



Rapport 2018/31 | For Statnett



Økonomisk analyse av HILP-hendelser

Michael Hoel og Haakon Vennemo

Dokumentdetaljer

Tittel	Økonomisk analyse av HILP-hendelser
Rapportnummer	2018/31
ISBN	978-82-8126-384-0
Forfattere	Michael Hoel og Haakon Vennemo
Prosjektleder	Haakon Vennemo
Kvalitetssikrer	John Magne Skjelvik
Oppdragsgiver	Statnett
Dato for ferdigstilling	18. mars 2019
Tilgjengelighet	Offentlig
Nøkkelord	HILP, metode for samfunnsøkonomisk analyse, usikkerhet, risiko

Om Vista Analyse

Vista Analyse AS er et samfunnsfaglig analyseselskap med hovedvekt på økonomisk forskning, utredning, evaluering og rådgivning. Vi utfører oppdrag med høy faglig kvalitet, uavhengighet og integritet. Våre sentrale temaområder omfatter klima, energi, samferdsel, næringsutvikling, byutvikling og velferd.

Våre medarbeidere har meget høy akademisk kompetanse og bred erfaring innenfor konsulentvirksomhet. Ved behov benytter vi et velutviklet nettverk med selskaper og ressurspersoner nasjonalt og internasjonalt. Selskapet er i sin helhet eiet av medarbeiderne.

Forord

Rapporten Økonomisk analyse av HILP-hendelser inngår i FoU-prosjektet Mot en bedre forståelse av kostnad og ulempe av strømprudd, som Vista Analyse utfører for Statnett. Rolf Korneliussen er Statnetts kontaktperson. Vi takker ham og andre ressurspersoner i Statnett for gode diskusjoner i prosjektet.

18. mars 2019

Haakon Vennemo

Partner

Vista Analyse AS

Innhold

Sammendrag og konklusjoner	7
1 Hvor alvorlig er et stort strømbrydd?.....	10
2 Ingredienser i en analyse	12
3 Nytte-kostnadsanalyse	14
3.1 Forventet nytte og risikoaversjon	14
3.2 Kalkulasjonsrente og systematisk risiko	17
4 Sannsynlighet for strømbrydd er ukjent	19
4.1 Subjektive sannsynligheter	19
4.2 Alternativer til subjektive sannsynligheter	20
Referanser	27
Tabeller	
Tabell S.1: Hva ulike beslutningsregler sier om tiltak og ikke-tiltak mot strømbrydd	9
Tabell 2.1: Konsekvenser (inntekt minus kostnader) av valg (Tiltak og Ikke-tiltak) og tilstand..	12
Tabell 3.1: Betydningen av risikoaversjon. Samfunnsøkonomisk analyse; $\gamma=3.300$ mrd. kroner.	15
Tabell 3.2: Betydningen av risikoaversjon. Isolert analyse for Statnett; $\gamma=14$ mrd. kroner.	16
Tabell 4.1: Uavhengighetsaksiomet	20
Tabell 4.2: Hva ulike beslutningsregler sier om tiltak og ikke-tiltak i beslutningssituasjonen fra Tabell 2.1	21

Sammendrag og konklusjoner

Begrepet High Impact, Low Probability (HILP) brukes om hendelser med store konsekvenser, men med lav sannsynlighet for å inntreffe. Vi spør om en bør gjennomføre tiltak mot det som defineres som HILP-hendelser i kraftsektoren selv om forventet gevinst av tiltaket er lavere enn tiltakskostnaden. Vårt generelle svar på dette er 'nei'. Det henger sammen med at de fleste HILP-hendelser i kraftsektoren isolert, ikke kan kalles HILP-hendelser for samfunnet samlet sett, og gjelder dersom forventet gevinst av tiltaket lar seg beregne. Dersom man ikke kan beregne forventet gevinst av et tiltak, kan man heller ikke sammenlikne forventet gevinst med (forventet) kostnad. I denne situasjonen finnes ulike andre beslutningskriterier. Noen av dem er egnet for å vurdere en HILP-hendelse i kraftsektoren, andre ikke.

Skal HILP-hendelser i kraftsystemet behandles annerledes enn andre hendelser?

Et eksempel på en HILP-hendelse fra kraftsektoren kan være at en million mennesker mister strømmen i et døgn. Det er svært lite sannsynlig at en million mennesker mister strømmen i et døgn, slik at risikoen gitt ved sannsynlighet gange konsekvens er moderat. Men dersom det skjer, er konsekvensen betydelig: Industriproduksjon stopper opp, kjøpesentre må lukke, internett slukkes hvis det ikke finnes nødaggregat, barn må holdes hjemme fra uoppvarmede barnehager og skolebygg, innbrudd og kriminalitet kan øke, og i enkelte tilfeller vil liv og helse bli truet. Hvis en million mennesker mister strømmen i et døgn, vil saken ventelig toppe nyhetssendingene i flere dager.

Spørsmålet vi stiller i denne rapporten, er om alvoret i et strømbrydd av denne størrelsen er så stort at samfunnet bør bruke mer ressurser på å forhindre det enn man normalt vil gjøre. Vi antar da at man normalt bør gjennomføre tiltak dersom forventet gevinst (sannsynlighet gange konsekvens) er større enn forventet kostnad.

Hvis vi kan anslå sannsynligheten for alvorlige strømbrydd skal de fleste HILP-hendelser i kraftsystemet behandles som normale hendelser

For å besvare dette spørsmålet, viser det seg viktig å ta stilling til hva man kan anta eller vite om sannsynligheten for alvorlige strømbrydd før og etter tiltak. I tillegg må spørsmålet ses i relasjon til Statnetts mål. Statnetts vedtekter sier at *Foretaket skal ha ansvar for en samfunnsøkonomisk rasjonell drift og utvikling av transmisjonsnettet*, og prinsippet om å styre etter samfunnsøkonomisk lønnsomhet er senest slått fast bla. i Meld St. 25 2015-16 Kraft til endring. Det må altså anlegges et samfunnsøkonomisk perspektiv der målsettingen er å gjøre Norges velferd størst mulig.

