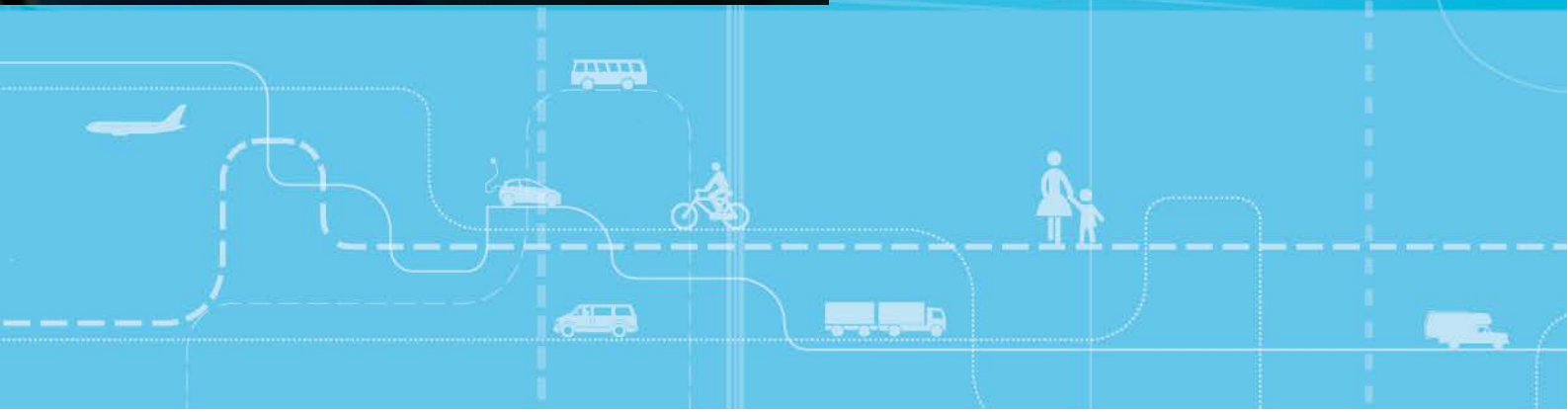


Nytte-kostnadsanalyse av tiltak rettet mot å redusere skadekonsekvensen av rullebaneutforkjøring ved Tromsø lufthavn



Nytte-kostnadsanalyse av tiltak rettet mot å redusere skadekonsekvensen av rullebaneutforkjøring ved Tromsø lufthavn

Knut Veisten

Rune Elvik

Paal Brevik Wangsness

Forsidebilde: Erlend Bjørtvedt

Transportøkonomisk institutt (TØI) har opphavsrett til hele rapporten og dens enkelte deler. Innholdet kan brukes som underlagsmateriale. Når rapporten siteres eller omtales, skal TØI oppgis som kilde med navn og rapportnummer. Rapporten kan ikke endres. Ved eventuell annen bruk må forhåndssamtykke fra TØI innhentes. For øvrig gjelder [åndsverklovens](#) bestemmelser.

Tittel: Nytte-kostnadsanalyse av tiltak rettet mot å redusere skadekonsekvensen av rullebaneutforkjøring ved Tromsø lufthavn

Forfattere: Knut Veisten
Rune Elvik
Paal Brevik Wangsness

Dato: 08.2016

TØI rapport: 1507/2016

Sider 32

ISBN Elektronisk: 978-82-480-1735-6

ISSN 0808-1190

Finansieringskilde: Luftfartstilsynet

Prosjekt: 4349 - Nytte-kostnadsanalyse av tiltak for redusert konsekvens av rullebaneutforkjøring (NKARECON)

Prosjektleder: Knut Veisten

Kvalitetsansvarlig: Alena Høye

Emneord: Sikkerhetsområde etter rullebaneende
Stoppunktfrekvensmodell
Ulykkeskostnader
Forsinkelseskostnader

Sammendrag:

Rapporten gjennomgår en nytte-kostnadsanalyse av tiltak om å utbedre sikkerhetsområdet bak rullebaneenden, i sørenden av Tromsø lufthavn Langnes. Hensikten med tiltaket er å redusere det potensielle skadeområdet av utforkjøring ved landing/avgang. Det tas utgangspunkt i modellering av stoppunkter i lengde fra rullebaneenden og i bredde fra senterlinja. Dette gir et anslag på hvor ofte et fly som ikke klarer å stoppe, eller ikke evner å lette, før rullebaneenden, kan havne i det som er «manglende ytre rektangler» i sikkerhetsområdet ved Langnes. Slike stoppunkt kan inntreffe i 10-15 % av tilfellene med rullebaneutforkjøring eller for tidlig landing. Det forventede skadeområdet vil dermed være høyere ved Langnes enn ved lufthavner som har standardbredde på sikkerhetsområdet, alt annet likt. Konsekvensen omfatter skader på fly, installasjoner og passasjerer, og forsinkelse og venting/stenging for passasjerer, flyselskap og lufthavn. I Tromsø kommer det også med effekter på den fylkesvegen som går i tunnel under det innsnevrede feltet i sikkerhetsområdet. Med antatt fordeling av skadeomfang ved ulike typer ulykker og hendelser, og med tilordnede skadekostnader basert på nasjonale verdsettinger og opplysninger fra internasjonal litteratur, så estimeres en nytte-kostnadsbrøk til omtrent lik 1. Inputverdiene til analysen er usikre. Med simulering av verdier fra inputintervall, havner 90 % av de simulerte nytte-kostnadsbrøkene mellom ca. 0,7 og ca. 1,4, med gjennomsnitt ca. lik 1. Det er evt. endringer i den estimerte tiltakskostnaden som primært styrer utfallet av nytte-kostnadsanalysen.

Transportøkonomisk Institutt
Gaustadalleen 21, 0349 Oslo
Telefon 22 57 38 00 - www.toi.no

Title: Cost-benefit analysis of a measure aimed at reducing the consequences of runway excursions at Tromsø Airport

Author(s): Knut Veisten
Rune Elvik
Paal Brevik Wangsness

Date: 08.2016

TØI report: 1507/2016

Pages 32

ISBN Electronic: 978-82-480-1735-6

ISSN 0808-1190

Financed by: Civil Aviation Authority

Project: 4349 – Cost-benefit analysis of a measure aimed at reducing the consequence of runway excursions (NKARECON)

Project manager: Knut Veisten

Quality manager: Alena Høye

Key words: Runway End Safety Area (RESA)
Location probability model
Accident costs
Cost of delay

Summary:

The report presents a cost-benefit analysis of a measure of extending the runway end safety area at the southern end of Tromsø Airport Langnes. The purpose of the measure is to reduce the potential impact if an airplane overrun the end of the runway, in a landing or a take-off in direction towards the south. The starting point of the analysis is to use a location probability model for overrun events (and undershooting), applying the reported parameters from a Weibull survival function of locations in longitudinal and lateral distance from the runway end and the centre line. This yielded an estimate of the relative frequency of locations in what is currently "missing outer rectangles" in a (too narrow) runway end safety area at Tromsø Airport. About 10-15% of airplanes overrunning or undershooting are likely to be affected by the narrowed runway end safety area. As there are edges on each side where the airplane might fall down (the narrowed area is due to a road tunnel passing under), the expected damage in case of an overrun will be higher at Tromsø Airport compared to other Norwegian airports, everything else equal. The consequences comprise damage to the aircraft, installations and passengers, as well as subsequent delays or close-downs. The estimated distribution of damage, for different levels of accidents and incidents, with associated damage costs, was primarily based on international literature. The estimated benefit-cost ratio was just above one. The input data are uncertain. Applying simulations, drawing from a set of input value intervals, 90% of the simulated benefit-cost ratios end up between about 0.7 and 1.4, with an average close to one. Possible alterations of the estimated cost of the measure are most decisive for the result of the cost-benefit analysis.

Language of report: Norwegian

Institute of Transport Economics
Gaustadalleen 21, 0349 Oslo, Norway
Telefon 22 57 38 00 - www.toi.no

Forord

Luftfartstilsynet har gitt TØI i oppdrag å gjennomføre en nytte-kostnadsanalyse av et tiltak som går ut på å utvide sikkerhetsområdet etter rullebaneenden ved Tromsø lufthavn Langnes. Lengde og bredde på dette sikkerhetsområdet kan påvirke skadeomfanget av utforkjøringer av rullebanen ved avgang eller landing, eller ved for tidlig landing.

Prosjektarbeidet har vært ledet av Knut Veisten, som har hatt hovedansvaret for utarbeiding av rapporten. Rune Elvik har bistått i alle deler av prosjektet. Paal Brevik Wangsness har gjennomført følsomhetsanalysen basert på simuleringer. Wenche Olsen og Jørn Eirik Seljeås har vært våre kontaktpersoner ved Luftfartstilsynet, og har sammen med Stian Hangaas, Petter Haugen og Eirik Svare bidratt med viktig input og innspill til nytte-kostnadsanalysen. Rapporten er kvalitetssikret av forskningsleder Alena Høye.

Etter ferdigstilling av TØI-rapport 1507/2016 i august 2016, ble det avklart at TØI hadde mottatt en figur fra Luftfartstilsynet med feil mål på avstanden mellom rullebaneenden og innsnevringa av sikkerhetsområdet i sørenden av Langnes – den var blitt oppgitt til 150 m (60+90) men det korrekte var 120 m (60+60). Beregningene er korrigert i denne reviderte utgaven av rapporten, men den nevnte feilen endrer ikke de opprinnelige konklusjonene.

Oslo, august 2016
Transportøkonomisk institutt

Gunnar Lindberg
Direktør

Michael W.-J. Sørensen
Avdelingsleder

Innholdsfortegnelse

Sammendrag

1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Nytte-kostnadsanalyse av et tiltak som skal redusere konsekvensen av rullebaneutforkjøring (RE).....	2
2 Nytte-kostnadsanalyse	3
2.1 Nytte-kostnadsanalyse av tiltak mot RE-ulykker.....	3
2.1.1 Generelt om nytte-kostnadsanalyse.....	3
2.1.2 Mer spesifikt om nytte-kostnadsanalyse av tiltak mot RE-ulykker.....	3
2.2 Risikoanalyse i forbindelse med flyplassulykker / rullebaneutforkjøring	5
2.2.1 Risikobegrepet.....	5
2.2.2 Nytte-kostnadsanalyse av tiltak	6
3 Forutsetninger for nytte-kostnadsanalysen.....	7
3.1 Frekvensen av RE-tilfeller (hendelser/ulykker).....	7
3.1.1 Norske versus europeiske/internasjonale data.....	7
3.1.2 Overlevelsesfunksjon for RE-stoppunkt.....	8
3.1.3 Beregnet forventet andel RE-stoppunkt i «manglende ytre rektangler» ved Tromsø lufthavn.....	9
3.2 Konsekvenser av RE-ulykker og RE-hendelser	11
3.2.1 Klasser av skadeomfang for RE-ulykker	11
3.2.2 Tilpassede klasser av skadeomfang for alle RE-tilfeller	13
3.2.3 Relativt forventet skadeomfang ved Tromsø lufthavn sammenliknet med øvrige lufthavner	14
3.3 Følsomhetsanalyse av estimert nettonytte og NK-brøk.....	16
3.3.1 Følsomhetsanalyse med @RISK-simuleringer.....	16
3.3.2 Antatte usikkerhetsintervall for input.....	17
4 Resultater.....	20
4.1 Estimerte kostnader (negativ nytte) gitt RE-tilfelle.....	20
4.2 Tiltakskostnader	20
4.3 Nyttien av tiltaket	21
4.4 Nettonytte-estimat – nytten av tiltaket minus tiltakskostnadene, og NK-brøk.....	21
4.5 Følsomhetsanalyse – simuleringer med @RISK.....	21
5 Oppsummering	28
5.1 Nytte-kostnadsanalyse av konsekvensreducerende tiltak med betydelig usikkerhet om estimert endring.....	28
5.2 Følsomhetsanalysen indikerer at mer presisering av tiltakskostnaden er viktigst for nettonytteestimatet	29
6 Referanser.....	31

Sammendrag:

Nytte-kostnadsanalyse av tiltak rettet mot å redusere skadekonsekvensen av rullebaneutforkjøring ved Tromsø lufthavn

TØI rapport 1507/2016
Forfattere: Knut Veisten, Rune Elvik, Paal Brevik Wangsness
Oslo 2016, 32 sider

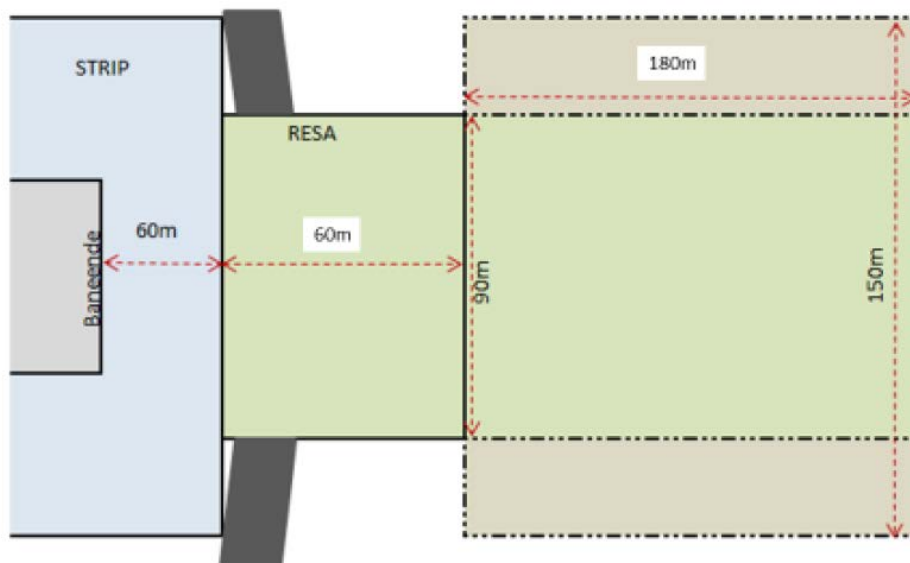
Rapporten gjennomgår en nytte-kostnadsanalyse av et foreslått tiltak om å utbedre sikkerhetsområdet bak rullebaneenden, i sørenden av Tromsø lufthavn Langnes. Hensikten med tiltaket er å redusere det potensielle skadeomfanget av såkalte utforkjøringstilfeller ved landing/avgang. Nytte-kostnadsanalysen er basert på usikker informasjon, både om utgangssituasjonen og om den endringa som tiltaket skal føre til. Imidlertid finnes et godt datagrunnlag for statistisk modellering av stoppunkter i lengde fra rullebaneenden og i bredde fra senterlinja. Dette gir grunnlag for å estimere andelen av fly, som ikke klarer å stoppe, eller ikke evner å lette, før rullebaneenden, som vil havne i de «manglende ytre rektanglene» i sikkerhetsområdet ved Langnes. Dette kan skje anslagsvis i 10-15% av alle tilfellene der et fly kjører utfor rullebaneenden, og dermed vil også det forventede skadeomfanget være høyere ved Langnes enn ved lufthavner som har standardbredde på sikkerhetsområdet, alt annet likt. Skadeomfanget omfatter både primæreffekter, som skader på fly, installasjoner og passasjerer, og sekundæreffekter, som forsinkelse og venting/stenging for passasjerer, flyselskap og lufthavn. I Tromsø kommer det også med effekter på den fylkesvegen som går i tunnel under det innsnevrede feltet i sikkerhetsområdet. Med antatt fordeling av skadeomfang ved ulike typer ulykker og hendelser, og med tilordnede skadekostnader basert på nasjonale verdsettinger og opplysninger fra internasjonal litteratur, så estimeres en nytte-kostnadsbrøk til så vidt over 1. Med spesifisert usikkerhet i inputverdiene, blir gjennomsnittlig simulert nytte-kostnadsbrøk omtrent lik 1, med 90 % av de simulerte nytte-kostnadsbrøkene mellom 0,7 og 1,4. Det er tiltakskostnaden som primært styrer utfallet av nytte-kostnadsanalysen.

Bakgrunn

Luftfartstilsynet har ønsket ei nytte-kostnadsvurdering av et tiltak for å redusere det potensielle skadeomfanget av ei utforkjøring av rullebanen ved Tromsø lufthavn Langnes. Bakgrunnen for dette er at sikkerhetsområdet ved Tromsø lufthavn, i den sørlige enden, har ei innsnevring over vegen som går mellom Tromsø by og Kvaløya (Fv 862). Dermed har flyplassen to «manglende felt» på hver side av sikkerhetsområdet som i verste fall kan føre til at et fly som ikke får stoppet (eller ikke får lettet, ved avgang) kan havne utfor tunneltaket.

Utforkjøring av rullebane (eng.: *runway excursion*, RE) er en type uønsket hendelse der fly havner utenfor den avgrensede rullebanen ved avgangs- eller landingsfasen. Sikkerhetsområdet bak rullebaneenden, er vanligvis et flatt og gruslagt/gressbevokst område med standardmål 300 meter lengde og 150 meter bredde. Sikkerhetsområdet skal bidra til at evt. utforkjøring fra rullebanen, ved landing eller avgang, evt. også ei for tidlig landing, ikke skal føre til store skader på fly og passasjerer/besetning.

Det konkrete tilfellet som ligger til grunn for denne nytte-kostnadsanalysen er Tromsø lufthavn Langnes, der sikkerhetsområdet etter rullebaneenden er delvis innsnevret (Luftfartstilsynet, 2013). Under sikkerhetsområdet i sørenden av rullebanen går fylkesveg 862 i en tunnel (108 m lang). Over denne tunnelen er sikkerhetsområdet kun 90 m bredt. Hele sikkerhetsområdet er dermed oppdelt i ei 60 meter lengde som er 150 meter bred, og så ei 60 meters lengde som er 90 meter bred (det innsnevrede området), og deretter ei 180 meters lengde som er 150 meter bred. Pga innsnevringa over fylkesvegen kan en vurdere den effektive bredda av sikkerhetsområdet til 90 m i hele dens lengde (grønt område i figur S.1), selv om en ytre del, sør for fylkesvegen, har 150 m bredde (inkludert de brune områder i figur S.1).



Figur S.1: Sikkerhetsområdet i sørenden av Tromsø lufthavn Langnes (for avganger og landinger mot sør, samt landinger mot nord). Standard for sikkerhetsområdet er 300×150 m. Det som er farget grønt (og brunt) i figuren betegnes på engelsk som «Runway end safety area» (RESA), mens det som er farget blått i figuren betegnes på engelsk som «Strip», et flatt område langs rullebanen på begge sider, samt de første 60 m etter rullebaneenden. Sikkerhetsområdet i sørenden av Langnes er altså sammensatt av et felt på 60×150 m rett etter rullebaneenden, så et innsnevret felt over Fv862-tunnelen på 60×90 m (det er dermed to «manglende siderektangler» à 60×30 m i sikkerhetsområdet), før det siste feltet på 180×150 m (Kilde: Luftfartstilsynet, 2013, samt ettersendt korrigert figur fra Luftfartstilsynet).

