km}^2 \text{ per år}$$

Verdier som har blitt brukt:  $\alpha=0.95$ ,  $T=10$ ,  $\hat{x}=56$ ,  $A=231091 \text{ km}^2$ .

$$\lambda_U = \frac{\chi_{1-\alpha,2(\hat{x}+1)}^2}{2T} = \frac{\chi_{1-0.95,2(56+1)}^2}{2 \times 10} = \frac{\chi_{0.05,114}^2}{20} = \frac{139.921}{20} = 7.00 \text{ ulykkesfrekvens per år}$$

$$\frac{7.00 \text{ ulykkesfrekvens per år}}{231091 \text{ km}^2} = 3.03 \times 10^{-5} \text{ ulykkesfrekvens per km}^2 \text{ per år}$$

## D.2 Årlig kollisjonsfrekvens for luftfartøy mot

### Bjørnafjorden bru

Årlig kollisjonsfrekvens for luftfartøy mot Bjørnafjorden bru er beregnet med ligning (4) i delkapittel 5.3. Punktene under beskriver utregningene gjort i oppgaven mer detaljert.

#### Årlig antall overflygninger ved Bjørnafjorden bru (N)

En overflygning defineres i oppgaven som et luftfartøy som utfører en flygning over et bestemt område, bygninger eller konstruksjoner av interesse. I oppgavens tilfelle er dette området der bruene skal bygges i Bjørnafjorden. Analyseområdet er vist på Figur 4.1 markert med oransje farge. Fremgangsmåten for å telle antall overflygninger er beskrevet i punkt 5.3.1, og resultatet av tellingene finnes i vedlegg C (se Tabell C.1).

#### Totalt effektivt areal av konstruksjonen ( $A_T$ )

Totalt effektivt areal som konstruksjonen opptar baserer seg på dimensjoner fra Figur 4.6 i kapittel 5 og utregnet som følgende:

$$L = 5158.5 \text{ m}$$

$$B = 77.0 \text{ m}$$

$$H = 242.5 \text{ m}$$

$$A_K = [L \times B] = 5158.5 \times 77 = \underline{397204.0 \text{ m}^2}$$

Bruen er delt inn i to deler for å forenkle beregningen av skyggearealet siden det er forskjellig høyde mellom tårnet og selve bruene. I tillegg antas det en kollisjonsvinkel  $\phi=45^\circ$  slik at  $\tan 45^\circ = 1.0$ , og dermed blir  $H = S$ .

$$A_S = 900 \times 242.5 + 4258.5 \times 49 = \underline{426916.5 \text{ m}^2}$$

Totalt effektivt areal ( $A_T$ ) blir da:

$$A_T = A_K + A_S = 824120 \text{ m}^2 \approx \underline{0.824 \text{ km}^2}$$

### Ulykkessannsynligheten til luftfartøyet per bevegelse (R):

Ulykkessannsynligheten per bevegelse som er gjengitt i Tabell 5.6 er beregnet med følgende formel fra TAP(2014):

$$\lambda_U = \frac{\chi_{1-\alpha,2(\hat{x}+1)}^2}{2N}$$

Der  $\lambda_U$  uttrykker ulykkessannsynligheten for et luftfartøy per bevegelse nær en flyplass gitt flystyrt. Datagrunnlaget som brukes for å beregne ulykkessannsynligheten per bevegelse av luftfartøy i Norge er basert på antall dødsulykker fra SHT (se Tabell B.2) som er satt sammen av forfatter for perioden 2007 til 2016. Data for Storbritannia mellom 1979 til 2006 er hentet fra ESR Technology (ESR Technology, 2008).