Dersom Statnett vet sannsynligheten før og etter tiltak, basert på erfaringstall eller liknende, bør foretaket normalt ikke gjennomføre tiltak som koster mer enn forventet gevinst. Når man tar hensyn til at betalingsviljen for å unngå strømbrydd er positivt korrelert med nasjonalinntekten, er det kun tiltak som er ekte mindre enn forventet gevinst som bør gjennomføres. Et strømbrydd som rammer en million mennesker er en meget alvorlig hendelse for sentralnettet. Men for realistiske pengeverdier kan ikke tapet man lider ved et slikt strømbrydd kalles katastrofalt sett i relasjon til nasjonalinntekten i landet som helhet.

Samme konklusjon gjelder for større strømbrydd, for eksempel at to millioner mennesker mister strømmen i et døgn, eller en million i to døgn, eller 100 000 i ti døgn, og kombinasjoner av dette. Likevel kan

det tenkes enda større strømbrudd som virkelig har katastrofal nasjonaløkonomisk konsekvens. Dersom det finnes tiltak som kan redusere sannsynligheten for slike strømbrudd tilstrekkelig, noe som innebærer at sannsynligheten må være av en viss størrelse før tiltak, vil det være riktig å gjennomføre slike tiltak selv om kostnaden er større enn forventet gevinst.

Disse konklusjonene holder selv om vi ikke vet sannsynlighetene, bare vi tør å anslå dem.

Til resonnementet kan det innvendes at dersom det skulle skje at et strømbrudd rammer en million mennesker i et døgn eller mer, så kan konsekvensene for Statnett og foretakets ledelse bli store. Risikoen for Statnett bør likevel ikke påvirke beslutningene med mindre de forteller at konsekvensene for nasjonen er større enn man før har trodd. Det følger av Statnetts mandat om å bidra til samfunnsøkonomisk rasjonell drift av transmisjonsnett. Skulle det likevel være slik at målet er å bidra til størst mulig og sikrest mulig inntekt for Statnett isolert sett, så er det rasjonelt å investere til dels langt utover forventet gevinst for å unngå HILP-hendelser i kraftsystemet.

Hvis vi ikke kan anslå sannsynligheten for alvorlige strømbrudd så kommer andre beslutningskriterier i betraktning

Dersom vi ikke kan eller tør å anslå sannsynligheten for strømbrudd før og etter tiltak, kommer det andre beslutningsregler i betraktning. Det er naturlig, siden det i den situasjonen ikke er mulig å sammenlikne forventet nytte med forventet kostnad. Formelt sett har ikke størrelsen på konsekvensen noe å si for dette, å gå over til en annen beslutningsregel er kun knyttet til om man kjenner eller vil anslå sannsynlighetene. Men i praktiske situasjoner kan det hende man er mer forsiktig med å anslå sannsynligheter dersom konsekvensen er stor.

Ulike beslutningsregler er knyttet til hva man tør anta om sannsynligheter og konsekvenser, for eksempel hvorvidt man tør anta at de befinner seg innenfor et kjent intervall eller ikke. Et par av beslutningsreglene, blant annet den kjente maxmin-regelen, taler i favør av at man ikke skal foreta seg noe mot et stort (eller lite) strømbrudd under noen omstendighet! Dette er urimelig, og gjør regelen i praksis uegnet for denne problemstillingen. Et annet kriterium, minmax-regret, innebærer at man skal foreta seg tiltak under svært vide betingelser, og er heller ikke veldig egnet. Beslutningsregler der det antas noe om sannsynlighetene uten at de punkttestimeres, kan gi ulike utfall avhengig av hva som antas.

Deler av faglitteraturen om beslutningsregler under ukjente sannsynligheter og konsekvenser bruker avansert matematikk og er ikke umiddelbart tilgjengelig for alle. Vi bruker en hel del plass i rapporten på å gå gjennom hva ulike beslutningsregler betyr for tiltak mot en HILP-hendelse i kraftsystemet. Resultatene er gjengitt i Tabell S.1.

Tabell S.1: Hva ulike beslutningsregler sier om tiltak og ikke-tiltak mot strømbrudd

Beslutningsregel	Regel	Kommentar
Forventet gevinst	Tiltak dersom forventet gevinst (pT) større enn kostnad (k)	Standard nytte-kostnadsanalyse
Forventet nytte, objektive sannsynligheter og nasjonalinntekt som referanse	I praksis tiltak dersom $pT > k$	Formelt forventet nytte av tiltaket er positivt, men med nasjonalinntekt som referanse blir dette svært nær $pT > k$
Forventet nytte, objektive sannsynligheter og Statnetts portefølje som referanse	Tiltak selv om $pT < k$.	Størrelsen på den akseptable kostnaden k avhenger av restrisiko og størrelsen på risikoaversjon
Forventet nytte, subjektive sannsynligheter	Som objektive sannsynligheter	Gjelder uavhengig av hvordan subjektive sannsynligheter dannes
Maxmin-regelen	Ikke tiltak	Gjelder uansett så lenge restsannsynlighet for strømbrudd er større enn null
α -maxmin regelen	Ikke tiltak	Gjelder uansett så lenge restsannsynligheten større enn null
Minmax-regret	Tiltak	Gjelder dersom $k < T/2$, som er det relevante
Maxmin forventet nytte	Som objektive sannsynligheter, men med mest pessimistiske anslag på sannsynligheter	Størrelsen på den akseptable kostnaden k bestemt av det mest pessimistiske anslag for strømbrudd
α -maxmin forventet nytte	Ubestemt	Avhenger av vekter som gis til mest optimistiske og mest pessimistiske anslag på sannsynligheter
Φ -forventet nytte	Tiltak selv om $pT < k$	Gjelder for konkav Φ . Størrelsen på den akseptable kostnaden k bestemt av egenskaper til Φ
Forsiktighetsprinsippet	Tiltak selv om $pT < k$	Ingen ytterligere anvisninger
Ufullstendig beslutningsregel	Ubestemt	Gir entydig anbefaling for noen verdier av k

Kilde: Vista Analyse. Note: T = tapet hvis et strømbrudd inntreffer. p = sannsynlighetsreduksjon som følge av tiltak, k = kostnad av tiltak. pT blir da forventet gevinst av tiltaket.

1 Hvor alvorlig er et stort strømbrudd?

Et strømbrudd som er stort i omfang og/eller tid er opplagt en alvorlig (high impact) hendelse. En kan likevel spørre om et slikt strømbrudd er så alvorlig at det kan kalles en «katastrofe»; og spesielt om alvorlighetsgraden tilsier at standard økonomiske analyser ikke uten videre kan brukes for å analysere slike hendelser.