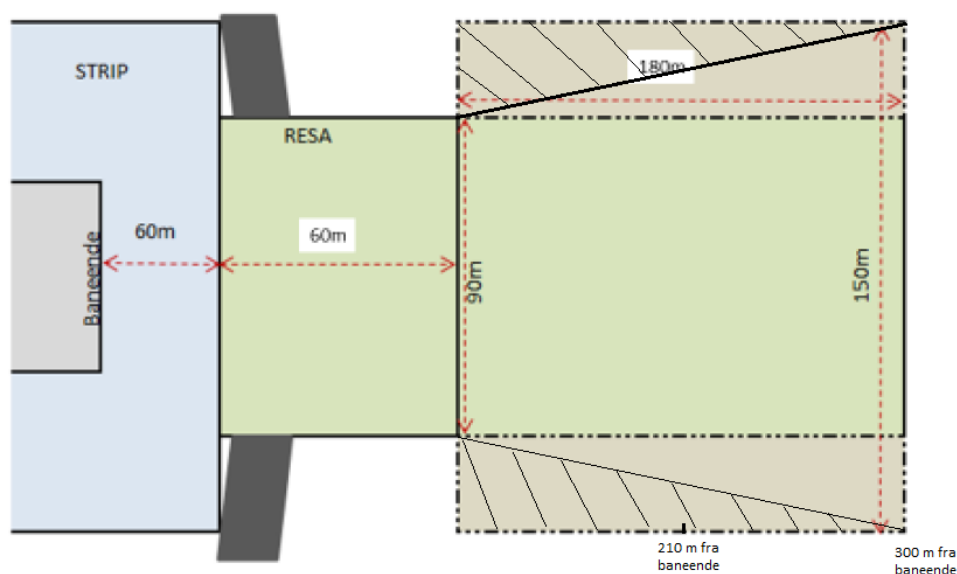
Ved avgang/landing mot sør (der flyene altså kommer i retning fra venstre, i figur S.1) vil et RE-tilfelle bety at flyet stopper etter passering av baneenden. Ved landing mot nord (der flyene altså kommer i retning fra høyre, i figuren) så vil for tidlig landing bety at flyet lander før det når rullebanen – lander til høyre for det som i figuren er betegnet som «baneende».

Nytte-kostnadsanalyse av et tiltak som skal redusere konsekvensen av rullebaneutforkjøring (RE)

Nytte-kostnadsanalyser gjennomføres for prosjekter og tiltak som gir opphav til ei eller anna endring. Det vil alltid være usikkerhet rundt slike estimerte framtidige endringer. I noen analysesituasjoner vil man ha god kjennskap til utgangssituasjonen, dvs. de ulike fysiske og monetære størrelsene uten tiltak. I vårt tilfelle med Tromsø lufthavn Langnes og et innsnevret sikkerhetsområde i sørenden av rullebanen, så har vi usikre estimater for flere av de fysiske og monetære størrelsene som gjelder i utgangssituasjonen. Den beregnede frekvensen av rullebaneutforkjøringsulykke (RE-

ulykke) ved landing med fly tyngre enn 5,7 tonn på norske flyplasser er basert på kun seks tilfeller av 6,2 mill. bevegelser over en femtenårsperiode. Videre er det betydelig usikkerhet tilknyttet konsekvensen, det skadeomfanget ulike typer RE-ulykker eller RE-hendelser medfører.

Stoppunkt i økende longitudinell distanse fra rullebaneenden og stoppunkt i økende lateral distanse fra rullebanesenterlinja kan regnes som uavhengige av hverandre, så dermed kan stoppunkt i en bestemt longitudinell og lateral distanse gis som produktet. Med dette har vi kunnet estimere relativ frekvens av stoppunkt i de «manglende ytre rektanglene» i sikkerhetsområdet i sørenden av Langnes. Vi legger også til to trekantede felt som ligger lenger ut fra rullebaneenden enn disse to «manglende ytre rektanglene», for fly som har stoppunkt (figur S.2).



Figur S.2: Skraverte trekantområder ligger ut enn innsnevringa med RE-stoppunkter som antas «berørt av» det innsnevrede feltet – at stoppunkter i trekantene kan antas «teoretisk» å ha innbefattet passering over de «manglende siderektanglene» i sikkerhetsområdet (kilde: Luftfartstilsynet 2013, samt ettersendt korrigert figur fra Luftfartstilsynet; egen bearbeiding).

Det ble estimert at ca. 10-15 % av stoppunktene ved RE eller for tidlig landing vil ligge i disse ytre områdene av sikkerhetsområdet, en litt høyere andel enn 15 % for RE ved avgang, og en litt lavere andel enn 10 % for for tidlig landing. Dette er estimater som følger av en såkalt overlevelsesfunksjon, med parametere som er estimert slik at funksjonen har god tilpasning til observasjonene – de registrerte stoppunktene i et stort datamateriale fra europeiske flyplasser.

Selve skadekostnadsestimatene for ulike RE-ulykker er i stor grad basert på internasjonal litteratur. Fordelinga mellom ulykker og hendelser (25 % - 75 %) synes rimelig robust, men selve spesifikasjonen av skadegrader innenfor ulykketkategorien er opplagt usikker. Likevel, at en får ei vridning oppover i forventet skadeomfang ved Tromsø, er for så vidt styrt av den estimerte andelen stoppunkter i de «manglende siderektanglene» (eller, teoretisk, har medført passering over disse).

Følsomhetsanalysen indikerer at mer presisering av tiltakskostnaden er viktigst for nettonytteestimatet

Pga. usikre estimater og manglende kjennskap til ulike bakenforliggende inputfordelinger til nytte-kostnadsanalysen av feltutvidelsestiltaket (til standard 300×150 meter) på sikkerhetsområdet i sørenden av Langnes, så har vi inkludert en relativt omfattende følsomhetsanalyse. Endringer i ulike input til det som er forventet skadeomfang av en hendelse (rullebaneutforkjøring landing/avgang eller for tidlig landing), ved (større) norske flyplasser generelt og ved Langnes, vil påvirke den estimerte nytten av tiltaket. De fleste hendelsene medfører relativt lave skadekostnader – ulykkene av katastrofalt omfang er beregnet til å skje ca. hvert 478. år ved Langnes slik situasjonen er i dag, og ca. hvert 1016. år etter gjennomført tiltak, gitt samme antall flybevegelser. I hovedestimatet er den årlige forventede konsekvensen, skadeomfanget, ved Tromsø lufthavn Langnes estimert til snaut 10 mill. kr, mens det er estimert til snaut 5 mill. kr ved andre norske flyplasser. Dette gir et årlig nyttestimat av tiltaket på ca. 5 mill. Endringer i noen enkeltinput (som forutsetningen om hvor stor økningen er i andelen katastrofale og store ulykker ved Langnes pga innsnevret sikkerhetsområde i sørenden) vil alene kunne bevege (netto)nytteestimatet ca 1 mill. kr opp og ned. Hvis flere inputverdier går mot de lavere anslagene, f.eks. flyplassstengetida etter ulykker, så kan nettonytten ende opp godt under null (når tiltakskostnaden holdes fast lik 100 mill. kr.). Men, det er altså forutsetningen om størrelsen på tiltakskostnaden som har størst effekt på nettonytte- og NK-brøkestimatene.

Usikkerhetsintervallet for tiltakskostnaden er satt slik at det er en sterkere tendens til underestimering enn overestimering, som stemmer med etterundersøkelser som er blitt foretatt av tiltakskostnadsestimat. Det er denne inputverdien som primært styrer utfallet av nytte-kostnadsanalysen. Det er dermed tiltakskostnaden for å utvide sikkerhetsområdet ved Langnes som bør tallfestes sikrere, for evt. å innsnevre det resultatet som nå foreligger (tabell S.1): Gjennomsnittlig årlig nettonytte basert på (10.000) simuleringer, med trekking fra inputintervaller, er så vidt negativ (omlag minus 170.000 kr). Basert på «deterministiske analyse», med bruk av hovedinputverdiene, blir nettonytten om lag (pluss) 220.000 kr. 90 % konfidensintervall fra simuleringene er lik ca {-2 mill.; +1,5 mill.}. Grunnen til at det simulerte nettonytteestimatet (basert på trekking fra fordelinger) og det deterministiske estimatet (basert på punktverdier) er forskjellig, er bruken av asymmetriske inputverdifordelinger for simuleringene. Den gjennomsnittlige NK-brøken basert på (10.000) simuleringer er svært nær 1, og ligger dermed også svært nær den estimerte NK-brøken på den «deterministiske» analysen, med 90 % konfidensintervall fra simuleringene lik {0,7; 1,4}.

Tabell S.1: Nettonytteestimat for tiltak (utvidelse av sikkerhetsområdet ved Tromsø lufthavn Langnes) og NK-brøk – deterministisk og simulert.

	Nytte	Tiltakskostnad	Nettonytte	NK-brøk
Deterministisk (hovedestimat)	5 080 000	4 860 000	220 000	1,05
Simulert (følsomhetsanalyse)			-170 000	1

Summary:

Cost-benefit analysis of a measure aimed at reducing the consequences of runway excursions at Tromsø Airport

TØI Report 1507/2016

Authors: Knut Veisten, Rune Elvik, Paal Brevik Wangsness
Oslo 2016, 32 pages, Norwegian language

The report presents a cost-benefit analysis (CBA) of a proposed measure of extending the runway excursion safety area (RESA) at the southern end of Tromsø Airport (Langnes). The purpose of the measure is to reduce the potential damage of runway excursion (RE) – overrun of the runway end at landing or take-off, as well as landing undershoot. There is uncertain information about the initial risk situation and about the particular changes that the measure may will provide, as RE are infrequent and Norwegian data limited. However, there is a large European data set on the specific location of planes overrunning or undershooting during a 30 years' period; which provides the basis for estimating the share of RE and undershoot cases that may be located in the constricted area of the RESA at Tromsø Airport – two missing outer rectangles that reduce the RESA width from the standard 150 m to 90 m. About 10-15% of all overrun and undershooting cases are estimated to be located in the missing rectangles, or in areas further out that would imply passing the missing rectangles. The section of RESA in the southern end of Tromsø Airport where the width is constricted to 90 m is the roof of a road tunnel. Location of an overrun plane in the missing rectangles could thus result in a plane falling down to the road. Thus, the expected level of damage due to a RE (or an undershoot) at Tromsø Airport is expected to be higher compared to the expected level of damage due to RE at airports with standard RESA width of 150 m, everything else equal. The potential damage comprises primary effects, such as damage to aircraft and passenger injuries, and secondary effects, such as delay for passengers, airlines and the airport. At Tromsø Airport there are additional potential consequences for the road traffic, damage to the road infrastructure and subsequent delay/closure. The estimated distribution of the level of damage, for different types of accidents and incidents, with associated damage costs, is based on estimates from the international literature as well as official Norwegian valuations for the transport sector. Based on the obtained information and inputs, the CBA of a measure extending the road tunnel, increasing the RESA width from 90 m to 150 m, yields a "break-even" result. The net benefit based on the main input point estimates is positive, but the benefit-cost ratio is just slightly above one. A sensitivity analysis based on 10,000 simulations with drawings from input value intervals yielded a negative mean net benefit value, while the mean of the simulated benefit-cost ratio was very close to unity. Moreover, the sensitivity analysis indicated that the cost of the measure, the tunnel/RESA extension, is the major input element that could tilt the net benefit in a positive or negative direction. The simulated 90% confidence interval of the benefit cost ratio is between 0.7 and 1.4.

Background

The Norwegian Civil Aviation Authority has requested a cost-benefit analysis of a measure aimed at reducing the potential damage of runway excursions (RE) at Tromsø Airport (Langnes). The runway end safety area (RESA) at the southern end of Tromsø Airport, is constricted to 90 meters' width where the county road (Fv

862) between the city of Tromsø and Kvaløya passes under the RESA in a tunnel. As the standard width of RESA is 150 m, Tromsø Airport currently has “missing outer rectangles” on each side. Surpassing 45 meters to the side of the centre line, after the strip, instead of a flat area with grass or gravel (30 meters further out to each side), there is an edge (of a tunnel roof), and beneath there is a road. A side excursion beyond the strip may thus result in a plane running over the edge and falling down on the road. Thus, overrun of the runway at landing or take-off towards the south, as well as undershoot when landing towards the north, may result in more damage at Tromsø Airport compared to other airports with standard $150\text{ m} \times 240\text{ m}$ RESA. Due to the narrowing of RESA over the road tunnel, the effective width of RESA is limited to 90 m (green area in Figure S.1), although a section further out is 150 m wide (adding the brown areas in Figure S.1).

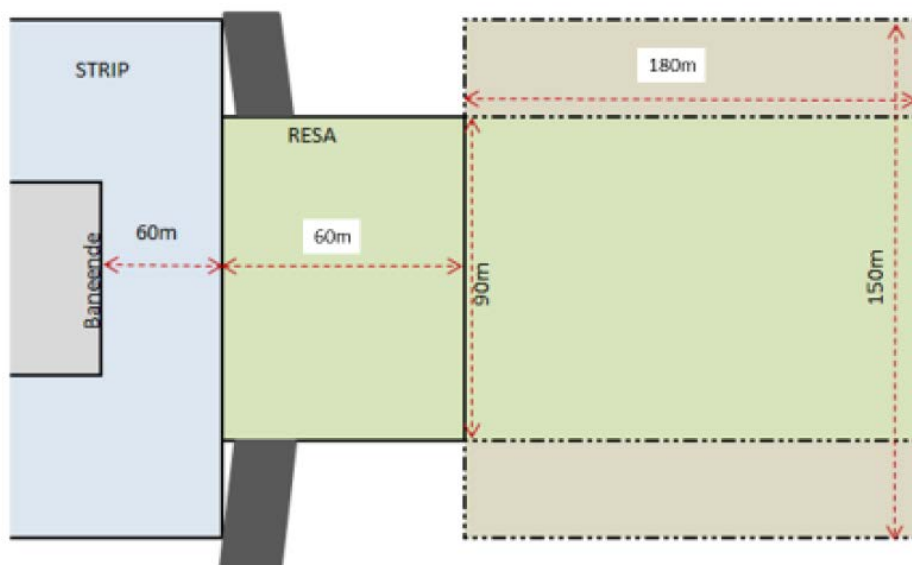


Figure S.1: RESA in the southern end of Tromsø Airport, Langnes (for landings and departures to the south and landings to the north). The standard RESA area is $240\text{ m} \times 150\text{ m}$, and there is an additional $60\text{ m} \times 150\text{ m}$ (runway) strip just after the runway end (Norv.: baneende). At Tromsø Airport the RESA consists first of a narrowed field over the Fv862 road tunnel, $60\text{ m} \times 90\text{ m}$ (thus, there are two “missing side rectangles” of $60\text{ m} \times 30\text{ m}$), and then there is an outer field of $180\text{ m} \times 150\text{ m}$ (Source: Luftfartstilsynet, 2013, with forwarded corrected figure from the CAA).

Upon departure/landing in direction towards the south (from left to right in Figure S.1), a RE-case would mean that the plane stops after passing the runway end. Upon landing in direction towards the north (from right to left in the figure) an undershoot would mean that the plane lands before reaching the runway.

Fundamentals and assumptions for cost-benefit analysis

There will always be uncertainty about the extent of change that specific measures bring about. In our case we even have limited knowledge about the initial (“before change”) situation, as RE and undershooting are infrequent events. There were only 24 registered RE events (at landing) on Norwegian airports (allowing airplanes above 5.7 tonnes), from 2001 to 2015, based on 6.2 mill. movements. Although the proposed measure, extending the width of the RESA from 90 m to 150 m, will not affect the frequency of RE (and undershooting) events, 24 incidents and accidents

represent a very small number for establishing some expectancy about how the consequences are distributed. Thus, the expected change in damage distribution due to the implementation of the measure will be highly uncertain.

The point-of-departure is to apply a former analysis of airplane locations in runway overrun and undershooting incidents. The observed longitudinal and lateral distances have been modelled based on a large European data set, finding that they fitted well to a Weibull survival function (van Es et al. 2014). Thus, we applied the model parameters to estimate the (expected) relative frequency of locations in the “missing outer rectangles”. We also added the locations in two triangular fields further out (the half of the brown areas in Figure S.1), as overrunning airplanes would have had to pass (theoretically) the “missing outer rectangles” to reach these outer areas (Figure S.2).

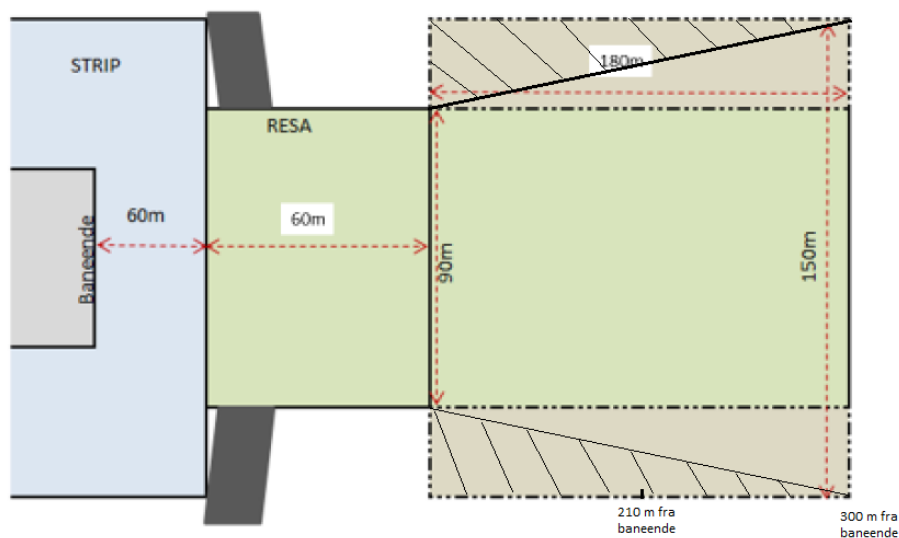


Figure S.2: Theoretical location of an airplane in the hatched triangle areas, farther out than the “missing outer rectangles”, in case of an RE, would normally imply passing the area of the “missing outer rectangles” (source: Luftfartstilsynet, 2013, with forwarded corrected figure from the CAA; own adaptations).

It was estimated that approximately 10-15% of location points in case of overrun and undershooting would either be in the “missing outer rectangles” or in the hatched triangles further out (in RESA). The share was slightly above 15% for overrun at take-off, while it was slightly lower than 10% for undershooting. The overall distribution between accidents and incidents, 25% vs. 75%, seems reasonably robust, but the specific distribution of minor and major accidents remains more uncertain. The chosen specification of accident and incident distribution (seven levels, altogether) was largely based on international literature, which was also the case for the various damage cost estimates. The benefit estimate is given from an expected shift in the distribution of accident and incident levels, when extending the RESA at Tromsø Airport (from 240 m × 90 m) to the standard 240 m × 150 m.

Sensitivity analysis indicates that the cost of the measure is most decisive for the CBA results

The cost of the RESA measure at Tromsø Airport has been roughly estimated at 100 mill. NOK. E.g., Flyvbjerg et al. (2003) have shown that there is a stronger tendency

to underestimate project costs in CBA than overestimating; their before-after study of CBAs showed that the major part of the post-CBA cost observations was placed within an interval from about 30% below the CBA cost estimate to about 60% above. In a sensitivity analysis, we applied a similar asymmetric interval to our cost estimate, as well as (mostly asymmetric) uncertainty intervals for the many inputs affecting the benefit estimate. Triangular distributions were assumed for the inputs (except for some of the damage costs to the road, where uniform distributions were applied).