### Utregnede verdier for Norge

Verdier som har blitt brukt:  $\alpha=0.5$ ,  $N=7.47$ ,  $\hat{x}=11$ .

$$\begin{aligned} \lambda_U &= \frac{\chi_{1-\alpha,2(\hat{x}+1)}^2}{2N} = \frac{\chi_{1-0.5,2(11+1)}^2}{2 \times 7.47} = \frac{\chi_{0.5,24}^2}{2 \times 7.47} = \frac{23.337}{2 \times 7.47} \\ &= 1.56 \text{ ulykkessannsynlighet per million bevegelse} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow & \frac{1.56 \text{ ulykkessannsynlighet per million bevegelse}}{10^6 \text{ bevegelse}} \\ &= \underline{1.56 \times 10^{-6} \text{ ulykkessannsynlighet per bevegelse}} \end{aligned}$$

Verdier som har blitt brukt:  $\alpha=0.95$ ,  $N=7.47$ ,  $\hat{x}=11$ .

$$\begin{aligned} \lambda_U &= \frac{\chi_{1-\alpha,2(\hat{x}+1)}^2}{2N} = \frac{\chi_{1-0.95,2(11+1)}^2}{2 \times 7.47} = \frac{\chi_{0.05,24}^2}{2 \times 7.47} = \frac{36.415}{2 \times 7.47} \\ &= 2.44 \text{ ulykkessannsynlighet per million bevegelse} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow & \frac{2.44 \text{ ulykkessannsynlighet per million bevegelse}}{10^6 \text{ bevegelse}} \\ & = \underline{2.44 \times 10^{-6} \text{ ulykkessannsynlighet per bevegelse}} \end{aligned}$$

### Utregnede verdier for Storbritannia

Verdier som har blitt brukt:  $\alpha=0.5$ ,  $N=89.29$ ,  $\hat{x}=144$ .

$$\begin{aligned} \lambda_U &= \frac{\chi_{1-\alpha,2(\hat{x}+1)}^2}{2N} = \frac{\chi_{1-0.5,2(144+1)}^2}{2 \times 89.29} = \frac{\chi_{0.5,290}^2}{2 \times 89.29} = \frac{289.334}{2 \times 89.29} \\ &= 1.62 \text{ ulykkessannsynlighet per million bevegelse} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow & \frac{1.62 \text{ ulykkessannsynlighet per million bevegelse}}{10^6 \text{ bevegelse}} \\ & = \underline{1.61 \times 10^{-6} \text{ ulykkessannsynlighet per bevegelse}} \end{aligned}$$

Verdier som har blitt brukt:  $\alpha=0.95$ ,  $N=89.29$ ,  $\hat{x}=144$ .

$$\begin{aligned} \lambda_U &= \frac{\chi_{1-\alpha,2(\hat{x}+1)}^2}{2N} = \frac{\chi_{1-0.95,2(144+1)}^2}{2 \times 89.29} = \frac{\chi_{0.05,290}^2}{2 \times 89.29} = \frac{330.692}{2 \times 89.29} \\ &= 1.85 \text{ ulykkessannsynlighet per million bevegelse} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow & \frac{1.85 \text{ ulykkessannsynlighet per million bevegelse}}{10^6 \text{ bevegelse}} \\ & = \underline{1.85 \times 10^{-6} \text{ ulykkessannsynlighet per million bevegelse}} \end{aligned}$$

### Kollisjonsfrekvens som funksjon av Bjørnafjord-bruens posisjon i forhold til flyplassen $f(r,\theta)$ :

Avstanden fra rullebanens ende målt i km ble funnet til å være  $r = 21.6$ , og vinkelen målt i grader mellom den forlengede senter-linjen til rullebanen og en vektor parallelt med  $r$  ble funnet til å være  $\theta = 18^\circ$ . Dermed får vi følgende utregning:

$$f(r, \theta) = 0.08e^{-r/2.5}e^{-\theta/60} = 0.08e^{-21.6/2.5}e^{-18/60} \approx \underline{1.05 \times 10^{-5} \text{ km}^{-2}}$$

### Årlig kollisjonsfrekvens for luftfartøy mot Bjørnafjorden bru som følge av flyplassrelaterte aktiviteter (F)

For å finne årlig kollisjonsfrekvens for luftfartøy mot bruene brukes ligning (4) i delkapittel 5.3. Tallene som er funnet over for  $N$ ,  $R$ ,  $f(r,\theta)$ , og  $A_T$ , multipliseres med hverandre og vi får følgende utregninger i Tabell D.1 og D.2 under. Merk at verdien for

ulykkessannsynligheten per bevegelse bruker data fra Storbritannia og ikke Norge. Grunnen til dette er at datagrunnlaget i Norge er begrenset.