For å vurdere et alvorlig strømbrudd i et bredere perspektiv skal vi se på et hypotetisk eksempel. De nøyaktige tallene i eksempelet er ikke viktige, men deres størrelsesorden illustrerer poengene.

Anta at et strømbrudd innebærer at 1 million husholdninger mister strøm i ett døgn. Anta videre at hver husholdning i snitt bruker 72kWh i løpet av et døgn. I så fall innebærer et slikt strømbrudd et bortfall av totalt 72 GWh (3000 MW bortfall av strøm i ett døgn).

Eksempelet illustrer en svært stor og alvorlig hendelse. Men bør en omtale en slik hendelse som en katastrofe¹? For å svare på dette gir vi et grovt anslag på hva hendelsen innebærer i kroner. Det virker rimelig at de aller fleste husholdninger vil være fornøyd alt i alt dersom de opplever en slik hendelse og samtidig får en kompensasjon på 10.000 kroner.² I så fall innebærer dette at kostnaden av hendelsen er (maksimalt) 10 milliarder kroner (svarende til 139 kroner per uteblitt kWh). Dette er et stort tap, men er det en katastrofe? For å svare på det skal vi sammenligne med tre andre hendelser som også gir store tap:

1. Ett år med 0,5 pst. negativt avvik fra trend-BNP. Dette gir et tap på mer enn 15 milliarder kroner (Norges BNP i 2017 var ca. 3300 milliarder kroner).
2. Et fall i verdien på oljefondet på 0,25 pst.; dette gir et tap på ca. 21 milliarder kroner.³
3. En nedjustering av fremtidig oljeprisbane med 1 dollar per fat (dvs. mer enn 1 pst.); tapt nåverdi for staten mer enn 40 milliarder kroner (nåverdien av fremtidige inntekter fra salg av olje og gass anslås i Nasjonalbudsjettet 2018 til 3900 milliarder kroner).

Alle disse hendelsene innebærer store tap for Norge, men kan neppe kalles katastrofer. For at en hendelse i kraftsektoren skal konkurrere med disse, må man tenke seg at 1 million mennesker mister strømmen i minst to døgn (gir 20 milliarder i tap, om lag det samme som i sammenlikningseksempel 1 og 2), alternativt at 100 000 mennesker mister strømmen i minst 20 døgn. Men for å fortjene betegnelsen nasjonaløkonomisk katastrofe må hendelsen etter vår vurdering være en god del større enn dette også.

Ett av kjennetegnene på de tre hendelsene over er at tapet for Norge spres forholdsvis jevnt utover i befolkningen. Men med riktig håndtering gjelder dette også for kostnadene ved et strømbrudd. Med en passelig kompensasjon (10 000 kroner per husstand i eksempelet) vil de som rammes direkte være i

¹ Strømbruddet i eksempelet og alvorligere strømbrudd er omtalt som «catastrophic» i Doorman et al. (2006)

² Respondentene i Vista Analyse (2018) sin representative, landsomfattende undersøkelse har til sammenlikning en gjennomsnittlig betalingsvillighet for å unngå 24 timers strømbrudd på 1000 kroner. Faktisk kompensasjon for å unngå et strømbrudd inntil 24 timer var i januar 2018 600 kroner, og 1400 kroner over 24 timer. Dette er tall langt under 10.000 kroner. Samtidig er det i eksempelet sett bort fra at et strømbrudd vil ramme også næringsliv og andre etater.

³ Verdien av oljefondet, per 25. juli 2018, var ca. 8482 milliarder kroner.

samme situasjon som de som ikke rammes direkte. Og alle vil måtte betale for kompensasjonen gjennom for eksempel økt nettleie eller økte skatter. Selv om et stort strømbrudd innebærer store tap, vil disse tapene i hovedsak være av økonomisk karakter, og vil i begrenset grad ha konsekvenser for liv, helse og miljø. Dette skiller en slik hendelse fra en alvorlig ulykke for eksempel i petroleumssektoren, hvor ulykker kan innebære at et større antall liv går tapt. Tapet som sistnevnte hendelser gir kan derfor ikke fordeles jevnt i befolkningen; en kan ikke kompensere en person som har mistet livet.

Selv om eksemplene over i ren økonomisk forstand er sammenlignbare med et alvorlig strømbrudd, er det også forskjeller. Et omfattende strømbrudd er en umiddelbar, konkret og synlig hendelse, noe som ikke er tilfelle i samme grad for de tre hendelsene beskrevet over. Et alvorlig strømbrudd vil derfor trolig bli oppfattet som mer dramatisk av innbyggere og politikere enn hendelsene over. En annen forskjell er tidsaspektet. I hvert fall for de to siste hendelsene beskrevet over vil de økonomiske tapene i hovedsak komme i fremtiden, mens konsekvensene av et alvorlig strømbrudd vil komme umiddelbart.

Hvorvidt slike omstendigheter er viktige nok til å gjøre et omfattende strømbrudd til en HILP-hendelse i nasjonal forstand, vil være gjenstand for diskusjon i hvert tilfelle. En slik diskusjon handler implisitt eller eksplisitt om hvorvidt eventuelle tilleggskostnader i form av umiddelbarhet, konkrethet og synlighet, og eventuelt fordelingsproblematikk, er store nok til å kvalifisere hendelsen til katastrofe. Anta for eksempel at slike kostnader er like store som husholdningenes kompensasjonskostnader. Når husholdningenes nødvendige kompensasjon er 10 000 kroner, så er samfunnets tilleggskostnader like store. Samlede kostnader for et strømbrudd som berører en million mennesker i et døgn blir da 20 milliarder. Det er fortsatt ingen nasjonaløkonomisk katastrofe sammenliknet med de andre hendelsene nevnt over. Noen synes kanskje at å doble husholdningenes nødvendige kompensasjon er for beskjedent. Andre vil hevde at dramatiske hendelser har en tendens til å få større oppmerksomhet i samfunnet vårt enn de egentlig fortjener, og at for mye ressurser har en tendens til å dirigeres mot slike hendelser sammenliknet med de som er like viktige, men mindre synlige og tv-vennlige⁴. Ifølge dette synspunktet bør dramatikktillegget være beskjedent, og det som teller er den nødvendige kompensasjonen til husholdningene.