As indicated RE and undershooting are relatively rare events. We estimate that airports with a narrowed RESA, where an airplane might fall over an edge, as in the case of Tromsø Airport, will experience a catastrophic accident (due to RE or undershooting) every 478th year. Airports with standard RESA are estimated to experience a catastrophic accident (due to RE or undershooting) every 1016th year. The estimated weighted average damage cost of an RE (or undershooting) event (the average of the damage costs of all seven accident and incident levels, weighted by their expected relative frequency) is about 10 mill. NOK at Tromsø Airport and about 5 mill. NOK at Norwegian airports with standard RESA.

The assumed uncertainty interval for the cost of the measure is asymmetric, reflecting the stronger tendency to underestimation than overestimation. It is the assumption and potential change in this input that primarily controls the outcome of the CBA. Thus, it is the cost of the extension of the RESA at Tromsø Airport that should be addressed first, if more precise CBA estimates are to be obtained. Changes in other single inputs (e.g., the increase of large and catastrophic accidents at Tromsø Airport compared to other Norwegian airports, due to a narrow RESA with an edge down to a passing road) may move the net benefit estimate about a million NOK up and down (given that the cost of measures held equal NOK 100 mill.). If several inputs affecting the estimated benefit of the measure are tilted towards their lower end, the resulting net benefit will end up considerably below zero.

The average annual net benefit based on (10,000) simulations, drawing from triangular input intervals, is below zero (about minus 170.000 NOK). Based on “deterministic” analysis, applying “best” point estimate, the estimated net benefit is positive, approximately 220.000 kr (Table S.1). The use of asymmetric input intervals in the simulation, particularly the interval for the cost of the measure (tilted towards higher values) explains the difference between the simulated and the deterministic estimates. The 90% confidence interval from the simulations (from the 5% to the 95% percentile) is equal to {-2 mill.;1.5 mill.}. A separate simulation of the BC ratio yielded an average of 1, while the deterministic BC ratio was 1.05. The 90% confidence interval from the simulations was equal to {0,7;1,4}.

Table S.1: Net benefit estimates for the measure (extension of the RESA at Tromsø Airport), NOK-2015, and benefit-cost ratio – deterministic and simulated.

	Benefits	Costs (of measure)	Net benefit	BC ratio
Deterministic (using “best” point estimates)	5,080,000	4,860,000	220,000	1.05
Simulated (sensitivity analysis)			-170,000	1

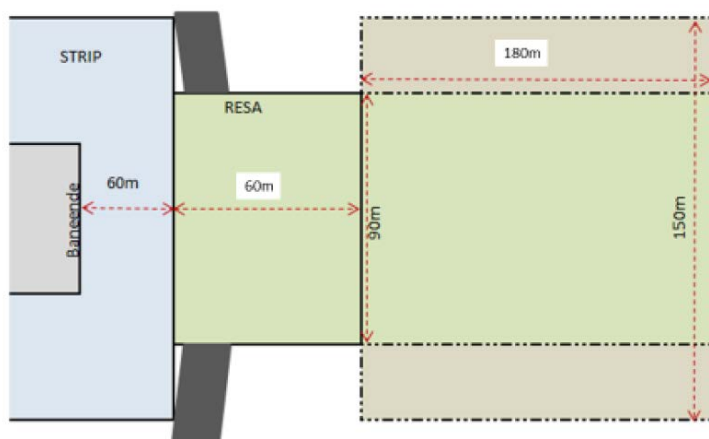
1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Luftfartstilsynet har ønsket ei nytte-kostnadsvurdering av et tiltak for å redusere det potensielle skadeområdet av ei utforkjøring av rullebanen ved Tromsø lufthavn Langnes. Bakgrunnen for dette er at sikkerhetsområdet ved Tromsø lufthavn, i den sørlige enden, har ei innsnevring over vegen som går mellom Tromsø by og Kvaløya (Fv 862). Dermed har flyplassen to «manglende felt» på hver side av sikkerhetsområdet som i verste fall kan føre til at et fly som ikke får stoppet (eller ikke får lettet, ved avgang) kan havne utfor tunneltaket.

Utforkjøring av rullebane (eng.: *runway excursion*, RE) er en type uønsket hendelse der fly havner utenfor den avgrensede rullebanen ved avgang- eller landingsfasen. RE omfatter utforkjøring til siden (eng.: *side excursion* / *veer-off*) eller utover baneenden (eng.: *overrun*). Risikoen for RE-ulykker, i forhold til alle RE-tilfeller (ulykker pluss hendelser), avhenger bl.a. av rullebanestørrelsen, dens lengde og dens bredde, samt av flere andre forhold, bl.a. vind og våt rullebane.

Det konkrete tilfellet som ligger til grunn for denne nytte-kostnadsanalysen er Tromsø lufthavn, Langnes, der sikkerhetsområdet etter rullebaneenden er delvis innsnevret (Luftfartstilsynet 2013). Under sikkerhetsområdet i sørenden av rullebanen går fylkesveg 862 i en tunnel (108 m lang). Over denne tunnelen er sikkerhetsområdet kun 90 m bredt. Sikkerhetsområdet, som er 300 m langt (60 + 240 m), er oppdelt i ei 60 meter lengde rett etter rullebaneenden som er 150 meter bred, og så ei 60 meters lengde som er 90 meter bred (det innsnevrede området), og deretter ei 180 meters lengde som er 150 meter bred (figur 1).



Figur 1: Sikkerhetsområdet i sørenden av Tromsø lufthavn Langnes (for avganger og landinger mot sør, samt landinger mot nord). Standard for sikkerhetsområdet er 300×150 m. Det som er farget grønt (og brunt) i figuren betegnes på engelsk som «Runway end safety area» (RESA), mens det som er farget blått i engelskspråklig terminologi betegnes som «Strip», et flatt område langs rullebanen på begge sider, samt de første 60 m etter rullebaneenden. Sikkerhetsområdet i sørenden av Tromsø lufthavn Langnes er altså sammensatt av et felt på 60×150 m rett etter rullebaneenden, så et innsnevret felt over Fv862-tunnelen på 60×90 m (det er dermed to «manglende siderektangler» à 60×30 m i sikkerhetsområdet), for det siste feltet på 180×150 m. (Kilde: Luftfartstilsynet, 2013, samt ettersendt korrigert figur fra Luftfartstilsynet.)

Ved avgang/landing mot sør (der flyene altså kommer i retning fra venstre, i figur 1) vil et RE-tilfelle bety at flyet stopper etter passering av baneenden. Ved landing mot nord (der flyene altså kommer i retning fra høyre, i figuren) så vil for tidlig landing bety at flyet lander før det når rullebanen – lander til høyre for det som i figuren er betegnet som «baneende». Figur 1 er basert på engelsk terminologi, mens det en på norsk benevner som sikkerhetsområdet også omfatter de 60 m rett etter rullebaneenden.¹

1.2 Nytte-kostnadsanalyse av et tiltak som skal redusere konsekvensen av rullebaneutforkjøring (RE)

For nytte-kostnadsanalyse er det avgjørende å få etablert hvilke endringer som tiltaket vil kunne forventes å føre til. Frekvensen av rullebaneutforkjøring (RE) som sådan kan antas å ligge fast, uavhengig av tiltaket, men konsekvensen av RE kan antas å bli påvirket. Dvs. at det her skal kvantifiseres ei endring i andelen RE-tilfeller som pga. innsnevret sikkerhetsområde (ved Langnes) kan få et større skadeomfang.

I utgangspunktet trenger vi estimer for frekvensen av RE-tilfeller ved (norske) lufthavner. I tillegg til RE ved landing og RE ved avgang, kan det innsnevrede sikkerhetsområdet også påvirke konsekvensen av for tidlig landing. Videre må vi komme fram til ei klassifisering av ulike skadeomfang ved RE-tilfeller. Det finnes databaserte estimer på hvordan RE-ulykker fordeler seg mht. stopposisjoner ut ifra et gitt stoppunkt, både i meter ut til sidene og i meter utover stopplinjen, dvs. ut i det som er rullebanens sikkerhetsområde (se f.eks. Drøpping & Hokstad, 2007; van Es et al., 2014).

Ved RE-tilfeller kan vi i økonomisk forstand ha primæreffekter, den direkte skaden på fly/installasjoner, og evt. personer, og sekundæreffekter, indirekte negative effekter pga. at flytrafikken stoppes i et visst tidsrom. (Ved Langnes kan vi og få effekter på vegtrafikken.) Effektmål og kostnadstall må nødvendigvis hentes inn fra ulike kilder. Det vil generelt være snakk om mer eller mindre usikre estimer. Derfor vil vi også inkludere følsomhetsanalyser. Før vi kommer til de konkrete estimatene av frekvenser og konsekvenser i kapittel 3, vil vi i neste kapittel beskrive nytte-kostnadsanalysen som metode.

¹ I henhold til forskrift 25. august 2015 nr. 1000 om sertifisering av flyplasser mv., jf. forordning (EU) nr. 139/2014 og CS-ADR-DSN — BOOK 1 er RESA definert slik: 'Runway End Safety Area (RESA)' means an area symmetrical about the extended runway centre line and adjacent to the end of the strip primarily intended to reduce the risk of damage to an aeroplane undershooting or overrunning the runway. 'Runway strip' means a defined area including the runway and stopway, if provided, intended to reduce the risk of damage to aircraft running off a runway, and to protect aircraft flying over it during take-off or landing operations. Standardmål for RESA blir da 240 meter lengde og 150 meter bredde, mens det 60 meter lange og 150 meter brede området rett etter rullebaneenden, der flyene kan svinge ut/inn, er en del av 'strip' / 'runway strip' (Olsen, pers.komm., 04.08.16).

2 Nytte-kostnadsanalyse

2.1 Nytte-kostnadsanalyse av tiltak mot RE-ulykker

2.1.1 Generelt om nytte-kostnadsanalyse

Samfunnsøkonomisk nytte-kostnadsanalyse (kost-/nytteanalyse) har sitt grunnlag i (neoklassisk) økonomisk teori, der økonomiske verdier er antatt primært å være uttrykk for individenes/husholdningenes preferanser (Varian, 1992). Det forutsettes at folks etterspørsel etter (private og offentlige) varer og tjenester har lederrollen for å bestemme ulike goders tilgjengelighet og pris. Normativt sett gis det fra mange toneangivende økonomer (Mishan, 1988; Trumbull, 1990), en grunnleggende ramme for lovlighet i etterspørsel/atferd, men generelt gjelder et prinsipp om «den suverene konsument» mht. betalingsvillighet og verdsetting. For varer som blir omsatt i «velfungerende» markeder vil priser/verdier være gitt ut ifra balansen mellom marginal betalingsvillighet (kjøp/etterspørsel) og marginalkompensasjon (salg/tilbud). Tiltak for å redusere ulykkesrisiko (konsekvensomfang ved ulykker) er *ikke-ekskluderende* (på lokaliteten), dvs. at ingen av passasjerene/besetningen eller de som befinner seg på/nær flyplassen vil hindres fra å nyte godt av tiltak mot risiko/konsekvensomfang. Tiltak mot risiko/konsekvensomfang vil også være *ikke-rivaliserende* (på lokaliteten), dvs. at om et tiltak først blir iverksatt så vil ett individs glede av tiltaket ikke redusere muligheten for andres glede av tiltaket (se f.eks. Hanley et al., 1997). Dermed vil vi regne effekten (den forventede konsekvensomfangsreduksjonen) som et (lokalt) kollektivt gode.

2.1.2 Mer spesifikt om nytte-kostnadsanalyse av tiltak mot RE-ulykker

Vi vil ikke nødvendigvis evne å gi en tilnærmet komplett nytte-kostnadsanalyse av tiltak for å redusere risikoen for (eller konsekvensomfanget av) rullebaneutforkjøring (RE-ulykker). Det er særlig sekundæreffektene som kan være vanskelige å få inkludert i sin helhet – og få kvantifisert. For ulike nivå på konsekvensomfang som medfører midlertidig stans i flytrafikken, bør vi ha estimater for antallet rammede passasjerer (forsinket avgang og forsinket ankomst) og hvor lang forsinkelse de blir påført. Med slik informasjon kan vi få estimert en kroneverdi på denne effekten. Imidlertid kan vi anta at det ikke vil foreligge data for omfanget av slike effekter ved RE-tilfeller av ulikt omfang. Videre, om vi har et estimat på den andelen av RE-ulykker som også vil berøre (veg)trafikk nær flyplassen, samt informasjon om ÅDT og effektens varighet, så kan vi ha mulighet til også å inkludere denne effekten. Det er relativt enklere å estimere ventetidseffekter i kroner enn å estimere effekter av vegstenging over lengre tid, da det siste prinsipielt krever bruk av transportmodeller (se f.eks. Minken & Samstad, 2005). Imidlertid viser Bråthen et al. (2008) modellberegninger for flere vegstrekninger, med ulik ÅDT og ulike omkjøringsmuligheter, og dette kan gi grunnlag for å ta utgangspunkt i gjennomsnittsverdier. Om potensielt viktige (sekundær)effekter utelates, vil nyttekostnadsanalysen måtte regnes som «partiell», slik at man i utgangspunktet må innta større åpenhet mht. at estimerte nettonytter og

nytte-kostnadsbrøker vil kunne blitt endret, gitt at det utelatte ble inkludert (Moore & Pozdena, 2004). Likevel, en partiell nytte-kostnadsanalyse kan gi nyttig informasjon om tiltakets potensielle effektivitet, gitt at man vet at de utelatte effektene trekker i en bestemt retning, f.eks. at det som er utelatt ville gitt høyere nytteestimat om de var inkludert. I så tilfelle vil den partielle nytte-kostnadsanalysen gi et «for lavt» anslag på nytte, netto nytte og nytte-kostnadsbrøk (gitt at alle inkluderte effekter er korrekte). I vårt tilfelle med RE-hendelser og RE-ulykker, vil vi forsøke å inkludere og verdsette alle kjente effekter, og vi vil heller stå overfor en type usikkerhet der vi ikke kan anta at netto nytten er «minst så høy som estimert» - den estimerte netto nytten vil kunne være både høyere og lavere enn «sann netto nytte».

En viktig primær nytteeffekt av tiltak mot rullebaneutforkjøring vil kunne være å redusere risikoen for dødsfall og skader. Verdsetting av statistiske liv og lemmer har, som annen verdsetting av kollektive goder (fellesgoder / offentlige goder), utgjort en utfordring i økonomisk analyse / nytte-kostnadsanalyse (Mishan, 1971). I de tilfellene der økonomiske verdier ikke kan tas direkte fra priser i fungerende markeder, så må en benytte særskilte metoder for å estimere verdiene. Den metodikken som ligger til grunn for verdsettingene brukt i transportsektoren er en basert på «uttalte preferanser», dvs. utledet fra survey-respondenters valg mellom alternativer som har ulike sikkerhetsnivå (Veisten et al., 2013).

Definisjonen av samfunnsøkonomisk lønnsomhet av et tiltak vil være at de som tjener på tiltaket (større nytte enn kostnader) vil kunne kompensere de som taper (større kostnad enn nytte) og samtidig sitte igjen med en netto nytte (Mishan, 1988). Rent praktisk vil en forenkle dette prinsippet til den regneregelen at estimert nytte må overstige estimert kostnad. En slik lønnsomhetsvurdering vil gi bedre oversikt over nytte og kostnader, og vil *ex ante* gi et beslutningsgrunnlag for hvilke tiltak/prosjekter som skal gjennomføres.²

Valg av tiltak/prosjekter foretatt av ulike offentlige etater og politiske organer vil ikke alltid være basert på konkrete nytte-kostnadsanalyser, men avveining av nytte og kostnader ved vurderinger av tiltak har likevel et klart intuitivt element, også som del av den politiske beslutningsprosessen. For eksempel ville trolig få innbyggere akseptere en brannberedskap på kun 10 brannmenn i en by med 500.000 innbyggere, men samtidig ville en overdimensjonert beredskap på 100.000 brannmenn heller ikke bli akseptert. Det finnes altså et punkt eller et intervall der nytten av flere brannmenn ikke vil antas å overskride kostnadene. Noe tilsvarende gjelder for andre sikkerhetstiltak: nytte-kostnadsanalyse vil indikere noe om over- eller underdimensjonering. Nytte-kostnadsanalyser av mulige tiltak kan bidra til å synliggjøre for beslutningstakerne hva samfunnet kan «tjene» i kroner og øre på å iverksette lønnsomme tiltak, og hva samfunnet «taper» på ikke å iverksette lønnsomme tiltak, dvs. indikere retninger mot mer optimal allokering (målt i kroner og øre) av begrensede ressurser.

² I en nytte-kostnadsanalyse kan man imidlertid kalkulere (samfunnets) nytte, kostnader og netto nytte (nytte-kostnadsbrøker) uten å måtte gå inn på «hvem som finansierer» og «hvem som leverer». Likevel, fra en økonomisk synsvinkel vil det være av interesse hvorvidt finansieringen og leveringen er institusjonalisert slik at det er insentiver til å produsere «riktig mengde» og at de som har nytte av tiltaket (og/eller de som forårsaker problemet) betaler. En kan også trekke inn fordelingseffekter i nytte-kostnadsanalyse, og også komme inn på finansiering/levering gjennom finansielle underanalyser for ulike sektorer/grupper. Også for gjennomførte tiltak kan det være nyttig med nytte-kostnadsanalyse for vurdering av lønnsomheten *ex post*, da dette kan gi input til beslutninger om justering/videreutvikling av gjennomførte tiltak og vurderinger av nye tiltak.

2.2 Risikoanalyse i forbindelse med flyplassulykker / rullebaneutforkjøring

2.2.1 Risikobegrepet

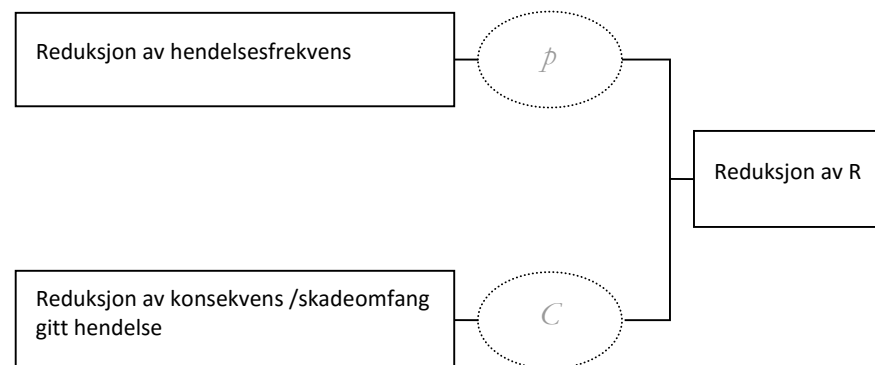
Risikoanalyse er en systematisk undersøkelse av usikkerhet og risiko, der en søker å identifisere risikoen, forstå/avklare når og hvordan risikoen oppstår/virker, og estimere effekter av de hendelser risikoen er knyttet til. Risikoanalysen er å regne som avgjørende for å kunne foreta veloverveide beslutninger i forhold til risikoer for bestemte hendelser. Begrepet risiko brukes i mange ulike sammenhenger, men vanligvis, og også i vår sammenheng, vil risiko være knyttet til frekvensen av en *negativ* hendelse. For en negativ hendelse som en ulykke (RE-ulykke, RE-hendelse) så kan en anta at individer og myndigheter, alt annet likt, vil søke å redusere/minimere/eliminere risikoen. Kilde til usikkerhet og risiko er grunnleggende sett en mangel på kunnskap om framtidige hendelser, og manglende kunnskap kan skyldes både kompleksiteten i det som frambringer de negative hendelsene, målevanskeligheter (kvantifiseringsproblemer), og at det rett og slett er snakk om tilfældigheter.