Tabell D.1: Årlig kollisjonsfrekvens for luftfartøy mot Bjørnafjorden bru som følge av flyplassrelaterte aktiviteter ved femti prosent signifikansnivå.

<b>Årlig kollisjonsfrekvens for luftfartøy mot Bjørnafjorden bru som følge av flyplassrelaterte aktiviteter (<math>\alpha=0.5</math>)</b>					
År	N	$A_T$ (km <sup>2</sup> )	R ( $\alpha=0.5$ )	$f(r,\theta)$ (km <sup>-2</sup> )	F
2017	8600	0.824	$1.62 \times 10^{-6}$	$1.05 \times 10^{-5}$	$1.20 \times 10^{-7}$
2020	10500	0.824	$1.62 \times 10^{-6}$	$1.05 \times 10^{-5}$	$1.47 \times 10^{-7}$
2025	11700	0.824	$1.62 \times 10^{-6}$	$1.05 \times 10^{-5}$	$1.64 \times 10^{-7}$
2030	12500	0.824	$1.62 \times 10^{-6}$	$1.05 \times 10^{-5}$	$1.75 \times 10^{-7}$
2035	13200	0.824	$1.62 \times 10^{-6}$	$1.05 \times 10^{-5}$	$1.85 \times 10^{-7}$
2040	13800	0.824	$1.62 \times 10^{-6}$	$1.05 \times 10^{-5}$	$1.93 \times 10^{-7}$
2045	14500	0.824	$1.62 \times 10^{-6}$	$1.05 \times 10^{-5}$	$2.03 \times 10^{-7}$
2050	15200	0.824	$1.62 \times 10^{-6}$	$1.05 \times 10^{-5}$	$2.13 \times 10^{-7}$
2055	15900	0.824	$1.62 \times 10^{-6}$	$1.05 \times 10^{-5}$	$2.23 \times 10^{-7}$
2060	16600	0.824	$1.62 \times 10^{-6}$	$1.05 \times 10^{-5}$	$2.32 \times 10^{-7}$

Tabell D.2: Årlig kollisjonsfrekvens for luftfartøy mot Bjørnafjorden bru som følge av flyplassrelaterte aktiviteter ved nittifem prosent signifikansnivå.

<b>Årlig kollisjonsfrekvens for luftfartøy mot Bjørnafjorden bru som følge av flyplassrelaterte aktiviteter (<math>\alpha=0.95</math>)</b>					
År	N	$A_T$ (km <sup>2</sup> )	R ( $\alpha=0.95$ )	$f(r,\theta)$ (km <sup>-2</sup> )	F
2017	8600	0.824	$1.85 \times 10^{-6}$	$1.05 \times 10^{-5}$	$1.35 \times 10^{-7}$
2020	10500	0.824	$1.85 \times 10^{-6}$	$1.05 \times 10^{-5}$	$1.68 \times 10^{-7}$
2025	11700	0.824	$1.85 \times 10^{-6}$	$1.05 \times 10^{-5}$	$1.87 \times 10^{-7}$
2030	12500	0.824	$1.85 \times 10^{-6}$	$1.05 \times 10^{-5}$	$2.00 \times 10^{-7}$
2035	13200	0.824	$1.85 \times 10^{-6}$	$1.05 \times 10^{-5}$	$2.11 \times 10^{-7}$
2040	13800	0.824	$1.85 \times 10^{-6}$	$1.05 \times 10^{-5}$	$2.21 \times 10^{-7}$
2045	14500	0.824	$1.85 \times 10^{-6}$	$1.05 \times 10^{-5}$	$2.32 \times 10^{-7}$
2050	15200	0.824	$1.85 \times 10^{-6}$	$1.05 \times 10^{-5}$	$2.43 \times 10^{-7}$
2055	15900	0.824	$1.85 \times 10^{-6}$	$1.05 \times 10^{-5}$	$2.54 \times 10^{-7}$
2060	16600	0.824	$1.85 \times 10^{-6}$	$1.05 \times 10^{-5}$	$2.66 \times 10^{-7}$