Til tross for at hendelsene beskrevet over har mange forskjeller fra et alvorlig strømbrudd, er de likevel nyttige for å kunne vurdere et stort strømbrudd i et bredere perspektiv. Det grunnleggende spørsmålet er om tiltak som kan redusere sannsynligheten for et alvorlig strømbrudd bør vurderes etter standard prinsipper (nyttekostnadsanalyser) eller om en i stedet eller i tillegg bør gjøre andre vurderinger og analyser. Ettersom de nevnte hendelsene vanligvis vurderes etter standard prinsipper, kan det argumenteres for at den mindre alvorlige hendelsen «stort strømbrudd» også bør vurderes etter standard prinsipper. Uten å ta stilling til hva som er mest og minst alvorlig, skal vi i de følgende kapitlene vurdere både standard prinsipper og alternative prinsipper som beslutningskriterium.

⁴ Denne typen psykologisk mekanisme er omtalt bla. av Aven (2015), Kahneman (2011) og Taleb (2010)

2 Ingredienser i en analyse

For å kunne gjennomføre en økonomisk analyse av mulige tiltak som kan redusere sannsynligheten for strømbrudd må en først gjennomføre følgende forarbeider (stilistisk fremstilt):

- Kartlegge hendelser som kan føre til et (omfattende) strømbrudd
- Forsøke å finne sannsynlighetene for slike hendelser
- Identifisere tiltak som kan redusere disse sannsynlighetene
- Forsøke å finne ut hvor mye tiltakene vil redusere sannsynlighetene for hendelsene
- Beregne kostnadene av tiltakene
- Beregne kostnadene/ulempene av strømavbrudd

Hvert av kulepunktene kan innebære betydelig arbeid, og det kan spesielt være vanskelig å anslå sannsynligheter og sannsynlighetsreduksjoner. Videre vil det som regel være ulike typer hendelser som kan føre til strømbrudd, og ulike typer tiltak som kan redusere sannsynlighetene for hendelsene, og kanskje også konsekvensene av strømbrudd (f. eks. varighet).

I vår videre analyse ser vi på en svært forenklet situasjon hvor det bare er én type hendelse og ett tiltak. Vi bruker følgende notasjon for ingrediensene i analysen:

- y = inntekt uten tiltak og uten strømbrudd (forklares nærmere senere)
- T = tapet dersom strømbrudd inntreffer (=10 mrd. kroner i numeriske illustrasjoner)
- s = sannsynlighet for strømbrudd uten tiltak
- q = sannsynlighet for strømbrudd med tiltak
- $p = s - q$ = sannsynlighetsreduksjon som følge av tiltak (=0,01 i numeriske illustrasjoner)
- k = kostnad av tiltak ($k < T$)
- K = maksimal kostnad k for at tiltaket bør gjennomføres (følger av analysen)

I praksis vil det være vanskelig å finne tiltak som reduserer sannsynligheten for et så stort strømbrudd med en hel prosentenheter. Vi har med andre ord å gjøre med et usedvanlig effektivt tiltak. Sannsynligheten for et så stort strømbrudd er neppe 1 prosent i utgangspunktet, men viser at tendensene vi peker på i det følgende, er robuste overfor realistiske sannsynligheter for et stort strømbrudd. Merk at tidsdimensjonen må være den samme for alle størrelser. Dersom p er sannsynligheten for at et strømbrudd inntreffer i et enkelt år, må også kostnaden k av tiltaket være en årlig kostnad.

«Ex post»-konsekvensene av ulike beslutninger er illustrert i Tabell 2.1 nedenfor.

Tabell 2.1: Konsekvenser (inntekt minus kostnader) av valg (Tiltak og Ikke-tiltak) og tilstand

	Ingen strømbrudd uansett Sannsynlighet = $1 - p - q$	Strømbrudd bare hvis ikke tiltak Sannsynlighet = p	Strømbrudd uansett tiltak eller ikke Sannsynlighet = q
Tiltak	$y - k$	$y - k$	$y - k - T$
Ikke-tiltak	y	$y - T$	$y - T$

Kilde: Vista Analyse

De to linjene gir de to valgmulighetene beslutningstager har (*tiltak* og *ikke-tiltak*). For hvert valg gir kolonnene de tre mulige tilstandene som kan inntreffe (gitt ved overskriftene). Første kolonne angir nettoinntekt dersom det ikke blir noe strømbrudd (uavhengig av valget *tiltak* eller *ikke-tiltak*). For denne tilstanden gir *tiltak* lavere nettoinntekt ($y-k$) enn *ikke-tiltak* (y), siden en har investert unødig ($k>0$). Det samme er tilfellet for tilstanden gitt ved den tredje kolonnen, siden strømbrudd da vil skje uansett. Inntreffer derimot tilstanden gitt ved den andre kolonnen er inntekten høyest dersom en har valgt *tiltak* (forutsatt $k<T$), siden en da har unngått kostnaden T som en ville fått ved *ikke-tiltak*.

Beslutningsproblemet illustrert med Tabell 2.1 er et typisk eksempel på beslutning under usikkerhet. Dersom en med sikkerhet visste at tilstand (kolonne) 1 eller 3 ville inntreffe, ville det beste valget være *ikke-tiltak*. Og tilsvarende hvis en med sikkerhet visste at tilstand (kolonne) 2 ville inntreffe; da ville det beste valget være *tiltak*. Imidlertid vet ikke beslutningstageren på beslutningstidspunktet hvilken tilstand vil inntreffe, og må derfor treffe en beslutning under usikkerhet om fremtidig tilstand.

Resten av dette notatet vil drøfte dette beslutningsproblemet. Vi vil først anta at sannsynlighetene for de tre tilstandene er kjent (kapittel 3), og deretter drøfte beslutningsproblemet når vi ikke har full kunnskap om sannsynlighetene.

Vi drøfter beslutningsproblemet fra en normativ synsvinkel: Hva bør en rasjonell beslutningstaker gjøre? Av og til kan det hende vi bruker en deskriptiv uttrykksform: Hva vil en rasjonell beslutningstaker gjøre? Det hører til å være rasjonell at man gjør det man bør, slik at vil og bør her blir to uttrykk for den samme, normative synsvinkelen.

Det normative perspektivet innebærer blant annet at dersom en beslutningstaker gjør en annen beslutning enn den normativt beste, og gitt at man aksepterer premisene for den normative konklusjonen, så vil det oppstå en samfunnsøkonomisk kostnad. Kostnaden vil være mer eller mindre stor, avhengig av beslutningen som fattes. Vi gir eksempler senere i dokumentet.