Det er flere definisjoner av begrepet risiko. I vår RE-ulykkesammenheng, kan en stille opp *risiko* som et produkt av frekvens og konsekvens (potensielt skadeomfang). En kan også snakke om ulike risikoer, som risikoen for en RE-hendelse, risikoen for en «relativt lite alvorlig» RE-ulykke, og risikoen for en «relativt svært alvorlig» RE-ulykke. Det vil være relativt lav sannsynlighet for alle disse, og lavere jo høyere konsekvens/skadeomfang. Selv med stort skadeomfang kan risikoen i seg selv være relativt liten, gitt at frekvensen er svært lav. Både frekvensen og konsekvensen kan tenkes påvirket ved ulike tiltak, men ett enkelt (spesielt) tiltak kan evt. kun påvirke én av disse, f.eks. kun konsekvensomfanget/skadeomfanget.

I en matematisk/ingeniørvitenskaplig tilnærming til risikoanalyse (og denne er nær beslektet med økonomenes forventede nyttemodell) bruker man ofte følgende risikodefinitjon:

$$R = p \cdot C \quad (1)$$

der R er risiko, p er forventet frekvens og C er konsekvenser knyttet til p . I vårt tilfelle vil p være RE-tilfeller (samt tilfeller av for tidlig landing) og C kan forstås som en vektor av ulike skadeomfang – en skadefordeling. Hovedinteressen er altså å redusere R , og dette kan grunnleggende oppnås gjennom å redusere p og/eller C (Figur 2).



Figur 2: Komponenter i risikobegrepet.

En reduksjon i hver av de komponentene som risikoen består av, vil bidra til reduksjon av R . Selv om rullebaneutforkjøringsfrekvensen nok kan påvirkes lokalt (f.eks. ved tiltak rettet mot rullebaneoverflaten), så vil det i vårt tilfelle primært være snakk om tiltak som kan redusere skadekonsekvensen gitt en hendelse/ulykke.

2.2.2 Nytte-kostnadsanalyse av tiltak

Gitt at vi kan estimere tiltakskostnaden og effektene av tiltaket, samt verdsette effektene, kan vi estimere nettonytten (alle nytteeffekter i kroner minus tiltakseffekten) og nytte-kostnadsbrøken. Da nytte og kostnader kan komme i ulike tidsrom, brukes nåverdi (sum av diskonterte verdier over prosjektperioden) for både nytte og kostnader (se f.eks. Mishan, 1988; Hanley et al., 1997):

$$\text{Nettonytte}_{\text{Tiltak } X} = \text{Nåverdien av nytteeffekter} - \text{nåverdien av tiltakskostnaden} \quad (2)$$

$$\text{Nytte-kostnadsbrøk}_{\text{Tiltak } X} = \frac{\text{Nåverdien av alle nytteeffekter}}{\text{Nåverdien av tiltakets kostnad(er)}} \quad (3)$$

Gitt at vi har et estimat på den forventede frekvensen, p , og et estimat på skadekonsekvensen, C , så kan vi altså estimere risikoen, R . Gitt at konsekvensen er verdsatt i kroner og øre, så kan også R verdsettes i kroner og øre. Gitt at vi også kan estimere effekten av tiltak X på skadekonsekvensen, $C_{ny} < C$, og $\Delta C = C - C_{ny}$, så kan vi estimere nytten som $p \cdot \Delta C$ og kostnadene som c . Dermed ville vi ha:

$$\text{Nettonytte}_{\text{Tiltak } X} = p \cdot \Delta C - c \quad (4)$$

$$\text{Nytte-kostnadsbrøk}_{\text{Tiltak } X} = \frac{p \cdot \Delta C}{c} \quad (5)$$

der c er kostnaden for å gjennomføre tiltak X . Nytteestimatene og kostnadsestimatene kan være gitt som nåverdier (nytte og kostnader over en viss periode, der framtidig nytte og kostnad ble neddiskontert med en viss rate for å kunne sammenstilles med nytte og kostnader "nå"). I denne analysen oppgir vi nytte og kostnad per år, som annuiteter, årlige verdier der evt. investeringer og neddiskontering er tatt hensyn til. Vanligvis vil en samle spesifikke tiltakskostnader under brøkstreken og både positive og negative nytteeffekter over brøkstreken – noe som også følges i vår analyse.

3 Forutsetninger for nytte-kostnadsanalysen

3.1 Frekvensen av RE-tilfeller (hendelser/ulykker)

3.1.1 Norske versus europeiske/internasjonale data

Ved norske flyplasser er det registrert 24 tilfeller av rullebaneutforkjøring («*runway excursion*», RE) i 6,2 mill. flybevegelser i perioden 2001-2015, dvs. ca. 3,87 per mill. flybevegelser (basert på notat fra Luftfartstilsynet om rullebaneutforkjøringsrisiko, av 19.01.16 med komplettering 02.02.16). Dette omfatter RE-tilfeller ved landing. Seks av disse tilfellene ble registrert som RE-ulykker, som gir et frekvensestimat lik ca. 1 per mill. Det bygges på følgende definisjon av «ulykke» versus «hendelse»:

- *Ulykker, med store materielle skader på luftfartøyet og eventuelt personskader.*
- *Hendelser, med ingen eller mindre skader på luftfartøyet, og ikke alvorlig personskade.*

I det nevnte notatet viser Luftfartstilsynet at den observerte frekvensen av RE er noe høyere i Norge (og Sverige) enn i Europa generelt og internasjonalt. Drøpping og Hokstad (2007) påpeker at det er flyplasser med kortere/smalerte rullebaner som har aller høyest frekvens av RE (se også, f.eks., Biggs & Hamilton, 2008).

I en rapport til EASA analyserer van Es et al. (2014) RE-tilfeller ved landing og ved avgang, samt landing før rullebanen («*undershoots*»), med data fra europeiske flyplasser, fra perioden 1990-2012. Dataene omfattet mer enn 1,26 mrd. bevegelser, med 480 RE-ulykker ved landing og 125 RE-ulykker ved avgang, og som gir 0,48 per mill. landinger/avganger. Disse tallene ligger altså forholdsvis langt under tilsvarende estimer basert kun på norske flyplasser. Selv om estimatene fra norske flyplasser bygger på ei lavere datamengde, så velger vi likevel å ta utgangspunkt i disse. Forholdet mellom RE ved landing og RE ved avgang i materialet til van Es et al. (2014) er på ca. 3,84 (og i ei annen sammenlikning er forholdet snaut 4,3). Dette ligger relativt nær det forholdet som Drøpping og Hokstad (2007) estimerer for kombinerte overkjøringer-sideutkjøringer, dvs. i overkant av 4. Vi velger å kombinere RE-tilfeller ved norske flyplasser (ca. 3,87/mill. landinger/avganger) med den fordelinga mellom «RE-typer» som gitt fra van Es et al. (2014).

van Es et al. (2014) analyserte også for tidlig landing («*undershoots*»). I den delen av dataene som inneholder informasjon om flyets stoppunkt, er den estimerte frekvensen for RE-ulykke ved landing 0,5153 per mill. bevegelser, RE-ulykke ved avgang 0,1204 per mill. bevegelser, og ulykke ved for tidlig landing 0,0885 per million bevegelser. Vi bruker forholdet mellom RE-ulykke ved avgang og ulykke ved for tidlig landing, i analysen til van Es et al., til å estimere frekvensen for ulykke ved for tidlig landing i Norge. Videre bruker vi de norske dataene for å estimere forholdet mellom ulykker og hendelser (ca. 0,25-0,75). Tabell 1 oppsummerer det vi bygger på.

Tabell 1: Estimerte antall RE ved landing, RE ved avgang og for tidlig landing, per million flybevegelser.

Type RE	Tilfeller	Hendelser	Ulykker
Rullebaneutforkjøring ved landing	3,8710	2,9032	0,9677
Rullebaneutforkjøring ved avgang	1,0081	0,7560	0,2520
For tidlig landing	0,7412	0,5559	0,1853
Sum	5,6203	4,2152	1,4051

Kilder: Notat fra Luftfartstilsynet om rullebaneutforkjøringsrisiko (av 19.01.16 med komplettering 02.02.16), van Es et al. (2014).

Estimatene som gjelder for RE ved avgang og for tidlig landing («undershoot») er lagt til de 3,87 (+1,01+0,74=5,62) RE-tilfellene ved landing per mill. flybevegelser, med bruk av forholdstallene fra van Es et al. (2014).

3.1.2 Overlevelsesfunksjon for RE-stoppunkt

Vi går ikke nærmere inn på det som kan forklare RE-hendelser som sådan, og hvordan frekvensen av RE-tilfeller eller for tidlig landing kan påvirkes (se f.eks. van Es et al., 2014, eller Biggs og Hamilton, 2008). Imidlertid er fordelinga av stoppunkter (utenfor rullebanen) for flyene ved RE-tilfeller avgjørende for å vurdere et tiltak som går på å utvide et innsnevret felt i sikkerhetsområdet ved Tromsø lufthavn Langnes. Vi har valgt å ta utgangspunkt i «RE-stoppunktmodellen» fra van Es et al. (2014). Basert på observerte stoppunkter estimerte de overlevelsesfunksjoner med Weibull-fordeling, som her betyr at det er en fallende sannsynlighet for stoppunkt i longitudinell distanse (lengre fram fra rullebaneslutt, x) og lateral distanse (ut til siden for senterlinja i rullebanen, $|y|$).³ For longitudinell distanse fra rullebaneenden, x , kan andelen stoppunkt utover en viss distanse beregnes fra følgende funksjon (Eddowes et al., 2001; Hall et al., 2008; van Es et al., 2014):

$$\text{Prob}\{(\text{RE} - \text{stoppested} > x)\} = \exp\left(-\frac{1}{\eta} \beta x^{\beta}\right)$$

Her er η en skaleringsparameter (dispersjonsparameter) og β er en formparameter. Eksakt samme type funksjon ligger også til grunn for å beregne (den fallende) sannsynligheten for (økt) lateral distanse, $|y|$, bare med andre parameterverdier.

van Es et al. (2014) baserte estimering av formparametere og skaleringsparametere i overlevelsesfunksjonene for henholdsvis x og $|y|$ på 420 og 297 RE-stoppunkter ved landing, 133 og 117 RE-stoppunkter ved avgang, og 187 og 134 stoppunkter ved landing for rullebanen. For sistnevnte ble det skilt mellom tyngre og lettere fly (over versus under 5670 kg), pga. signifikant forskjell mellom disse, mens for RE-stoppunkter gjelder samme modell for tyngre og lettere fly. Grunnlagsdataene er fra

³ Dropping og Hokstad (2007) fokuserer på RE-stoppunkt lateralt, som de betegner som «veer-off», eller «side excursion» («sideutforkjøring»). De påpeker at en kan ha RE-«overkjøring» («overrun») uten «veer-off» ($x > 0$, $|y| \leq |y^*|$), rein «sideutforkjøring» uten «overkjøring» ($x \leq 0$, $|y| > |y^*|$), og kombinasjoner av disse ($x > 0$, $|y| > |y^*|$). I vårt tilfelle, med innsnevring av sikkerhetsområdet på sørsida av Tromsø lufthavn Langnes, så vil det være kombinasjon av «overrun» og «veer-off» som kan medføre at et fly får stoppunkt i det innsnevrede feltet (eller et stoppunkt som tilsier at flyet i teorien ville ha passert det innsnevrede feltet). En bruker absoluttverdien for y , som impliserer at en ikke skiller mellom sideutforkjøring til venstre eller til høyre – en estimerer sideutforkjøring som enten går til høyre eller til venstre.

perioden 1980-2012. Tabell 2 viser de estimerte parameterne, samt hva som da er den estimerte andelen stoppunkter over de gitte verdiene på henholdsvis x og $|y|$.

Tabell 2: Estimerte parametre for Weibull-fordelingsfunksjon (overlevelseshfunksjon) av stoppunkter.

Type RE	Longitudinell (x) / Lateral ($ y $)	Obs.	Skalerings- parameter (η)	Form- parameter (θ)	EXP(- $(1/\eta)\theta x^\theta$) ; EXP(- $(1/\eta)\theta y ^\theta$)		
					$x=60$; $ y =45$	$x=120$; $ y =75$	$x=210$
Rullebane- utforkjøring ved landing	x	420	131,6715	1,0006	0,6340	0,4018	0,2026
	$ y $	297	10,8228	0,4802	0,2481	0,1684	
Rullebane- utforkjøring ved avgang	x	133	224,2221	1,1268	0,7718	0,5680	0,3456
	$ y $	117	15,3583	0,4666	0,3144	0,2303	
For tidlig landing	x	187	109,2475	0,803	0,5956	0,4049	0,2424
	$ y $	134	4,3444	0,3176	0,2323	0,1796	

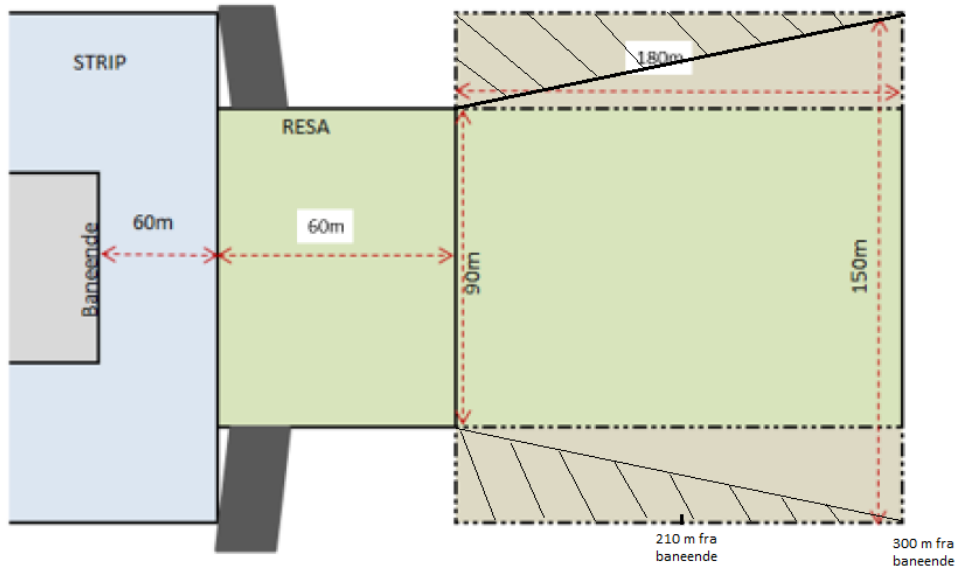
Kilde: van Es et al. (2014, tabell 5.6 s. 51 og tabell 5.7, s. 54). Egne beregninger. Estimaterne av x og $|y|$ ved for tidlig landing gjelder for tynge fly (>5670 kg).

De to kolonnene til høyre i tabellen viser estimater for spesifikke distanser fra rullebaneenden (x) og fra senterlinja ($|y|$). Andelen RE-stoppunkt ved landing lenger fra rullebaneenden enn 60 meter estimeres til 0,634 – den synker til ca. 0,4 for stoppunkt lenger fra enden enn 120 meter, og til ca. 0,2 for stoppunkt lenger fra enden enn 210 meter. Andelen RE-stoppunkt ved landing lenger fra rullebanesenterlinja enn 45 meter estimeres til ca. 0,25 – den synker til ca. 0,17 for stoppunkt lenger fra senterlinja enn 75 meter. Tilsvarende kan leses ut av tabellen for andelen RE-stoppunkter (over gitte verdier for x og $|y|$) ved avgang og ved for tidlig landing.

3.1.3 Beregnet forventet andel RE-stoppunkt i «manglende ytre rektangler» ved Tromsø lufthavn

Vi benytter estimerte sannsynligheter for stoppunkt fra van Es et al. (2014) til å estimere andelen RE-stoppunkt i området mellom 60 og 120 (eller 210) meter fra rullebaneenden og mellom 45 og 75 meter fra senterlinja. Dette er den delen av sikkerhetsområdet i den sørlige enden av Tromsø lufthavn som er innsnevret, på begge sider, pga. at fylkesveg 862, mellom Tromsø by og Kvaløya passerer under i en tunnel (som kun er 108 meter lang). Med sikkerhetsområdebredde i det innsnevrede feltet lik 90 meter (i stedet for 150 meter), så er det kun 45 meter fra senterlinja og ut til «takenden» over tunnelutgangene, ikke 75 meter. Fra baneenden er det 60 meter fram til det innsnevrede feltet, mens sikkerhetsområdet er 150 meter bredt 60 meter lenger ut.

Imidlertid vil det kunne være RE-tilfeller lenger fra rullebaneenden enn 120 meter som, med kombinert overkjøring og sideutforkjøring, kan ha passert det området i sikkerhetsområdet som ligger lenger ut enn det innsnevrede området. Dette gjelder ikke for alle stoppunktene med $x > 120$ m og $|y| > 45$ m, men for en viss andel av disse. Vi har derfor også beregnet andelen stoppunkter for $x \geq 210$ m, som er kortere enn hele sikkerhetsområdelengda ved Langnes, lik 300 m. Dette gir oss, i tillegg, stoppunktene i et rektangel lenger ut enn det innsnevrede området, mellom $x > 150$ m og $x \geq 210$ m. Men med tanke på flybevegelse etter rullebaneenden ved RE (eller mot rullebanestart, ved for tidlig landing), som passerer de manglende feltene (rektanglene), så er det antakelig en trekant lenger ut som vil bli berørt av de manglende feltene (figur 3).



Figur 3: Skraverte trekantområder lenger ut enn innsnevringa med RE-stoppunkter som antas «berørt av» det innsnevrede feltet – at stoppunkter i trekantene kan antas «teoretisk» å ha innbefattet passering over de «manglende siderektangelene» i sikkerhetsområdet (kilde: Luftfartstilsynet 2013, samt ettersendt korrigerert figur fra Luftfartstilsynet; egen bearbeiding).

Figur 3a viser de tenkte trekantene (skraverte) som tas med, i tillegg til de to (manglende) siderektangelene utenfor det innsnevrede feltet, når vi bruker $x > 210$ m, i stedet for $x > 150$ m. For å finne produktet av beregnede andeler stoppunkter for $45 < |y| \leq 75$ og for $60 < x \leq 120$ (eller $60 < x \leq 210$), så kan vi for det første anta at sannsynligheten for økende «sideutforkjøring» ($|y|$) og økende «overkjøring» (x) er uavhengige (van Es et al. 2014, s. 46, Hall et al. 2008). Dermed kan vi enkelt multiplisere de to andelene for å estimere andelen « $45 < |y| \leq 75 \cup 60 < x \leq 210$ ». Om vi bruker $x > 210$ m, i stedet for $x > 120$ m, så kan det altså tolkes som at vi tar med stoppunkter i to trekantar på hver side av rullebanen, som har hypotenus som går fra punktet $x=120, |y|=45$ til $x=300, |y|=75$.⁴ Når vi estimerer andelen stoppunkter for « $x > 210 \cup |y| > 75$ » og andelen stoppunkter for « $x > 60 \cup |y| > 45$ », så vil differansen gi den estimerte andelen stoppunkt i (pluss «bevegelse gjennom») de manglende feltene utenfor det innsnevrede området (de to siderektangelene) $45 < |y| \leq 75$ og $60 < x \leq 210$. Hver trekant har et areal som i kvadratmeter er lik $(30 \cdot 180)/2$ (for $75 - 45 = 30$ og $300 - 120 = 180$).