# Vedlegg E – Definisjoner av ulike flyfaser

Følgende definisjoner på flyfaser er i stor grad hentet fra ICAO (2016b):

**"Parkering, last/avlastning, takse:** Denne fasen starter og ender når flyet henholdsvis begynner eller stopper å bevege seg fremover på egen maskin på rullebanen. Bakkeaktiviteter som ikke involverer rullebanebruk er taksing av flyet rundt flyplassen for å laste på eller av passasjerer, bagasje, parkering for å eventuelt utføre vedlikehold, eller for å komme seg mellom gate og rullebane før avgang eller etter landing.

**"Avgang rullebane:** Denne fasen starter når besetningen øker hastigheten med hensikt å ta av. Den slutter når den innledende oppstigningen har blitt etablert. Denne flyfasen inkluderer også avbrutte takeoff-forsøk.

**"Avgang, innledende klatring:** I denne fasen gjør flyet seg klar til nedstigning mot flyplassen. Denne fasen starter 35 fot over banehøyden. Den innledende oppstigningsfasen slutter ved 1000 fot og flyet fortsetter å stige videre til marsjhøyde. Den kan i noen tilfeller bli etterfulgt av en innflyging som følge av at flyet må snu pga. problemer osv.

**"Klatring:** Dette er en fase som begynner når besetning etablerer flyet på en bestemt hastighet og konfigurasjon som gjør det mulig for flyet å stige opp til marsjhøyde. Vanligvis slutter denne fasen når flyet når marsjhøyde. Den kan i noen tilfeller igangsette nedstigning dersom problemer oppstår.

**"Marsj:** starter når flyet har nådd marsjhøyden ved enden av klatrefasen. Fasen varer til besetningen begynner nedstigningsfasen til destinasjonen med hensikt å lande flyet.

**"Nedstigning:** Denne fasen starter når besetningen forlater marsjhøyden med hensikt å gå inn for landing ved flyplassen. Fasen slutter når besetningen endrer flyets konfigurasjon og/eller hastighet for å gjøre seg klar til landing.

**"Ventefase:** Dette er en såkalt ventefase og er en fase der flyet utfører en forhåndsbestemt manøver (ofte et ovalt banemønster) for å sirkle rundt i et spesifikt område i luftrommet for å vente på ytterligere instruksjoner fra flygeleder ved kontrolltårnet. Flyet kan fortsette innflyging inn til rullebanen dersom dette godkjennes.

**"Innledende innflyging:** Denne fasen starter når besetningen setter i gang endringer i flyets konfigurasjon og/eller hastighet for å gå inn for landing. Den slutter når flyet er i landingskonfigurasjon og besetningen har bestemt seg for å lande ved en bestemt rullebane.

**"Siste innflyging:** Siste innflygingsdel starter ved 1000 fot og slutter 35 fot over banehøyden rett før piloten hever nesene på flyet oppover for å dempe nedslaget på rullebanen.

**"Landing:** Fasen starter når flyets landingshjul er i kontakt med starten av rullebanen inntil den forlater enden av rullebanen; eller stopper på rullebanen. Landingsfasen ender når flyets hastighet er redusert til taksehastighet og gjør seg klar for å parkere ved en gate."