I beslutningsproblemet som blir drøftet er det bare tre mulige tilstander med tilhørende sannsynligheter. I virkeligheten vil det også knytte seg usikkerhet til omfang og kostnader knyttet til strømbrudd, og trolig også til kostnaden av tiltak. Formelt kan dette analyseres ved å øke antall mulige tilstander. En kan også utvide antall tiltak, hvor noen av tiltakene reduserer kostnaden K dersom et strømbrudd inntreffer. Slike utvidelser av analysen ville føre til mer notasjon og bli mindre oversiktlig, men ville ikke gi noe prinsipielt nytt. Vi begrenser oss derfor til det enkle beslutningsproblemet illustrert ved Tabell 2.1.

3 Nytte-kostnadsanalyse

Alminnelig nytte-kostnadsanalyse tilsier at *tiltak* bør velges fremfor *ikke-tiltak* dersom forventet verdi av *tiltak* er større enn forventet verdi av *ikke-tiltak*. Fra Tabell 2.1 er det rett frem å se at dette innebærer at *tiltak* bør velges hvis og bare hvis $k < pT$. Tolkningen er rett frem. Uten tiltak er forventet tap lik $(p+q)T$, men med tiltak er forventet tap lik qT . Differensen pT er gevinsten av tiltaket, som må overstige tiltaks-kostnaden k for at tiltaket skal være lønnsomt.

Merk at beslutningsregelen *tiltak*, hvis og bare hvis $k < pT$, er helt uavhengig av sannsynligheten q for at et strømbrudd uansett inntreffer. Et tiltak vurderes altså like bra (like høy øvre tiltakskostnad $K = pT$) enten vi reduserer strømbruddsrisiko fra 0,01 til 0 eller fra 0,1 til 0,09.

Merk det normative elementet i analysen assosiert med ordene «bør», «vurderes altså like bra» osv.

Analysen over følger fra teorien om forventet nytte kombinert med en forutsetning om risikonøytralitet. Vi skal nå se nærmere på disse to elementene.

3.1 Forventet nytte og risikoaversjon

Teorien om forventet nytte forutsetter at en beslutningstager kan rangere alle mulige konsekvenser av sine handlinger og at disse preferansene tilfredsstillere fire såkalte «aksiomer», dvs grunnleggende forutsetninger som av de fleste vil bli oppfattet som svært rimelige. Men det er ett aksiom som ikke er helt ukontroversielt, nemlig det såkalte «uavhengighetsaksiomet». Mer om dette senere.

La x være en variabel som kan anta de seks ulike verdiene i Tabell 2.1. Hvilken verdi x faktisk blir avhenger av handling (linje 1 eller 2) og tilstand (kolonne 1, 2 eller 3). Gitt aksiomene, sier nytteforventningsteoremet at det finnes en funksjon $u(x)$ med egenskapen $u'(x) > 0$ som er slik at *tiltak* eller *ikke-tiltak* kan vurderes ut fra verdien av forventet nytte $Eu(x)$:

Forventet nytte av *tiltak* (linje 1 i Tabell 2.1):

$$(1) \quad Eu(x) = qu(y-k-T) + (1-q)u(y-k)$$

Forventet nytte av *ikke-tiltak* (linje 2 i Tabell 2.1):

$$(2) \quad Eu(x) = (q+p)u(y-T) + (1-q-p)u(y)$$

Vi velger da *tiltak* hvis og bare hvis den øverste av disse to verdiene for $Eu(x)$ er høyere enn den nederste. Den maksimalt akseptable verdien for tiltakskostnaden, som vi har kalt K , er verdien på k som gjør at $Eu(x)$ blir lik i begge tilfellene.

Dersom u er lineær kan vi skrive $u(x) = u'x + n$ hvor u' og n er konstanter (og $u' > 0$). Dette er tilfellet med risikonøytralitet, og det er rett frem å bekrefte fra ligningene over at $K = pT$.

Med risikoaversjon er $u''(x) < 0$, og en vil foretrekke et sikkert alternativ fremfor et usikkert dersom forventet verdi Ex er den samme i de to tilfellene. Med risikoaversjon vil vi i vår problemstilling finne at $pT < K < T$. Den første ulikheten kan bli reversert hvis q er positiv; se Tabell 3.2 og teksten under.

For å kunne si mer om maksimalkostnaden K må vi vite mer om nyttefunksjonen u , samt størrelsene som inngår i Tabell 2.1. Når det gjelder nyttefunksjonen u , antas det ofte at den har konstant relativ risikoaversjon σ . Da har funksjonen u formen (for $\sigma \neq 1$)

$$(3) \quad u = wx^{1-\sigma}$$

hvor w er en konstant (positiv eller negativ avhengig av om σ er mindre enn eller større enn 1).

Vi kan nå sette (3) inn i (1) og (2) og finne verdien K for k som gjør at verdien fra (1) og (2) blir like. Men først må vi velge en verdi for referanseinntekten y og parameteren for risikoaversjon σ .

Når det gjelder y , er det vanlig å se på risiko relatert til samlet inntekt (eventuelt samlet formue). I en samfunnsøkonomisk analyse kan det være rimelig å bruke samlet BNP for Norge, som i 2017 var 3.300 milliarder kroner. Grunnen til å relatere til samlet BNP for Norge, er at BNP utgjør samlet verdiskaping, dvs. den samlede verdien av alt som produseres landet i løpet av et år.⁵ Når 1 million mennesker aksepterer strømbruddet mot å få en kompensasjon på 10 000 kroner hver, betyr det at 10 milliarder av samfunnets inntekt disponeres til dette formålet. Samfunnet tar av samlet verdiskaping for å betale denne summen.

Vi bruker 3.300 mrd som verdi for y i Tabell 3.1.

I Tabell 3.1 har vi videre sett på moderat risikoaversjon $\sigma = 2$ og sterk risikoaversjon $\sigma = 10$, og har beregnet resultatene for K for ulike verdier av restsannsynligheten q . En risikoaversjon på 2 innebærer at grensenytten stiger med to prosent dersom forbruket synker en prosent. En risikoaversjon på 10 innebærer at grensenytten stiger hele ti prosent dersom forbruket synker en prosent. Dette betraktes som et ytterpunkt, selv om høyere verdier selvsagt er mulig i teorien. Begge er mål på hvor konkav nyttefunksjonen er, som er det som driver risikoaversjon..

Tabell 3.1: Betydningen av risikoaversjon. Samfunnsøkonomisk analyse; $y=3.300$ mrd. kroner.