Tabell 3 oppsummerer våre estimerte andeler stoppunkt i, pluss bevegelse som «berører», de manglende siderektangelene utenfor det innsnevrede feltet, slik det er gitt ved sørenden av Tromsø lufthavn Langnes.

⁴ Det å ta med rektangler (i stedet for trekantar) på hver side, fra $x=120$ m til $x=300$ m, ville virke feilaktig, siden det godt kan tenkes at fly ville kunne havne i dette rektangelet uten å passere det manglende feltet mellom $x=60$ m og $x=120$ m (Drøpping & Hokstad, 2007).

Tabell 3: Estimerte andeler stoppunkt utenfor innsnevret felt («manglende siderektangler») i sikkerhetsområdet pluss trekantet felt lenger ut som antas å innbefatte passering utenfor innsnevret felt.

Type RE	Prob{x>60 U y >45}	Prob{x>210 U y >75}	Differanse
Rullebaneutforkjøring ved landing	0,1573	0,0341	0,1232
Rullebaneutforkjøring ved avgang	0,2427	0,0796	0,1631
For tidlig landing	0,1384	0,0436	0,0948

Kilde: van Es et al. (2014, tabell 5.6 s. 51 og tabell 5.7, s. 54). Egne beregninger.

Den estimerte andelen stoppunkt i, pluss bevegelse som «berører», de manglende siderektanglene i det innsnevrede feltet er altså ca. 0,12 for RE ved landing, ca. 0,16 ved RE ved avgang, og ca. 0,09 ved for tidlig landing. Om vi så bort fra det med «passering» av de manglende siderektanglene, for stoppunkt lenger ut (i en trekant – altså kun tok med stoppunkt i siderektanglene), så ville estimatene bli hhv ca. 0,09, ca. 0,11 og ca. 0,07.

Kobler vi dette til de overordnede estimatene for RE-tilfeller (multipliserer «differansen» i tabell 3 med den overordnede andelen RE-tilfeller, per million bevegelser), så får vi resultatene som vist i tabell 4.

Tabell 4: Estimerte antall RE ved landing, RE ved avgang og for tidlig landing, per million flybevegelser, med stoppunkt i manglende siderektangel i sikkerhetsområdet pluss trekantet felt lenger ut som antas å innbefatte (tenkt) passering av manglende siderektangel.

Type RE	Tilfeller (alle stoppunkter)	Tilfeller med stoppunkt i siderektangel, eller med antatt passering gjennom manglende siderektangel
Rullebaneutforkjøring ved landing	3,8710	0,4768
Rullebaneutforkjøring ved avgang	1,0081	0,1644
For tidlig landing	0,7412	0,0703
Sum	5,6203	0,7115

Kilder: Notat fra Luftfartstilsynet om rullebaneutforkjøringsrisiko (av 19.01.16 med komplettering 02.02.16), van Es et al. (2014). Egne beregninger.

Tilfeller med stoppunkt i det som i dag er manglende siderektangel, eller stoppunkt lenger ut som ville kunne ha passert disse siderektanglene, vil kunne antas å resultere i et høyere skadeomfang ved Tromsø lufthavn Langnes, sammenliknet med flyplasser som har standard sikkerhetsområdebredde lik 150 m i hele lengda på 300 meter. Ved Langnes ville RE-hendelser med slike stoppunkt kunne forventes å medføre at flyet enten ville bli hengende utover kanten ned mot Fv 862, eller, i verste fall, falle ned på vegen. Hvordan vi beregner skadeomfangsendringa (reduert konsekvens) ved å utvide det innsnevrede feltet fra 90 m til 150 m, gjennomgår vi i neste avsnitt.

3.2 Konsekvenser av RE-ulykker og RE-hendelser

3.2.1 Klasser av skadeomfang for RE-ulykker

Mens RE-hendelser betegner RE-tilfeller med «ingen eller mindre skader på luftfartøyet, og ikke alvorlig personskade», så betegner RE-ulykker RE-tilfeller med «store materielle skader på luftfartøyet og eventuelt personskader». Fordelinga i de norske dataene er 75 % RE-hendelser versus 25 % RE-ulykker. Vi må klassifisere og spesifisere dette nærmere for å kunne håndtere tiltaket om feltutvidelse av sikkerhetsområdet i sørenden av Tromsø lufthavn i en nytte-kostnadsanalyse. I tillegg til en slik differensiering av RE-ulykker med ulik skadegrad, må vi forsøke å finne relative frekvensnivå.

van Eekeren (2016), delvis med grunnlag i NLR (2001), presenterer ulike effekter og kostnader for ulike klasser av RE-ulykker (ved landing). Tabell 5 oppsummerer disse.

Tabell 5: En type RE-ulykke-klassifisering mht. skadeomfang.

	Skade-/kostnadstype	Liten	Moderat	Stor	Katastrofe - nivå 1	Katastrofe - nivå 2
Primær-effekter	Ingen skade (AIS=0)	50 %	30 %	0 %	0 %	0 %
	Mindre skade (AIS=1)	50 %	40 %	10 %	0 %	0 %
	Moderat skade (AIS=2)	0 %	30 %	20 %	0 %	0 %
	Alvorlig skade (AIS=3)	0 %	0 %	40 %	0 %	0 %
	Meget alv. skade (AIS=4)	0 %	0 %	20 %	30 %	0 %
	Kritisk skade (AIS=5)	0 %	0 %	10 %	40 %	50 %
	Dødsfall (AIS=6)	0 %	0 %	0 %	30 %	50 %
	Skadekostnad fly (andel av gjenkjøp)	15 %	50 %	80 %	100 %	100 %
Sekundær-effekter	Tapt bagasje kompensasjon (USD)	0	0	210 000	210 000	210 000
	Reparasjonsutgifter flyplass (USD)	100 000	500 000	1 000 000	2 500 000	5 000 000
	Lufthavnstenging (timer)	48	48	96	120	120
	Stengekostnader - regional lufthavn (USD)	400 000	400 000	800 000	1 000 000	1 000 000
	Stengetidskompensasjon per passasjer (USD)	250	400	600	600	600

Kilde: van Eekeren (2016, s 28). Det som her er betegnet «katastrofe - nivå 1» betegner van Eekeren som «disaster», mens det som her er betegnet «katastrofe - nivå 2» betegner van Eekeren som «catastrophic». AIS er en «forkortet skadeskala» («abbreviated injury scale») med seks skadegradsnivåer. van Eekeren (2016) inkluderte også en del andre elementer, bl.a. kostnader for flyselskapet til leie av fly gitt en RE-ulykke. USD står for amerikanske dollar.

Biggs og Hamilton (2008) gir korte beskrivelser av 38 RE-tilfeller i Canada i perioden 1989-2007. I 45 % av disse var det registrert skade på flyet, enten «mindre skade» (21 %), «betydelig skade» (18 %), eller «ødeleggelse» (5 %). Det var kun i de to sistnevnte tilfellene at det også var skadde personer. F.eks. ble sju personer klassifisert med lettere skade da et rutefly av typen Fokker F-28 ble betydelig skadet i 1999, og 12 ble klassifisert med alvorlig skade da et internasjonalt rutefly av typen Airbus ble totalskadd i 2006. I alle tilfellene der flyet ble ødelagt var det skadde personer ombord, men i noen av tilfellene der flyet ble «betydelig skadet» var det ingen registrerte skadde personer. Det er dog ikke oppgitt noe passasjerbelegg, og noen av de 38 RE-tilfellene omfatter også fraktfly.

Registreringa fra Biggs og Hamilton (2008) stemmer bra overens med fordelinga i de norske dataene – ca. 24 % RE-ulykker og ca. 76 % RE-hendelser (mot 25-75 i de norske). I dette har vi implisitt klassifisert de 38 canadiske RE-tilfellene med mindre skade på flyet (og ingen personskade) som «RE-hendelse». Vi vil i stor grad bygge på de canadiske skadebeskrivelsene for å komme fram til en antatt fordeling av skadeomfang, om enn vi her har å gjøre med relativt små tall – og ingen registrerte RE-ulykker med dødsfall. IATA oppgir ca. 5-10 % (7-9 %) av RE-ulykkene med dødsfall, og med forholdet 25-75 ulykke-hendelse, så ville det gi et estimat på ca. 2 % av alle RE-tilfellene. Med bruk av termene fra tabellen over så kunne vi anta at (maks.) 2 % av RE-tilfellene forventes å resultere i «katastrofe». I sin modellering opererer Biggs og Hamilton (2008) med et 3-1 forhold mellom alvorlige skader og dødsfall for de alvorligste RE-ulykkene. Dette impliserer et litt lavere skadeomfang enn det som i tabellen over er betegnet som «katastrofe – nivå 1» («disaster»). I de canadiske dataene var alvorlig personskade høyeste skadegrad i 5 % av RE-tilfellene, og det var også kun 5 % som har lettere skade som høyeste skadegrad. Igjen med

bruk av termene fra tabellen over så ville da bare ca. 10 % av RE-tilfellene klassifisere som, minimum, en «liten» RE-ulykke. Imidlertid omfatter de canadiske dataene et tillegg på 15 % med betydelige skader på flyet uten personskafe, og dette kan også defineres som RE-ulykke.⁵ Vi må understreke at de canadiske dataene omfatter både rutefly og fraktfly.

3.2.2 Tilpassede klasser av skadeomfang for alle RE-tilfeller

Tabell 6 viser en tilpasset RE-tilfelle-klassifisering mht. skadeomfang, med antatte andeler av alle hendelser/ulykker. Dette vil antas å gjelde som et gjennomsnitt for (større) lufthavner i Norge.

Tabell 6: En tilpasset RE-tilfelle-klassifisering mht. skadeomfang.

	Skade-/kostnadstype	Hendelse			Ulykke		
		Ingen	Minimal	Svært liten	Liten	Moderat	Katastrofe
Primær-effekter	Ingen skade	100 %	100 %	100 %	50 %	30 %	0 %
	Lettere skade	0 %	0 %	0 %	50 %	50 %	0 %
	Alvorlig skade	0 %	0 %	0 %	0 %	20 %	40 %
	Meget alv. skade	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	30 %
	Dødsfall	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	50 %
	Skadekostnad fly (andel av gjenkjøp)	0 %	1 %	5 %	15 %	50 %	80 %
	Tapt bagasje-kompensasjon (USD)	0	0	0	0	105 000	105 000
	Reparasjonsutgifter flyplass (USD)	0	10 000	50 000	100 000	500 000	1 000 000
Sekundær-effekter	Lufthavnstenging (timer)	0,5	1	2	24	48	96
	Stengekostnader - regional lufthavn (USD)	0	0	0	200 000	200 000	400 000
Andeler av alle hendelser/ulykker		55,0 %	20,0 %	10,0 %	7,5 %	5,0 %	2,0 %

Kilder: van Eekeren (2016), Biggs og Hamilton (2008). Egne beregninger.

Det opereres altså med én «katastrofe-klasse», og det er lagt til en «svært liten» RE-ulykke-klasse, og to RE-hendelsesklasser – ei med ingen skader og ei med mindre skader på fly. Personskadegradene er tilpasset inndelinga som benyttes i transportsektoren.⁶ Også for en del andre effekter opereres det med en antatt fordeling basert på bl.a. dataene fra canadiske RE-tilfeller ved landing (Biggs & Hamilton 2008).

For flere av skadekostnadene kan vi ta utgangspunkt i estimatene fra van Eekeren (2016), som vist i tabellen over. For verdsetting av forhindret skade og dødsfall blant

⁵ Noen av de RE-tilfellene som blir klassifisert som RE-ulykker vil muligens ha lavere andel skade, både på mennesker, på fly og på annet, enn det som er indikert i tabellen over. F.eks. setter amerikanske Federal Aviation Administration (https://www.faa.gov/regulations_policies/policy_guidance/benefit_cost/media/econ-value-section-5-resto.pdf) en skadekostnad for «betydelig skade» («substantial damage») på flyet lik 15 % av gjenkjøpsprisen, mens denne prosentatsen, basert på van Eekeren (2016), er satt for det laveste skadeomfanget («liten ulykke»).

⁶ Det som med AIS er betegnet som «mindre skade» kan i snitt ha en noe lavere skadegrad enn transportsektorens «lettere skade». Det som med AIS betegnes «moderat skade» kan i transportsektoren trolig være klassifisert enten som «lettere» eller «alvorlig», og «kritisk skade» enten som «meget alvorlig» eller, om det skulle inntreffe, «dødsfall» (Veisten et al., 2007).

personer baserer vi oss på Statens vegvesen (2014). For en ikke-planlagt gjenanskaffelse av fly, benytter vi listeprisen for en Boeing 737-800, satt til 89 mill. USD (Seljeås, J.E., pers. komm., 24.02.16). For de øvrige primæreffektene av et RE-tilfelle tar vi utgangspunkt i estimatene fra van Eekeren (2016). Både for denne og andre estimater i USD brukes en vekslingskurs lik ca. 8,074 (i 2015⁷). Også for sekundæreffektene – effektene av at trafikken ved lufthavnen blir midlertidig stoppet, kan vi ta utgangspunkt i nevnte estimater. I tillegg tar vi med ventetidsverdsetting for de berørte individene, der vi baserer oss på verdsetting av reisetid, med ventetidsjustering, fra Statens vegvesen (2014), og vegstengingskostnader fra Bråthen et al. (2008). Tabell 7 viser kostnadsestimatene for personskader, ved ulike skadegrader, basert på det som er benyttet i vegtransport.

Tabell 7: Kostnader for skadde og drepne personer i transport (verdi av unngått tilfelle).

Skadegrad	Kostnad (2015-kr)
Dødsfall	37 297 403
Meget alvorlig skade	28 316 442
Alvorlig skade	10 037 545
Lettere skade	739 609

Kilde: Statens vegvesen (2014). Oppdatert fra 2013-kr til 2015-kr med lønnsindeks fra SSB (1,0565).

Verdsetting av ventetider tar også utgangspunkt i Statens vegvesen (2014), og for reisende med fly er vektet reisetidsverdsetting etter ulik reisehensikt ca. 370 kr. (2015-kr., gitt ei fordeling med 0,48 fritid, 0,41 tjeneste, og 0,11 til-fra arbeid). Ventetid i korte tidsrom, opptil en halvtime, vil verdsettes noe høyere (ca. 385 kr.), mens ventetid over lengre tidsrom får lavere verdi per time (ca. 150-200 kr.).

Det blir antatt, basert på anslag fra Federal Aviation Administration, USA, at flyselskapene vil ha ventekostnader som utgjør 50 % av flypassasjerenes samlede ventekostnader.

3.2.3 Relativt forventet skadeomfang ved Tromsø lufthavn sammenliknet med øvrige lufthavner

Vi tar utgangspunkt i den estimerte andelen stoppunkt utenfor innsnevret felt («manglende siderekangler») pluss trekantet felt lenger ut som antas å innbefatte passering utenfor innsnevret felt. Denne andelen av den totale RE-tilfelle-frekvensen (+ for tidlig landing) «tas ut og gis spesiell behandling», dvs. at disse stoppunktene antas å få høyere skadeomfang ved Tromsø lufthavn Langnes enn (snittet for) andre norske lufthavner. Tabell 8 oppsummerer dette.

⁷ <http://www.norges-bank.no/Statistikk/Valutakurser/valuta/USD/>

Tabell 8: RE-tilfelle-klassifisering mht. skadeomfang for Tromsø lufthavn versus andre (større) norske lufthavner.

	Hendelse			Ulykke			
	Ingen	Minimal	Svært liten	Liten	Moderat	Stor	Katastrofe
Forventet skadeomfangsfordeling	55 %	20 %	10 %	7,5 %	5,0 %	2,0 %	0,5 %
Frekvens per mill. - alle norske flyplasser	3,0911	1,1241	0,5620	0,4215	0,2810	0,1124	0,0281
Frekvens per mill. - Tromsø lufthavn utenom stoppunkt som er i eller berører de to manglende ytre rektangler	2,7683	1,0067	0,5033	0,3775	0,2517	0,1007	0,0252
Forventet skadeomfangsfordeling - Tromsø lufthavn - stoppunkt som er i eller berører de to manglende ytre rektangler	0 %	0 %	0 %	35 %	36 %	24 %	6 %
Frekvens per mill. - Tromsø lufthavn - stoppunkt som er i eller berører de to manglende ytre rektangler	0,0000	0,0000	0,0000	0,2054	0,2089	0,1381	0,0345
Frekvens per mill. - Tromsø lufthavn	2,7683	1,0067	0,5033	0,5829	0,4606	0,2388	0,0597
Økning i ulykker pga. de to manglende ytre rektangler				49 %	74 %	123 %	123 %

Forutsetningen som er vist i tabellen er at stoppunktene i «manglende ytre rektangler» i sikkerhetsområdet ved Tromsø lufthavn vil fordele seg kun blant RE-ulykker – liten, moderat, stor, eller katastrofe. Med dette vil det antas at katastrofale og store RE-ulykker ved Tromsø lufthavn primært er knyttet til det innsnevrede området.

For evt. effekter på vegstenging er det beregnet vektete fordelinger både mht. vegbrukernes «respons» før det evt. blir avklart at vegen vil bli stengt over lengre tid – med antakelse om at noen blir stående og vente når de kommer til en stengt veg, mens andre snur (Statens vegvesen, 2014; Bråthen et al., 2007). Det blir antatt at for vegstenging inntil fire timer, er det 50-50 fordeling mellom følgende to respons- og kostnadstyper (Bertelsen, 2013):

- Trafikanter som venter (til vegen åpner eller til avklart vedvarende stenging):

$$\text{Ulempekostnad} = \frac{1}{2} * \text{ÅDT}/24 * \text{Responstid} * \text{Timekostnad}$$
- Trafikanter som snur (og returnerer til "utgangspunktet"):

$$\text{Ulempekostnad} = \text{ÅDT}/24 * \text{Responstid} * (\frac{1}{2} * \text{Kostnad normalrute} + \frac{1}{2} * \text{Responstid} * \text{Timekostnad})$$

Her er responstida lik varigheten av stenging på flyplassen eller maks fire timer (da det antas at det vil være avklart og kjent at vegen er og forblir stengt). ÅDT er 15.000 (625 per time). «Normalruta» er den gjennomsnittlige tur-retur-distansen for kjøretøy som normalt passerer denne strekningen, og denne er enkelt satt lik en time. Reisekostnader per time er satt mht. reisetidsverdsettinger/ventetidsverdsettinger for ulike kjøretøy og reisehensikter (ei antatt fordeling med 12 % godskjøretøy, 3 % busser, og resten personbiler – med henholdsvis 10 og 1,6 personer i de to sistnevnte, og 0,82/0,59 i fritid, 0,13/0,17 i tjeneste, og 0,05/0,24 til-fra arbeid, og vektet verdi per time blir lik vel 210 kr.). For busser og godstransport kommer det et kostnadstillegg (hhv ca. 600 og ca. 650 kr. per time). Varighet av vegstenging er generelt satt lik halvparten av tida som trafikken stanses på flyplassen etter RE-ulykke, men for katastrofal ulykke er vegstenginga satt lik tida som trafikken stanses på flyplassen. Kostnader for stengt veg over et lengre tidsrom enn fire timer er basert på kostnadsanslag per kjøretøy per time fra Bråten et al. (2008, dvs. ca. 400 kr., oppdatert fra 2007-kr til 2015-kr med lønnsindeks fra SSB, 1,3318). Dette kan

tilpasses Fv862 Giæverbukta-Kvaløysletta, som har en årsdøgnstrafikk (ÅDT) lik ca. 15.000.