	$\sigma = 2$	$\sigma = 10$
$q = 0$	100,3	101,5
$q = 0,01$	100,3	101,5
$q = 0,09$	100,3	101,2

Note: $T = 10$ mrd. kroner og $p = 0,01$. Tall for K (= 100 millioner kroner hvis risikonøytralitet)

Kilde: Vista Analyse

Tallene i tabellen leses slik: Dersom risikoaversjonen er 2, så bør nasjonen være villig til å betale inntil 100,3 millioner kroner for å unngå et forventet tap på 100 millioner. Forsikringspremien man bør betale for å unngå strømbruddet, er med andre ord 300 000 kroner større enn den aktuarisk nøytrale forsikring. Dersom risikoaversjonen er 10 så stiger premien til mellom 1,2 og 1,5 millioner kroner.

Det er verdt å påpeke at handlingsregelen «betal inntil 100,3 millioner kroner» gjelder før vi vet om det skjer strømbrudd eller ikke. Dersom vi står overfor et tiltak som er dyrere enn 100,3 millioner, og som vi dermed ikke gjennomfører, så kan vi etterpå kanskje oppleve at det skjer et strømbrudd vi kunne

⁵ Strengt tatt ville det være mer logisk å bruke netto nasjonalprodukt som sammenlikningsgrunnlag. Netto nasjonalprodukt er brutto nasjonalprodukt minus verdien av kapitalslit. Kapitalslitet er vanskelig å beregne, men antas ofte å utgjøre 5-10 prosent av kapitalbasen. Siden Norge er en åpen økonomi som etter hvert har en stor finansformue i utlandet, kunne vi også brukt brutto (eller netto) nasjonalinntekt som sammenlikningsgrunnlag. Hvilken av disse størrelsene man bruker, er ikke viktig i en illustrerende beregning som den vi utfører.

forhindret. Hadde vi visst det til å begynne med, så ville vi selvsagt akseptert det dyrere tiltaket. En annen variant er at vi gjennomfører et tiltak som koster mindre enn 100,3 millioner og forhindrer ingen strømbrudd i tiltakets levetid. Hadde vi visst det til å begynne med, så ville vi ikke gjennomført tiltaket, det er jo bortkastede penger. Se hva vi skrev om dette i kapittel 1.

Man kan også tenke seg en situasjon der vi gjør et tiltak, det skjer et strømbrudd og dette strømbruddet får oss til å tvile på de sannsynlighetene p og q vi har ment å kjenne. Typisk kan strømbruddet få oss til å tenke at p er mindre enn vi trodde, og q større. Da er vi i en situasjon med usikre sannsynligheter, der det kan gjelde andre beslutningsregler enn å maksimere forventet nytte. Vi skriver mer om denne situasjonen i kapittel 4.

Det er klart fra tabellen at innføring av risikoaversjon gir tilnærmet ingen forskjell fra tilfellet med risikoneutralitet, til tross for at vi har antatt et svært stort tap som følge av strømbrudd. Dette tilsier at med BNP for Norges som referanse gir risikoaversjon ikke grunn til å avvike fra standard økonomisk analyse, hvor vurderingen av tiltak baseres på en sammenligning av k og pT . Grunnen er at selv et stort tap (her antatt 10 milliarder kroner) er forholdsvis beskjedent i forhold til Norges samlede inntekter. Dette er delvis grunnen til at det ofte anbefales at en skal se bort fra usystematisk risiko: Et stort antall «handlinger» kan hver for seg ha utfall som er svært usikre. Men når en summerer opp utfallene over alle handlinger blir usikkerheten liten i forhold til landets samlede inntekt. Dette endres selvsagt drastisk hvis usikkerheten er korrelert med samfunnets inntekt. Vi kommer tilbake til dette i avsnitt **Feil! Fant ikke referanseskilden..**

Å se seg selv i sammenheng med samlet inntekt for Norge er det relevante for Statnett dersom man vil foreta en samfunnsøkonomisk analyse på vegne av nasjonen, eller tjene nasjonens beste om man vil. Men selv om det virker rimelig å se på samlet inntekt for Norge når en skal gjøre en samfunnsøkonomisk analyse, er det ingenting i aksiomene bak nytteforventningsteorien som sier at en må gjøre dette. I praksis vil ofte ulike typer risiko og usikkerhet ses på mer isolert enn bare som bidrag til usikkerhet i Norges samlede inntekt. For eksempel er det fare for at dersom Norge opplever et strømbrudd der 1 million mennesker er uten strøm i et døgn som kunne vært unngått ved tilstrekkelige tiltak, så vil det bli stilt spørsmål ved Statnetts ledelse. Vi har derfor også beregnet K for en mer isolert analyse for Statnett. Her er det ikke opplagt hvilken verdi på y en bør bruke. I Tabell 3.2 har vi brukt $y = 14$ mrd. kroner, noe som svarer til Statnetts egenkapital ved utgangen av 2017. Vi kunne også brukt Statnetts driftsinntekt 2017, som var 7,5 milliarder, eller et annet nøkkeltall for Statnett som indikator. Sammenlignet med 14 mrd. kroner er et tap på 10 mrd. kroner veldig stort, kanskje katastrofalt.

Tabell 3.2: Betydningen av risikoaversjon. Isolert analyse for Statnett; $y=14$ mrd. kroner.

	$\sigma = 2$	$\sigma = 10$
$q = 0$	342	7329
$q = 0,01$	306	296
$q = 0,09$	169	47

Note: $T = 10$ mrd. kroner og $p = 0,01$. Tall for K (= 100 millioner kroner hvis risikoneutralitet)

Kilde: Vista Analyse

Fra tabellen ser vi at kostnaden K som en beslutningstaker som ser isolert på hva Statnett maksimalt bør bruke for å forhindre strømbruddet, blir svært høy for høy risikoaversjon og gjenværende strømbrudds-sannsynlighet $q = 0$.⁶ For eksempel sier kombinasjonen $\sigma = 2$ og $q=0,01$ at Statnett bør investere inntil

⁶ Det er vel svært få hendelser som har sannsynlighet 0 (eller 1), men sannsynligheten kan være svært nær null.

tre ganger den forventede gevinsten. I dette ligger det et betydelig risikotillegg i forsikringspremien. Størrelsen på K faller imidlertid med større verdier av q . Med sterk risikoaversjon blir $K < 100$ dersom tiltaket reduserer strømbruddsrisikoen fra 0,10 til 0,09. Tolkningen er at det etter tiltaket fortsatt er såpass stor risiko for strømbrudd at en ikke ønsker en stor tiltakskostnad i tillegg til tapet fra strømbrudd i dette tilfellet.