Kostnadsestimatene for oppretting av skader på veg/tunnel under sikkerhetsområdet er kun forenklete runde summer, 10 mill. for katastrofe, 1 mill. for stor ulykke, og 100.000 for moderat ulykke. Et fly som (delvis) faller ned på vegen vil forventes å kunne skade veginfrastrukturen.

Sannsynligheten for ulike hendelser og ulykker ved Tromsø lufthavn Langnes avhenger av flytrafikken generelt og av retning på landing/avgang. Det er tre av fire bevegelser som berøres av det innsnevrede feltet, på sørsiden av lufthavna:

- Landinger mot sør, 65 % av alle landinger (som kan medføre RE ved landing som berører innsnevret felt)
- Avganger mot sør, 65 % av alle avganger (som kan medføre RE ved avgang som berører innsnevret felt)
- Landinger mot nord, 35 % av alle landinger (som kan medføre for tidlig landing som berører innsnevret felt).

Tabell 9 oppsummerer noen sentrale data for Tromsø lufthavn (basert på Avinor og Luftfartstilsynet).

Tabell 9: Flybevegelser og passasjerer ved Tromsø lufthavn Langnes (i 2015).

	Totalt	Landing mot sør (RE-landing)	Avgang mot sør (RE-avgang)	Landing mot nord («for tidlig landing»)
Flybevegelser per år	42 444	13 794	13 794	7 428
Skadeomfangsfordeling	antatt lik for alle tre grupper			
Passasjerer per år	2 009 146			
Passasjerer per dag	5 505			
Passasjerer per time	344			
Passasjerer per fly	47,3			
Estimert passasjerantall i prosjektperioden	58,2			

Merknad: Det er antatt at flypassasjerantallet vil vokse med 1,28 % i prosjektperioden (Madslie et al., 2011). Antall flybevegelser er holdt fast på 2015-nivå.

Vi antar, som ei forenkling, at konsekvensfordelinga er den samme for de tre ulykkestypene vi vurderer: RE ved landing, RE ved avgang, og for tidlig landing («undershoot»). Det er $13\,794 + 13\,794 + 7\,428 = 35\,016$ bevegelser som kan berøres av denne typen konsekvenser.

3.3 Følsomhetsanalyse av estimert nettonytte og NK-brøk

3.3.1 Følsomhetsanalyse med @RISK-simuleringer

For å få et grep om usikkerheten i estimatene, gjennomfører vi en følsomhetsanalyse, der vi legger på intervaller for en stor del av de inputverdiene som «styres» nytteestimatet. Vi opererer også med en alternativ lavere verdi for tiltakskostnaden, samt en alternativ høyere verdi. Følsomhetsanalysen blir basert på simuleringer av et meget stort antall inputkombinasjoner.

Denne følsomhetsanalysen blir gjennomført med det regnearkbaserte simuleringsprogrammet @RISK⁸. En antar da sannsynlighetsfordelinger for inputverdiene, og pga. manglende kjennskap til disse, så velger vi å benytte enkle triangulære fordelinger. Triangulære fordelinger har ei nedre og ei øvre grense for fordelinga (inputintervallgrenser), og den «siste vinkelen i trekantfordelinga» er inpthovedverdien (punkttestimatene i tabellene i avsnittene 3.2.2 og 3.2.3). I simuleringene trekkes det fra inputfordelingene i mange omganger, slik at en får ut ei sannsynlighetsfordeling av resultatene. Vi får dermed ikke kun spesifikke kombinasjoner av inputforutsetninger og «høyest-lavest» - vi får også et uttrykk for hvor nettonytten og NK-brøken mest sannsynlig vil ligge (se f.eks. Akhtar et al., 2010). Dette hviler dog likevel på en forutsetning om at vår beregningsmetode og de inputintervallene vi opererer med gir et noenlunde korrekt bilde av faktisk inputstørrelse og -fordeling.

Fra @RISK kan vi få ut et histogram med simulerte nettonytter og NK-brøker, altså ei slags sannsynlighetsfordeling, og vi kan også få ut ei kumulativ fordeling («S-kurve») av disse outputene. Videre kan vi få ut en oversikt («tornadodiagram») over hvilke input som kan ha størst påvirkning på nettonytte og NK-brøk.

3.3.2 Antatte usikkerhetsintervall for input

Tabell 10 viser de inputverdiene som er benyttet i hovedestimatet – hovedforutsetningen for analysen, samt et lavere og et høyere anslag.

Vi baserer oss på et tiltakskostnadsanslag lik ca. 100 mill. kr. (Luftfartstilsynet 2013). De øvrige hovedforutsetningene følger av avsnitt 3.2 over. Analysen basert på hovedforutsetningen vil vi benevne som «deterministisk analyse», og nettonytte- og NK-brøkestimatet som «deterministiske estimater» eller hovedestimer. Den deterministiske analysen vil gi et punkttestimat for nettonytten (og et punkttestimat for NK-brøken).

Både hovedforutsetningene og de lavere og høyere anslagene er usikre, men de lavere og høyere anslagene gir inputverdiintervall som kan bli benyttet for følsomhetsanalysen med simuleringsprogrammet @RISK. Med @RISK vil en også få testet hvordan de asymmetriske inputintervallene vil påvirke det simulerte gjennomsnittet for nettonytten og det simulerte gjennomsnittet for NK-brøken. Vi vil benevne resultatene fra denne følsomhetsanalysen som «simulerte estimater».

⁸ Versjon 7: <http://www.palisade.com/risk/>

Tabell 10: Antatte usikkerhetsintervaller for tiltakskostnaden og for diverse input som påvirker nytteestimatet.

	Lavere anslag	Hovedforutsetning	Høyere anslag
Tiltakskostnad (kr)	70 000 000	100 000 000	160 000 000
Areal ekstra trekant for stoppunkt, $(30 \cdot k)/2$, der k er lengste katet	135	180	225
Antall flypassasjerer per fly	37,9	47,3	56,8
Andel katastrofale ulykker - alle lufthavner	0,25 %	0,50 %	1,0 %
Andel store ulykker - alle lufthavner	1,0 %	2,0 %	3,0 %
Andel minimale hendelser - alle lufthavner	10,0 %	20,0 %	30,0 %
Andel katastrofale ulykker - Tromsø	1,0 %	5,88 %	10,0 %
Andel store ulykker - Tromsø	10,0 %	23,53 %	35,0 %
Andel moderate ulykker - Tromsø	25,0 %	35,59 %	45,0 %
Fly - ødeleggelsesgrad - store ulykker	60,0 %	80,0 %	90,0 %
Fly - ødeleggelsesgrad - moderate ulykker	20,0 %	50,0 %	60,0 %
Fly - ødeleggelsesgrad - små ulykker	7,5 %	15,0 %	20,0 %
Fly - ødeleggelsesgrad - svært små ulykker	2,5 %	5,0 %	7,5 %
Fly - ødeleggelsesgrad - minimale hendelser	0,1 %	1,0 %	2,5 %
Skader på flyplassinstallasjoner (USD) - katastrofale ulykker	1 875 000	3 750 000	4 687 500
Skader på flyplassinstallasjoner (USD) - store ulykker	700 000	1 000 000	1 300 000
Skader på flyplassinstallasjoner (USD) - moderate ulykker	250 000	500 000	650 000
Skader på flyplassinstallasjoner (USD) - små ulykker	75 000	100 000	150 000
Skader på flyplassinstallasjoner (USD) - svært små ulykker	25 000	50 000	75 000
Skader på flyplassinstallasjoner (USD) - minimale hendelser	1 000	10 000	20 000
Bagasjetap (USD)	52 500	105 000	131 250
Forhindret dødsfall (kr)	26 108 182	37 297 403	55 946 104
Forhindret meget alvorlig skade (kr)	19 821 509	28 316 442	42 474 662
Forhindret alvorlig skade (kr)	7 026 281	10 037 545	15 056 317
Forhindret lettere skade (kr)	517 726	739 609	1 109 413
Ødeleggelse av veginfrastruktur - Fv 862 (kr) - katastrofale ulykker	2 500 000	10 000 000	17 500 000
Ødeleggelse av veginfrastruktur - Fv 862 (kr) - store ulykker	250 000	1 000 000	1 750 000
Ødeleggelse av veginfrastruktur - Fv 862 (kr) - moderate ulykker	25 000	100 000	175 000
Rullebanestenging (timer) - katastrofale ulykker	96	120	144
Rullebanestenging (timer) - store ulykker	67	96	106
Rullebanestenging (timer) - moderate ulykker	34	48	62
Rullebanestenging (timer) - små ulykker	6	24	31
Rullebanestenging (timer) - svært små ulykker	1,5	2,0	3,5
Rullebanestenging (timer) - minimale hendelser	0,75	1,00	1,50
Rullebanestenging (timer) - hendelse uten skade	0,05	0,50	0,75
Flyselskapenes forsinkelseskostnader som prosent av passasjerenes forsinkelseskostnader	25 %	50 %	75 %
Flyplasstenging (USD) - katastrofale ulykker	400 000	500 000	600 000
Flyplasstenging (USD) - store ulykker	320 000	400 000	480 000
Flyplasstenging (USD) - moderate ulykker	160 000	200 000	300 000
Flyplasstenging (USD) - små ulykker	50 000	200 000	240 000
Vegstengingstid (Fv 862) som prosent av rullebanestenging - katastrofale ulykker	75 %	100 %	150 %
Vegstengingstid (Fv 862) som prosent av rullebanestenging - store ulykker	50 %	50 %	75 %
Vegstengingstid (Fv 862) som prosent av rullebanestenging - moderate ulykker	10 %	25 %	50 %
Vegstengingstid (Fv 862) som prosent av rullebanestenging - små ulykker	1 %	5 %	10 %

Merknad: De lavere og høyere anslagene er for de fleste inputverdier ikke satt symmetrisk mht. hovedestimatet; det blir brukt triangulære fordelinger på alle input unntatt for ødeleggelse av veginfrastruktur og for vegstengingstid som har uniforme fordelinger.

Grønn farge på cella i tabellen indikerer at verdien vil påvirke nettoytten (og NK-brøken) oppover, og vice versa for rød farge på cellene. Intervallet for

tiltakskostnaden bygger i noen grad på Flyvbjerg et al. (2003), som i før-etter-studie av nytte-kostnadsanalyser av transportprosjekter viste at tiltakskostnadene oftere var underestimert enn overestimert, og med de fleste av etterobservasjonene i området fra 30 % under den estimerte tiltakskostnaden til 60 % over.⁹ For de ulike effektene som påvirker nytten er intervallene satt noe mer anslagsvis, da vi mangler informasjon om denne inputusikkerheten. For verdsetting av forhindrede dødsfall, der hovedforutsetningen er basert på offisiell verdsetting i transportsektoren, er det satt inn et asymmetrisk intervall, med lengre hale oppover, som til en viss grad kan knyttes til litteraturen (Carlsson et al., 2004).

I noen grad vil den relative størrelsen på intervallene reflektere hvor usikker vi vurderer informasjonen å være. F.eks. er det vurdert som svært usikkert hvor stor endring i store og katastrofale ulykker en vil kunne få ved rullebaneutforkjøring og for tidlig landing ved Langnes, sammenliknet med det en vil ha ved andre norske flyplasser. En vil, uansett usikkerhet om lavere og høyere anslag, få et bilde av hvor robust den deterministisk estimerte nettonytten og NK-brøken er, via simuleringer. Videre vil følsomhetsanalysen med @RISK gi en oversikt over hvilke inputendringer som har potensielt størst effekt på nettonytte- og NK-brøkestimatet. Dette siste er i noen grad styrt av de satte lavere og høyere anslag, men også av effektens tyngde i beregninga av nettonytte og NK-brøk.

⁹ Odeck (2004) og Lundberg et al. (2011) rapporterer om tilsvarende fra norske og svenske transportprosjekter.

4 Resultater

4.1 Estimerte kostnader (negativ nytte) gitt RE-tilfelle

Tabell 11 oppsummerer anslagene i kroner for ulike primæreffekter og sekundæreffekter av et RE-tilfelle av ulikt skadeomfang. Estimatenes for ødeleggelse og stenging av veg gjelder kun for Tromsø lufthavn Langnes.

Tabell 11: Skadekostnader (2015-kr) gitt RE-tilfelle av et visst skadeomfang, primæreffekter og sekundæreffekter – norske lufthavner.

Skadetype	Katastrofe	Stor	Moderat	Liten	Svært liten	Minimal	Ingen
Primæreffekter							
Skadde/drepte på flyet	1 909 256 130	740 951 252	138 351 894	21 521 406	0	0	0
Flyskade	718 577 100	574 861 680	359 288 550	107 786 565	35 928 855	7 185 771	0
Bagasjetapkompensasjon	847 760	847 760	847 760	0	0	0	0
Ødeleggelse av installasjoner på/utenfor flyplassen	30 277 125	8 073 900	4 036 950	807 390	403 695	80 739	0
Ødeleggelse av veginfrastrukturen (kun Langnes)	10 000 000	1 000 000	100 000	0	0	0	0
Sekundæreffekter							
Forsinkelse flytrafikk – passasjerer	1 469 645 650	940 573 216	235 143 304	58 785 826	551 117	137 779	66 338
Forsinkelse flytrafikk - flyselskapene	734 822 825	470 286 608	117 571 652	29 392 913	275 559	68 890	33 169
Stengekostnader - lufthavnen	8 073 900	6 459 120	3 229 560	3 229 560	0	0	0
Vegstenging – vegtrafikanter (kun Langnes)	697 223 632	265 223 632	49 223 632	367 090	0	0	0
Frekvens per mill. flybevegelser	0,0281	0,1124	0,2810	0,4215	0,5620	1,1241	3,0911

Det er forventet høyere relativ frekvens av tilfeller med høyt skadeomfang ved Tromsø lufthavn Langnes pga. at RE-tilfeller (og for tidlig landing) kan ha stoppunkt «i konflikt med» de manglende ytterrektanglene i sikkerhetsområdet i sørenden av flyplassen. I tillegg til større forventet skadekostnad for et RE-tilfelle, for diverse primær- og sekundæreffekter på fly, flyplass, flyselskap og passasjerer, så kan også vegen under sikkerhetsområdet bli skadet. En kan videre forvente vegstenging for en stor andel av de alvorligste RE-ulykkene ved Langnes.

4.2 Tiltakskostnader

Vi baserer oss på et tiltakskostnadsanslag lik ca. 100 mill. kr. (Luftfartstilsynet, 2013). Med 40 års prosjekthorisont og 4 % diskonteringsrate, gir dette en årlig tiltakskostnad lik 4 858 028 kr.

4.3 Nytten av tiltaket

Fra tabellene over kan det estimeres en vektet RE-tilfellekostnad, kostnadene for hver konsekvensklasse vektet med den relative sannsynligheten. Differansen mellom den vektete RE-tilfellekostnaden for Tromsø lufthavn Langnes og den vektete RE-tilfellekostnaden for «alle (større) norske flyplasser» gir et anslag på nytten av å gjennomføre utvidelsestiltaket av sikkerhetsområdet på sørsiden av Langnes. Den differansen vi får fra tabellene over er en differanse gitt 1 million flybevegelser. For å få et årlig nytteestimat for Langnes må vi nedskalere til det relevante antallet flybevegelser ved Langnes per år, 35.016 bevegelser. (Det betyr en nedskalering fra 5,6203 for et «tilfelle» med én mill. bevegelser, til 0,1968 for et «tilfelle» med 35.016 bevegelser.) Tabell 12 oppsummerer nytteestimatet (basert på deterministisk analyse med punktestimater – tallene fra hovedforutsetningskolonnen i tabell 10).

Tabell 12: Nytteestimat tiltak - differanse i vektet RE-tilfellekostnad ved norske lufthavner generelt og ved Tromsø lufthavn.

Risiko	Vektet RE-tilfelle mht. relativ frekvens av ulike skadeomfang		
	Tromsø lufthavn	Norske lufthavner	Differanse (nytte)
RE-tilfelle per mill. flybevegelser	289 183 739	144 001 618	
RE-tilfelle per 35.016 flybevegelser	10 126 145	5 042 404	5 083 741

Merknad: «tilfellene» omfatter også for tidlig landing («undershoot»).

Det går tydelig fram av tabellen at antallet årlige flybevegelser (som påvirkes av tiltaket) er avgjørende for størrelsen på nytteestimatet.

4.4 Nettonytte-estimat – nytten av tiltaket minus tiltakskostnadene, og NK-brøk

Den estimerte nettonytten er simpelthen lik den estimerte nytten minus de estimerte tiltakskostnadene. Tabell 13 oppsummerer dette, samt den estimerte nytte-kostnadsbrøken.

Tabell 13: Nettonytteestimat for tiltak, samt NK-brøk.

	Nytte	Tiltakskostnad	Nettonytte	NK-brøk
Sikkerhetsområdeutvidelse, Tromsø lufthavn	5 083 741	4 858 028	225 713	1,05

Basert på de «beste estimatene» av inputverdier, gir analysen så vidt positiv nettonytte og NK-brøk så vidt høyere enn 1. Nytteestimatet og tiltakskostnadsestimatet er relativt nær hverandre i størrelsesorden.

4.5 Følsomhetsanalyse – simuleringer med @RISK

Vi har brukt inputverdiintervallene som gitt i tabell 10 for en mer omfattende/komplett følsomhetsanalyse med det regnearkbaserte programmet @RISK. Med kun symmetriske inputverdifordelinger ville man ha kunnet forvente omtrent samme simulerte nettonytte og NK-brøk som i de «deterministiske» beregningene (altså noe tilnærmet lik hovedestimatet i avsnittet over). Imidlertid er mange av de triangulære inputfordelingene asymmetriske, så da kan den simulerte

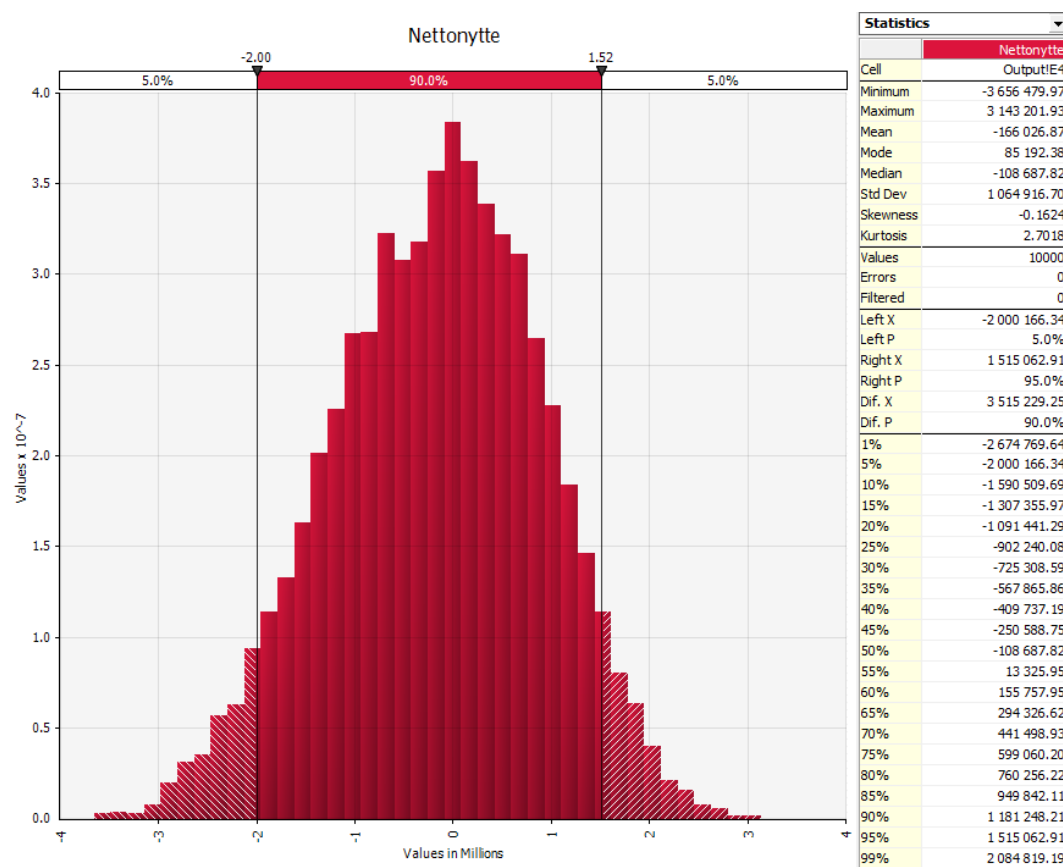
nettonytten og NK-brøken havne et stykke fra (de «deterministiske») hovedestimatene.

Tre figurer fra @RISK-simuleringene vil si noe om usikkerheten, og hva som påvirker denne, i nettonytte og NK-brøk, for det foreslåtte tiltaket om å utvide sikkerhetsområde i sørenden av Tromsø lufthavn Langnes:

- Histogram: Viser sannsynlighetsfordeling
- S-kurve: Viser kumulativ sannsynlighetsfordeling
- Tornadodiagram: Viser hvor mye de viktigste usikkerhetsfaktorene slår inn på forventningsverdien til simuleringene i positiv og negativ retning

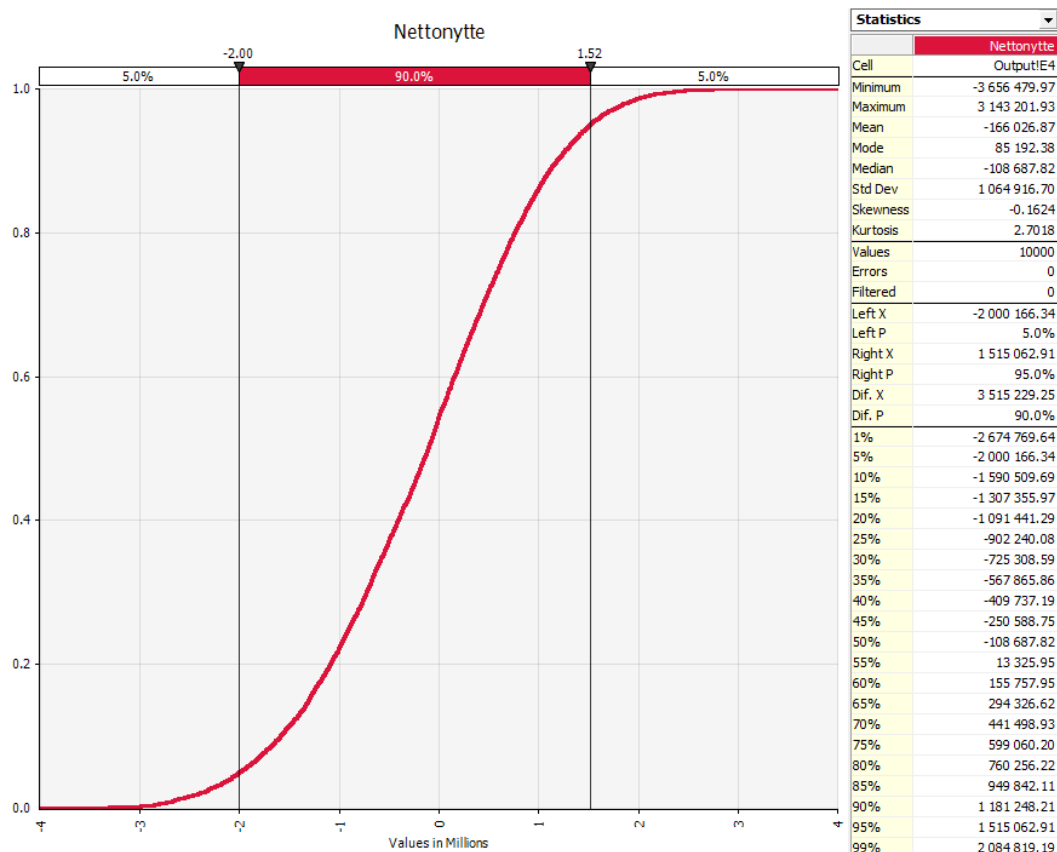
Disse er basert på 10.000 simuleringer med trekninger fra inputverdifordelingene.

Figur 4 viser histogrammet med sannsynlighetsfordeling.



Figur 4: Histogram – simulerte nettonytteestimer basert på 10.000 «trekninger» fra inputintervall – triangulære inputfordelinger. Øverste del av kolonnen til høyre gir simulert min og maks, samt gj.snitt, typetall og median, samt øvrige sannsynlighetsfordelingsmomenter. De to nederste delene av høyrekolonnen oppgir nettonytten på de ulike percentilene i fordelinga.

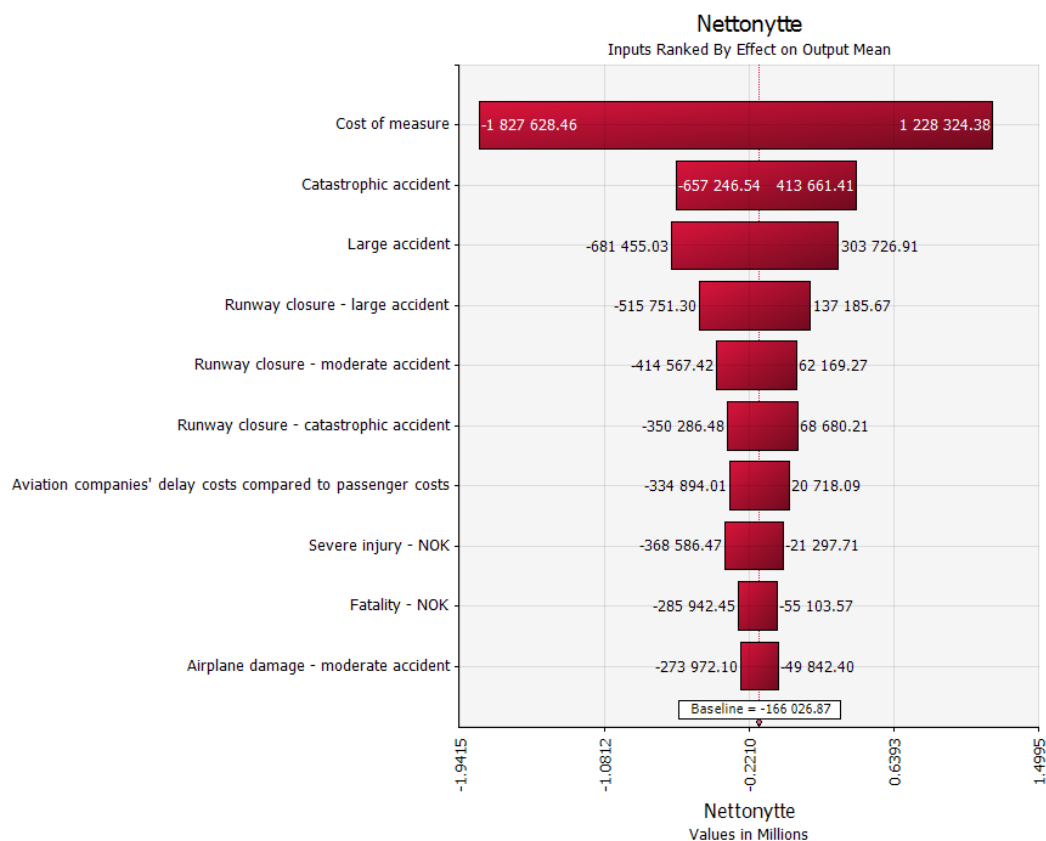
Gjennomsnittet i nettonyttehistogrammet er på ca. minus 165.000 kr., som altså er betydelig lavere enn de ca pluss 225.000 kr. fra den «deterministiske» hovedanalysen. Forskjellen mellom det forventede gjennomsnittet fra simuleringene og (det «deterministiske») gjennomsnittet basert på inputpunktverdier kan forklares med asymmetriske inputintervaller. Medianverdien er på ca minus 110.000 kr. 90 % av den simulerte sannsynlighetsfordelinga ligger mellom minus 2 mill. og pluss 1,5 mill. kr (fra 5-prosentpercentilen til 95-prosentpercentilen).¹⁰ Dette siste er presisert i en «S-kurve»-figur for nettonytten (figur 5).



Figur 5: S-kurve – kumulativ fordeling av simulerte nettonytteestimer basert på 10.000 «trekninger» fra inputintervall – triangulære inputfordelinger. (Kolonnen til høyre inneholder eksakt samme informasjon som i figur 4.)

Figur 6 viser hvilke input(intervaller) som har størst effekt på nettonytteestimatet.

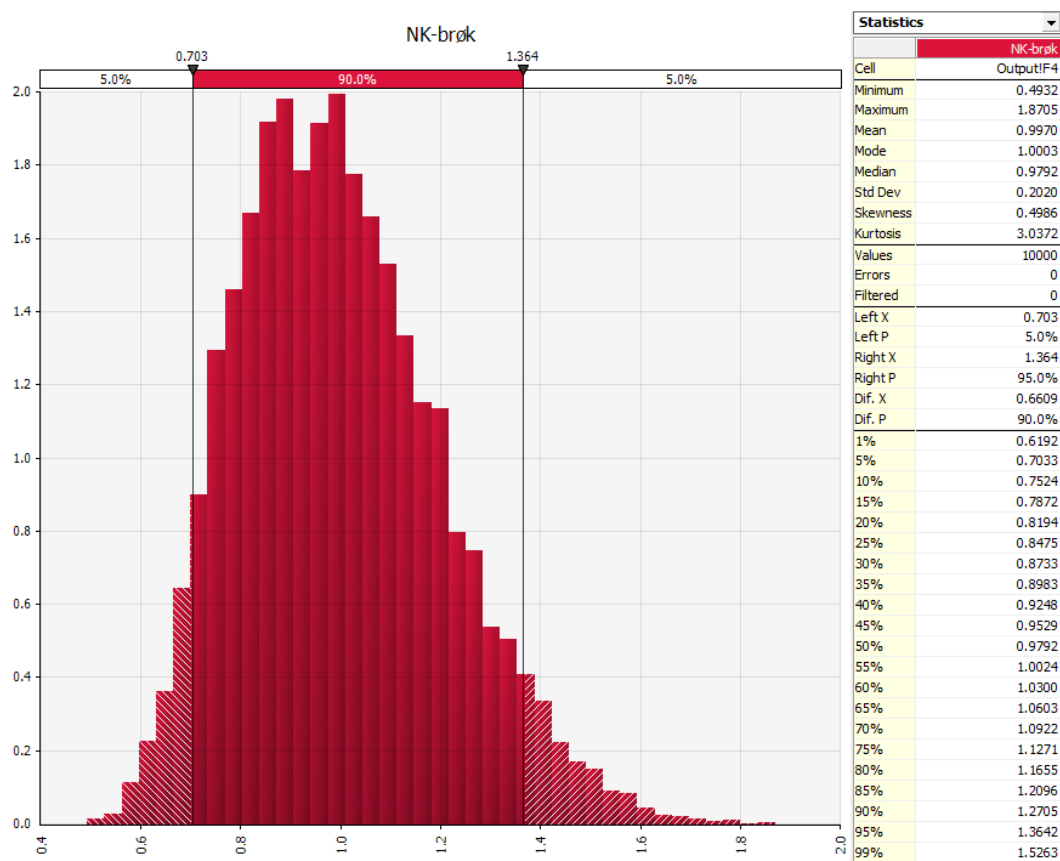
¹⁰ Det ble kjørt to ekstra simuleringer av nettonytten, for å teste hvor robust det simulerte resultatet er, med 10.000 simuleringer. Disse testen ga omtrent nøyaktig samme resultat – gjennomsnittet ble liggende rundt minus 165.000 og minus 166.000. Medianen ble også liggende på omtrent akkurat samme nivå, dvs. ca -110.000, og det samme gjelder for de øvrige percentilene i fordelingene.



Figur 6: Tornadograf – effekt av input(intervall) på den simulerte nettonytten – basert på 10.000 «trekninger» fra inputintervall – triangulære inputfordelinger.

Som figur 6 viser er det tiltakskostnaden som fullstendig dominerer effekten på nettonytteestimatet. Med «høy» tiltakskostnad (opp mot 160 mill. kr.) så vil nettonytten bringes ned henimot minus 1,8 mill. (alt annet likt). Vice versa med «lav» tiltakskostnad (ned mot 70 mill.) – da vil nettonytten bringes opp mot 1,2 mill. kr. Når det gjelder input som påvirker nytteestimatet, så vil de som har sterkest påvirkning kunne svinge nettonytten opp-ned ca. 1 mill. kr. Forutsetningen om hvor stor økningen er i andelen katastrofale og store ulykker ved Tromsø flyplass Langnes pga innsnevret sikkerhetsområde i sørenden, vil ha betydelig effekt på nytteestimatet, og dermed nettonytten. For øvrig er det forutsetningen om stengetidsomfanget pga RE-ulykker som har størst effekt på nytte- og nettonytteestimat.

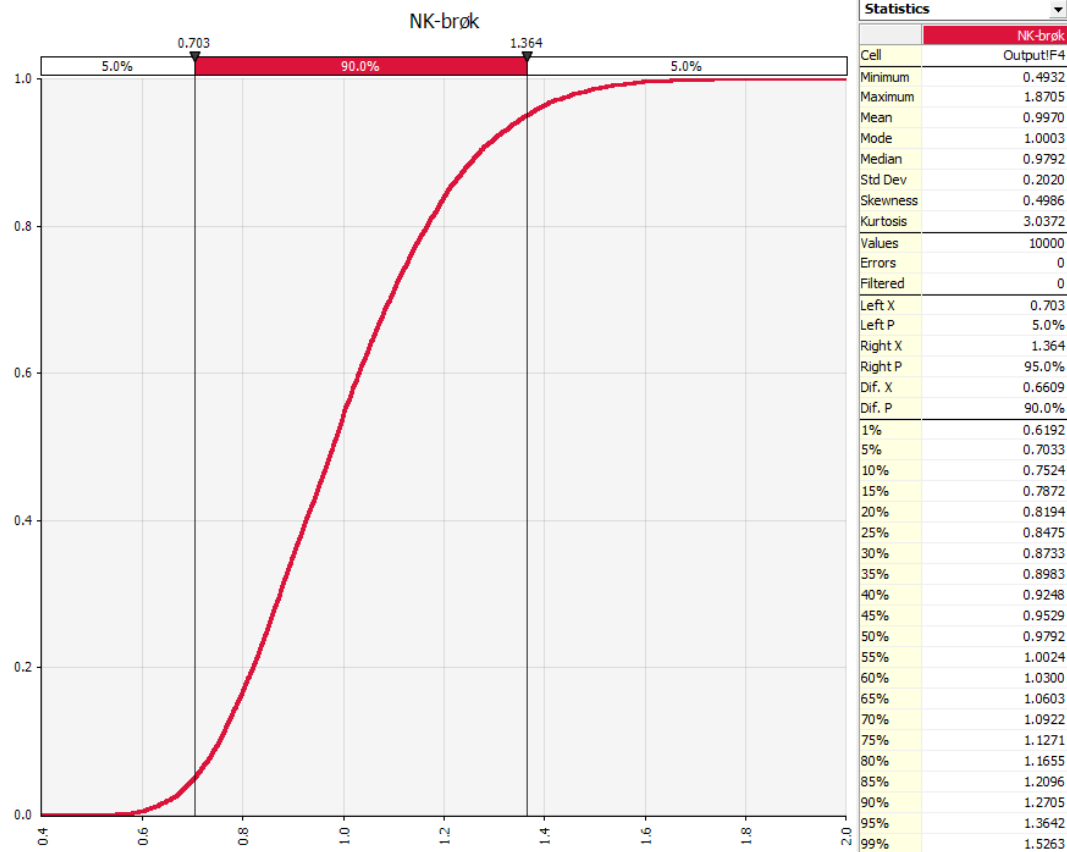
Det ble kjørt separat simulering for nyttekostnadsbrøken (NK-brøken). Figur 7 viser simuleringsresultatene for NK-brøken.



Figur 7: Histogram – simulerte NK-brøkestimater basert på 10.000 «trekninger» fra inputintervall – triangulære inputfordelinger. Øverste del av kolonnen til høyre gir simulert min og maks, samt gj.snitt, typetall og median, samt øvrige sannsynlighetsfordelingsmomenter. De to nederste delene av høyrekolonnen oppgir nettoytten på de ulike percentilene i fordelinga.