En isolert analyse for Statnett kan gi stor betalingsvilje (stor K) for å redusere risikoen for strømbrudd. Statnett har imidlertid over tid en rekke ulike potensielle prosjekter som har usikker avkastning. Dersom hver av disse ses på isolert og en har betydelig risikoaversjon, kan analysen for hver av prosjektene isolert gi høyere investeringskostnader enn forventet gevinst skulle tilsi. Tenk for eksempel på to prosjekter av samme type som vi har studert over, men på ulike steder og tider. Med to prosjekter er det maksimale tapet uten tiltak $2T$, men det er lite sannsynlig at begge prosjektene fører til tap. Eller om man vil tenke seg situasjonen per prosjekt: Med mindre prosjektene er helt korrelerte er sannsynlighetene for tap T i et gjennomsnittsprosjekt lavere enn p og q .

Anta som en illustrasjon at Statnett har 100 prosjekter som tallmessig er identisk med eksempelet over, dvs med $p=0,01$ og $T=10$ mrd. kroner. Forventet gevinst i form av unngått tap er altså $pT=100$ mill. kroner for hvert prosjekt. Anta videre at en har en betydelig risikoaversjon og at en beregning av typen over tilsier $K=2$ mrd. kroner. En vil altså i hvert tilfelle være villig til å gjøre et tiltak med kostnad 2 mrd. kroner for å unngå et mulig (med sannsynlighet 0,01) tap på 10 mrd. kroner. Gjør en dette for all 100 prosjekter vil en derfor være villig til å investere 100×2 mrd. kroner, dvs 200 mrd. kroner for å unngå tapene som⁷ er hver på 10 mrd. kroner. Siden sannsynligheten for tap er 0,01 for hver av de 100 tilfellene, vil det forvaltningsmessig inntreffe bare ett tilfelle av tap. Flere tap kan ikke utelukkes, men det er svært usannsynlig (sannsynlighet lik 6.2555×10^{-9} , dvs i praksis 0) med mer enn 10 tap. Med 10 tap blir samlet tap 100 mrd. kroner. Et maksimalt tap på 100 mrd. kroner kan altså unngås til en kostnad på 200 mrd. kroner. Dette er åpenbart en dårlig forretning, og illustrerer at selv om en gjør en analyse for Statnett i isolasjon fra resten av økonomien, kan det bli veldig feil å se på hvert prosjekt for Statnett i isolasjon.

Poenget om at man ikke skal se isolert på ett prosjekt gjelder også når man har samfunnets inntekt som referanse. Vi ser nærmere på det i neste avsnitt.

3.2 Kalkulasjonsrente og systematisk risiko

Vi skal nå kort se på tidsaspektet når tiltaket er en investering med total investeringskostnad I . Vi legger til grunn kriteriet forventet nytte, enten ved hjelp av objektive sannsynligheter som i kapittel 3 eller subjektive sannsynligheter som vi senere skal høre om i avsnitt 4.1.

Anta at vi kan utelukke flere strømbrudd for et enkelt år, og at sannsynligheten for et strømbrudd i et enkelt år er p uavhengig av om det har vært strømbrudd i tidligere år. La videre forventet tap av strømbrudd i år t være T_t .

Nåverdien av tiltaket er da

$$V = -I + \sum_t (1+r)^{-t} (pT_t)$$

⁷ 2 milliarder kroner kan for eksempel begrunnes med at σ ligger et sted mellom 2 og 10, samtidig som q er svært nær null.

og en bør gjennomføre tiltaket hvis, og bare hvis, $V > 0$. Her er I sammenliknbar med størrelsen k fra tidligere og uttrykket i summen blir til pT i det enkleste tilfellet. Dersom kostnaden spres over flere år, vil også den uttrykkes som en sum i formelen.

I uttrykket over er r kalkulasjonsrenten. I samfunnsøkonomiske analyser i Norge sier Finansdepartementets retningslinjer (Finansdepartementet, 2014) at kalkulasjonsrenten normalt bør settes til 4 prosent de nærmeste 40 år. 1,5 prosentpoeng av dette utgjør en komponent som ivaretar systematisk risiko. Bak dette risikopåslaget ligger det en tanke om at samfunnet er risikoavers i samlet økonomi, og at prosjektavkastningen er positivt korrelert med resten av økonomien. Dette betyr at prosjektet sammenliknes med samfunnets samlede inntekt eller formue, som nå betraktes som en usikker konsekvens av en myriade økonomiske prosjekter. I vårt tilfelle er det rimelig å anta at sannsynligheten p er uavhengig om det går godt eller dårlig i resten av økonomien. Derimot er det rimelig å anta at betalingsviljen for å unngå strømbrudd, den størrelsen vi tidligere kalte T , er positivt korrelert med resten av økonomien. Det er derfor rimelig å bruke en normal kalkulasjonsrente som inkluderer et risikopåslag når en skal vurdere tiltak som reduserer sannsynligheten for strømbrudd. I så fall vil den øvre grensen for akseptable investeringskostnader (svarende til vår K i den statiske analysen) være *lavere* enn den ville vært uten risikopåslaget i renten. Risikoaversjon kombinert med nasjonalinntekten som referanse gir altså *lavere* betalingsvilje for tiltak enn om en hadde risikonøytralitet.

Det er to endringer fra den forrige avsnittet som driver dette resultatet: Vi betrakter nå samfunnet nasjonalinntekt y og betalingsviljen T som usikre størrelser,. Når i tillegg disse er positivt korrelert, betyr det at T er stor i en situasjon der også y er stor, og omvendt. Et tiltak mot strømbrudd gir derfor en dårligere forsikring mot inntektstap enn det som kom fram i analysen i forrige avsnitt.

Som forklart bl. a. i Vista Analyse (2012) kan en som alternativ til risikopåslag i renten bruke risikofri rente, men da i stedet justere T_t i analysen ned fra sine forventningsverdier til såkalte sikkerhetsekvivalenter. Siden usikkerheten typisk øker over tid, vil nedjusteringen av T_t bli større jo større t er. Resultatet av analysen blir det samme uansett fremgangsmåte så sant nedjusteringen av T_t endres med en konstant rate over tid.