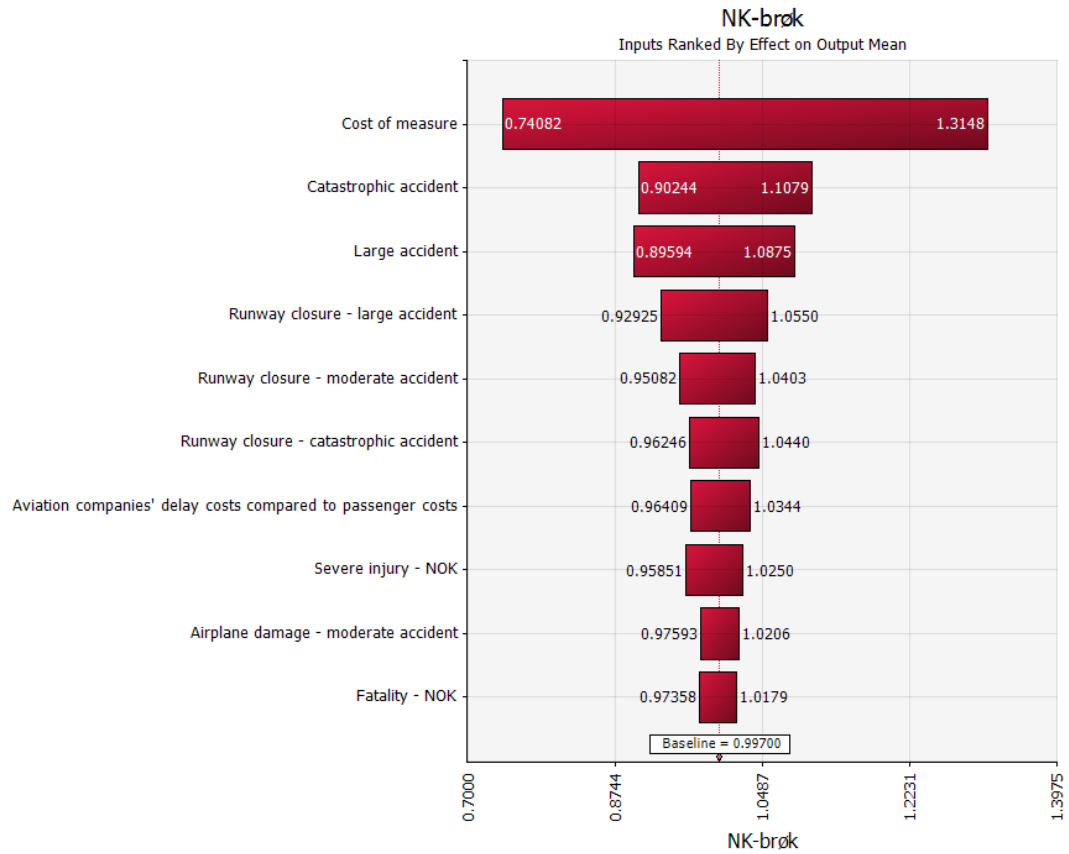
Gjennomsnittet i NK-brøkhistogrammet er på ca. 1 (som altså er litt lavere enn de 1,05 fra den «deterministiske» analysen). Den gjennomsnittlige simulerte NK-brøken ligger altså svært nær 1, selv om den gjennomsnittlige simulerte nettoytten blir betydelig lavere enn 0. Medianen er så vidt litt lavere enn gjennomsnittet. Dette er et robust simuleringsresultat, dvs. nye simuleringer gir samme forhold.¹¹ 90 % av den simulerte sannsynlighetsfordelinga for NK-brøken ligger mellom ca 0,7 og 1,4. Dette siste er presisert i en «S-kurve»-figur for NK-brøken (figur 8).

¹¹ I begge de to ekstra simuleringene av NK-brøken, ble estimatet det samme – svært nær 1 (mellom 0,997 og 0,998). Medianen ble igjen litt lavere enn gjennomsnittet (snaut 0,98). Det at NK-brøksimuleringa gir «bedre» gjennomsnittsestimat enn gjennomsnittsnettoytten kan muligens forklares med tallenes størrelse, der altså de simulerte nettoyttestallene varierer fra store minustall til store plusstall, mens de simulerte NK-brøktallene varierer rundt 1. De lave estimatene får større relativ vekt i det gjennomsnittlige nettoytteestimatet.



Figur 8: S-kurve – kumulativ fordeling av simulerte NK-brøkestimater basert på 10.000 «trekninger» fra inputintervall – triangulære inputfordelinger. (Kolonnen til høyre inneholder eksakt samme informasjon som i figur 7.)

Figur 9 viser hvilke input(intervaller) som har størst effekt på NK-brøkestimatet. Det er akkurat samme bilde for NK-brøken som for nettonytten – tiltakskostnaden er det som dominerer effekten på estimatet. Videre er det forutsetningen om hvor stor økningen er i andelen katastrofale og store ulykker ved Langnes pga innsnevret sikkerhetsområde i sørenden, som vil ha betydelig effekt på NK-brøkestimatet.



Figur 9: Tornadograf – effekt av input(intervall) på den simulerte NK-brøken – basert på 10.000 «trekninger» fra inputintervall – triangulære inputfordelinger.

5 Oppsummering

5.1 Nytte-kostnadsanalyse av konsekvensreducerende tiltak med betydelig usikkerhet om estimert endring

Nytte-kostnadsanalyser gjennomføres for prosjekter og tiltak som gir opphav til ei eller anna endring. Det vil alltid være usikkerhet rundt slike estimerte framtidige endringer. I noen analysesituasjoner vil man ha god kjennskap til utgangssituasjonen, de ulike fysiske og monetære størrelsene uten tiltak. I vårt tilfelle med Tromsø lufthavn Langnes og et innsnevret sikkerhetsområde i sørenden av rullebanen, så har vi usikre estimater for flere av de fysiske og monetære størrelsene som gjelder i utgangssituasjonen. Den beregnede frekvensen av rullebaneutforkjøringsulykker (RE-ulykker) ved landing med fly tyngre enn 5,7 tonn på norske flyplasser er basert på kun seks tilfeller av 6,2 mill. bevegelser over en femtenårsperiode. Videre er det betydelig usikkerhet tilknyttet konsekvensen, det skadeomfanget ulike typer RE-ulykker eller RE-hendelser medfører.

Det finnes en del internasjonal litteratur om rullebaneutforkjøring, og vi har tatt utgangspunkt i denne for å få estimert den forventede andelen stopppunkter i ulike deler av sikkerhetsområdet for fly som enten har hatt utforkjøring ved landing eller avgang, eller har landet før de har nådd rullebanen (van Es et al., 2014). Da stoppunkt i økende longitudinell distanse fra rullebaneenden og stoppunkt i økende lateral distanse fra rullebanesenterlinja kan regnes som uavhengige av hverandre, så er stoppunkt i en bestemt longitudinell og lateral distanse simpelthen gitt som produktet av disse to. Med dette har vi kunnet estimere den forventede andelen stoppunkt i de «manglende ytre rektanglene» ved Langnes, samt i de to trekantede feltene som ligger lenger ut fra rullebaneenden enn disse to «manglende ytre rektanglene». Det ble estimert at ca. 10-15 % av stoppunktene ved RE vil kunne ligge i disse ytre områdene, en litt høyere andel enn 15 % for RE ved avgang, og en litt lavere andel enn 10 % ved for tidlig landing. Dette er estimater som følger av en såkalt overlevelsesfunksjon, med parametere som er estimert slik at funksjonen har god tilpasning til observasjonene – de registrerte stoppunktene i et stort datamateriale fra europeiske flyplasser. Det er ikke her vurdert eventuelle atferdstilpasninger – at de som flyr til og fra Langnes er kjent med det innsnevrede feltet i sørenden av rullebanen, og at de dermed kunne tenkes å gjøre seg mer flid med å holde seg nær senterlinja ved avgang/landing i Tromsø enn det de gjør når sikkerhetsområdet er standard 300×150 meter.

Vi vil regne konsekvensfordelinga og de ulike (potensielle) skadekostnadene som noe mer usikre enn de estimerte stoppunktene. Dette gjelder fordelinga mellom ulike RE-hendelser og RE-ulykker ved både norske lufthavner generelt og ved Tromsø lufthavn Langnes, samt de estimerte potensielle skadekostnadene for en gitt hendelse (Biggs & Hamilton, 2008). Selve skadekostnadsestimatene for ulike RE-ulykker er i stor grad basert på internasjonal litteratur (van Eekeren, 2016; NLR, 2001), og fordelinga mellom ulykker og hendelser (25 % - 75 %) synes også rimelig robust, men selve spesifikasjonen av skadegrader innenfor ulykketekategorien er opplagt usikker. Likevel, at en får ei vridning oppover i forventet skadeomfang ved Langnes

er for så vidt styrt av den estimerte andelen stoppunkter utenfor det som i dag er et 90 meter bredt (og 60 meter langt) sikkerhetsområde (over fylkesvegen). Noe som ikke har vært vurdert er hvorvidt skadegradsfordelinga ved Langnes kunne forventes å være ulik mellom RE ved landing, RE ved avgang, og for tidlig landing. Dette kunne f.eks. baseres på en antakelse om at det innsnevrede feltet ville kunne nås med større fart ved utforkjøring ved avgang mot sør eller for tidlig landing mot nord, sammenliknet med utforkjøring ved landing mot sør. Dette har vi altså sett bort ifra i vår analyse.

5.2 Følsomhetsanalysen indikerer at mer presisering av tiltakskostnaden er viktigst for nettonytteestimatet

Pga. usikre estimater og manglende kjennskap til ulike bakenforliggende inputfordelinger til nytte-kostnadsanalysen av utvidelsestiltaket for sikkerhetsområdet (til standard 300×150 meter) i sørenden av Langnes, så har vi inkludert en relativt omfattende følsomhetsanalyse. Endringer i ulike input til det som er forventet skadeomfang av en hendelse (rullebaneutforkjøring landing/avgang eller for tidlig landing), ved (større) norske flyplasser generelt og ved Langnes, vil påvirke den estimerte nytten av tiltaket. De fleste hendelsene medfører relativt lave skadekostnader – ulykkene av katastrofalt omfang er beregnet til å skje ca. hvert 478. år ved Langnes slik situasjonen er i dag, og ca. hvert 1016. år etter gjennomført tiltak, gitt samme antall flybevegelser. I hovedestimatet er den årlige forventede konsekvensen, skadeomfanget, ved Tromsø lufthavn Langnes estimert til ca. 10 mill. kr., mens det er estimert til ca. 5 mill. kr. ved andre norske flyplasser. Dette gir et årlig nyttestimat av tiltaket på ca. 5 mill. kr. Endringer i noen enkeltinput, som forutsetningen om hvor stor økningen er i andelen katastrofale og store ulykker ved Langnes pga innsnevret sikkerhetsområde i sørenden, vil alene kunne bevege (netto)nytteestimatet ca 1 mill. kr opp og ned. Hvis flere inputverdier går mot de lavere anslagene, f.eks. flyplasstengetida etter ulykker, så kan nettonytten ende opp godt under null (når tiltakskostnaden holdes fast lik 100 mill. kr.). Men, det er altså forutsetningen om størrelsen på tiltakskostnaden som har størst effekt på nettonytte- og NK-brøkestimatene.

Usikkerhetsintervallet for tiltakskostnaden er bevisst satt slik at det er høyere sannsynlighet for at denne er underestimert enn at den er overestimert (Flyvbjerg et al., 2003). Både dette og selve intervallstørrelsen gjør at det blir denne inputverdien som primært styrer utfallet av nytte-kostnadsanalysen. Det er dermed tiltakskostnaden for å utvide sikkerhetsområde ved Tromsø lufthavn Langnes som bør tallfestes sikrere, for å innsnevre det resultatet som nå foreligger: Forventet årlig nettonytte basert på gjennomsnitt av simuleringer omtrent lik minus 165.000 kr, mens den «deterministiske» analysen basert på «beste» punktestimat ga ca. pluss 225.000 kr i årlig nettonytte (tabell 14). 90 % konfidensintervall fra de simulerte estimatene blir omlag {-2 mill., 1,5 mill.}. Den gjennomsnittlige NK-brøken basert på simuleringene er så vidt under 1, mens den «deterministiske» analysen ga et estimat på ca. 1,05. Fra simuleringene fikk vi et 90 % konfidensintervall for NK-brøken lik ca {0,7, 1,4}.

Tabell 14 oppsummerer de deterministiske og simulerte beregningene med avrundede tall.

Tabell 14: Nettonytteestimat for tiltak (utvidelse av sikkerhetsområdet ved Tromsø lufthavn Langnes) og NK-brøk – deterministisk og simulert (avrundede tall).

	Nytte	Tiltakskostnad	Nettonytte	NK-brøk
Deterministisk (hovedestimat)	5 080 000	4 860 000	220 000	1,05
Simulert (følsomhetsanalyse)			-170 000	1

Som nevnt under avsnitt 4.5, så fikk vi omtrent nøyaktig samme simuleringsresultat med nye 10.000 simuleringer, dvs. en gjennomsnittlig nettonytte i underkant av minus 170.000 og en NK-brøk svært nær 1. Som påpekt, så kan talltypene i seg selv muligens forklare dette, ved at NK-brøkene nettopp er brøker som i vårt tilfelle ligger nær 1, mens nettonyttetallene varierer fra store minustall til store plusstall. Vi understreker på nytt at estimatene er usikre pga. usikre inputdata.

6 Referanser

- Akhtar, J., Bjørnskau, T. & Veisten, K. 2010. "Assessing security measures reducing terrorist risk: inverse ex post cost-benefit and cost-effectiveness analyses of Norwegian airports and seaports." *Journal of Transportation Security*, 3(3): 179-195.
- Luftfartstilsynet. 2013. "Tromsø lufthavn, Langnes - endrede godkjenningvilkår - klage på vedtak." Dok 11/03655-34, Luftfartstilsynet, Bodø.
- Bertelsen, D. 2013. "Skredmodulen i EFFEKT." Presentert ved Teknologidagene 2013 – Statens vegvesen. SINTEF Transportforskning, SINTEF, Trondheim.
- Biggs, D.C. & Hamilton, G.B. 2008. "Risk and benefit-cost analyses of procedures for accounting for wet runway on landing." Transport Canada Publication No. TP 14842E, Transportation Development Centre (TDC), Montreal, QC.
- Bråthen, S., Husdal, J. & Rekdal, J. 2008. "Samfunnsøkonomisk verdi av rassikring. Noen beregninger knyttet til verdi av å unngå stengte veier." Rapport 0801, Møreforskning Molde AS, Molde.
- Carlsson, F., Johansson-Stenman, O. & Martinsson, P. 2004. "Is transport safety more valuable in the air?" *Journal of Risk and Uncertainty*, 28(2): 147-163.
- Drøpping, M. & Hokstad, P. 2007. "Runway strip width and lateral veer-off risk at Norwegian runways." SINTEF Report No. STF50 F06120, SINTEF, Trondheim.
- Eddowes, M., Hancox, J. & MacInnes, A. 2001. "Final report on the risk analysis in support of aerodrome design rules." Report No. AEAT/RAIR/RD02325/R/002, Issue 1, AEA Technology Inc., Carlsbad, CA.
- Flyvbjerg, B., Skamris Holm, M.K. & Buhl, S.L. 2003. "How common and how large are cost overruns in transport infrastructure projects?" *Transport Reviews*, 23(1): 71-88.
- Hall, J., Ayres, M. Jr., Wong, D., Appleyard, A., Eddowes, M., Shirazi, H., Speir, R., Pitfield, D., Caves, R., Selezneva, O. & Puzin, T. 2008. "Analysis of aircraft overruns and undershoots for runway safety areas." ACRP Report 3, Airport Cooperative Research Program (ACRP), Transportation Research Board (TRB), Washington, DC.
- Hanley, N., Shogren, J.F. & White, B. 1997. *Environmental Economics in Theory and Practice*. MacMillan, New York.
- Luftfartstilsynet. 2013. "Tromsø lufthavn Langnes." Presentasjon fra møte med Avinor 16.08.13, Luftfartstilsynet, Bodø.
- Lundberg, M., Jenpanitsub, A. & Pyddoke, R. 2011. "Cost overruns in Swedish transport projects." CTS Working Paper No. 2011:11, Centrum för transportstudier (CTS), Kungliga Tekniska Högskolan (KTH), Stockholm.
- Madslie, A., Steinsland, C. & Maqsood, T. 2011. "Grunnprognoser for persontransport 2010-2060." TØI Rapport 1122, Transportøkonomisk institutt (TØI), Oslo.

- Minken, H. & Samstad, H. 2005. "Nytte-kostnadsanalyser i transportsektoren: rammeverk for beregningene." TØI Rapport 798, Transportøkonomisk institutt (TØI), Oslo.
- Mishan, E.J. 1988. *Cost-Benefit Analysis: an Informal Introduction*. 4th ed., Unwin-Hyman, London.
- Moore, T. & Pozdena, R. 2004. "Framework for an economic evaluation of transportation investments." In: Bekiaris, E. & Nakanishi, Y.J. (eds.) *Economic Impacts of Intelligent Transportation Systems: Innovations and Case Studies*. Research in Transportation Economics, Vol. 8, Elsevier, Amsterdam.
- NLR. 2001. "Aviation safety targets for effective regulation." Consolidated Final Report, Aviation Safety Targets for Effective Regulation (ASTER), Project funded by the European Commission, DG VII, under the 5th Framework Programme. Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR), Amsterdam..
- Odeck, J. 2004. "Cost overruns in road construction—what are their sizes and determinants? Transport Policy, 11(1): 43–53..
- Statens vegvesen. 2014. "Håndbok V712: Konsekvensanalyser." Statens vegvesen – Vegdirektoratet (VD), Oslo.
- Trumbull, W.N. 1990. "Who has standing in cost-benefit analysis?" *Journal of Policy Analysis and Management*, 9: 201-218.
- van Eekeren, J.N.M. 2016. "Estimated cost-benefit analysis of runway severity reduction based on actual arrestments." 20 January 2016, Safe-Runway GmbH, Nendaz.
- van Es, G.W.H., Moek, G., Smeltink, J., Post, H. & Piers, R. 2014. "Study on models and methodology for safety assessment of runway end safety areas (RESA)." Final Report EASA_REP_RESEA_2011_12, 30 July 2014, Ecorys, Rotterdam.
- Varian, H.R. 1992. *Microeconomic Analysis*. 3rd ed., Norton & Company Inc., New York.
- Veisten, K., Sælensminde, K., Alvær, K., Bjørnskau, T., Elvik, R., Schistad, T. & Ytterstad, B. 2007. "Total costs of bicycle injuries in Norway: correcting injury figures and indicating data needs." *Accident Analysis and Prevention*, 39(6): 1162-1169.
- Veisten, K., Flügel, S., Rizzi, L.I., Ortúzar, J. de D. & Elvik, R. 2013. "Valuing casualty risk reductions from estimated baseline risk." *Research in Transportation Economics*, 43: 50-61.

Transportøkonomisk institutt (TØI)

Stiftelsen Norsk senter for samferdselsforskning

TØI er et anvendt forskningsinstitutt, som mottar basisbevilgning fra Norges forskningsråd og gjennomfører forsknings- og utredningsoppdrag for næringsliv og offentlige etater. TØI ble opprettet i 1964 og er organisert som uavhengig stiftelse.

TØI utvikler og formidler kunnskap om samferdsel med vitenskapelig kvalitet og praktisk anvendelse. Instituttet har et tverrfaglig miljø med rundt 70 høyt spesialiserte forskere.

Instituttet utgir tidsskriftet Samferdsel med 10 nummer i året og driver også forskningsformidling gjennom TØI-rapporter, artikler i vitenskapelige tidsskrifter, samt innlegg og intervjuer i media. TØI-rapportene er gratis tilgjengelige på instituttets hjemmeside www.toi.no.

TØI er partner i CIENS Forskningssenter for miljø og samfunn, lokalisert i Forskningsparken nær Universitetet i Oslo (se www.ciens.no). Instituttet deltar aktivt i internasjonalt forsknings-samarbeid, med særlig vekt på EUs rammeprogrammer.

TØI dekker alle transportmidler og temaområder innen samferdsel, inkludert trafiksikkerhet, kollektivtransport, klima og miljø, reiseliv, reisevaner og reiseetterspørsel, arealplanlegging, offentlige beslutningsprosesser, næringslivets transporter og generell transportøkonomi.

Transportøkonomisk institutt krever opphavsrett til egne arbeider og legger vekt på å opptre uavhengig av oppdragsgiverne i alle faglige analyser og vurderinger.

Besøks- og postadresse:
Transportøkonomisk institutt
Gaustadalléen 21
NO-0349 Oslo

22 57 38 00
toi@toi.no
www.toi.no