Retningslinjene for samfunnsøkonomisk analyse i Norge anbefaler å bruke samme rente overalt for prosjekt med samme nasjonaløkonomiske risiko. Det reflekterer at samfunnets samlede inntekt eller formue vanligvis er referansen.

Når samfunnets samlede inntekt er referansen følger det av drøftingen over at risikoaversjon trekker i retning av *lavere* akseptable tiltakskostnader enn hvis en hadde risikonøytralitet. Samtidig fant vi i avsnitt 3.1 at hvis vi så på en isolert analyse for Statnett ville risikoaversjon trekke i retning av *høyere* akseptable tiltakskostnader enn hvis en hadde risikonøytralitet. Årsaken til dette tilsynelatende paradokset er følgende: Når samfunnets samlede inntekt er referansen, er strømbrudd eller ikke en helt ubetydelig forskjell sammenlignet med usikkerheten i fremtidig inntekt for Norge. Med risikoaversjon vil en legge særlig vekt på utfallene med lav samlet inntekt for Norge, og derfor (pga samvariasjon) lav verdi på tapet om et strømbrudd skulle skje. Dermed blir samlet verdi av tap ved strømbrudd (T) *nedjustert* i forhold til forventningsverdien. Ved en isolert analyse for Statnett er det motsatt: Selv om Statnetts fremtidige inntekt/formue er usikker, er denne usikkerheten underordnet den store forskjellen i nettoinntekt knyttet til om det blir et omfattende strømbrudd eller ikke (y versus $y-T$). Når en derfor pga risikoaversjon vil legge særlig vekt på de dårligste utfallene, betyr det en *oppjustering* av pT i forhold til forventningsverdien.

4 Sannsynlighet for strømbrudd er ukjent

Til nå har vi antatt at sannsynligheten p for at en ulykke inntreffer er kjent. I de fleste tilfeller er dette ikke tilfellet. Kaster vi terning eller lignende har vi kjente og objektive sannsynligheter. Sannsynligheten for strømbrudd vil ofte være en kombinasjon av sannsynligheter for ulike typer hendelser (tekniske feil ved enkelte komponenter, ekstremt uvær, hacking av programvare med mer). For noen av hendelsene har Statnett historiske data som er til hjelp for å estimere sannsynligheter. En bestemt komponent kan f.eks. være i bruk 100 steder i en periode på 10 år, dvs. 1000 observasjoner. Dersom komponenten har sviktet 100 ganger, er det rimelig å anslå sannsynligheten for feil for hver komponent til i ett år til å være 0,10. Dette er en beregnet sannsynlighet, men den faktiske vil med stor sannsynlighet ikke være langt unna 0,10. Hvis en derimot bare har observert 2 feil i de 1000 observasjonene, er det naturlig å anta at sannsynligheten for feil er 0,002. I dette tilfellet er imidlertid anslaget for sannsynligheten betydelig mindre sikkert. Også med sannsynlighet 0,001 (eller enda mindre) eller 0,004 er en observasjon på 2 ut av 1000 ikke urimelig.

Nettopp fordi HILP-hendelser er svært usannsynlige, og derfor inntreffer sjelden, gir historiske data begrenset kunnskap om hva de faktiske sannsynlighetene er. Vi skal derfor se nærmere på hvordan en kan velge mellom handlinger når vi har begrenset kunnskap om sannsynlighetene for de ulike tilstandene. Dette er utførlig diskutert i litteraturen, og vi gjengir her blant annet noe av stoffet i Heal og Millner (2013). Vi ser både på yttertilfellet der en ikke har noen mening om de relevante sannsynlighetene og på det mer realistiske tilfellet hvor en tross alt har en viss formening om de relevante sannsynlighetene.

4.1 Subjektive sannsynligheter

Savage (1954) tar utgangspunkt i et sett av aksiomer tilsvarende de som er utgangspunktet for nytteforventningsteorien (med kjente sannsynligheter). Han viser at med dette utgangspunktet gjelder nytteforventningsteoremet fortsatt, men med faktiske sannsynligheter erstattet med «subjektive sannsynligheter». Resultatet sier ingenting om hvordan disse sannsynlighetene dannes, bare at de er konsistente på tvers av beslutningssituasjoner. Av og til kan de for eksempel dannes og modifiseres over tid ved hjelp av såkalt baysiansk oppdatering, men de trenger ikke dannes slik.

Egenskaper ved subjektive sannsynligheter er drøftet i bl. a. NOU (2018, vedlegg 1). Der kalles de «kunnskapsbaserte sannsynligheter». Er viktig poeng er at kunnskapsgrunnlaget som sannsynlighetene bygger på er viktig for hvilken tiltro en skal ha til slike sannsynligheter, eventuelt intervaller av sannsynligheter. Kunnskapen sannsynlighetene bygger på er derfor en viktig del av beslutningsprosessen.

Et viktig aksiom både for nytteforventningsteorien og Savages generalisering til subjektive sannsynligheter er uavhengighetsaksiomet. Dette er illustrert i Tabell 3.3. Tabell 4.1 Her er H og K to ulike handlinger, og tabellen angir nytten til hver av handlingene under tre ulike tilstander. Bare én av de tre tilstandene vil faktisk inntreffe, men vi vet ikke på beslutningstidspunktet hvilken. Muligens vet vi heller ikke hvor sannsynlig hver av de tre tilstandene er. Tabell 4.1 sier at hvis vi velger handling H og tilstand A inntreffer, får vi nytten 1. Tilsvarende for alle andre celler i tabellen. Merk at x er et bestemt tall, som er det samme for de to handlingene H og K .

Tabell 4.1: Uavhengighetsaksiomet

	A	B	C
H	1	1	x
K	5	0	x

Kilde: Vista Analyse/Savage (1954)

Uavhengighetsaksiomet sier at størrelsen på x ikke betyr noe når vi skal velge mellom handlingene H og K . Dette aksiomet virker umiddelbart rimelig: I valget mellom H og K kan vi se bort fra hva som skjer hvis tilstand C inntreffer, siden vi i tilstand C får samme nytte x uansett valg. Det viser seg imidlertid at folk ikke alltid oppfører seg i overensstemmelse med uavhengighetsaksiomet. Selv om avvikende oppførsel kan observeres, kan det likevel være god grunn for en rasjonell beslutningstager (Statnett, NVE, OED og andre) å treffe valg som tilfredsstillende dette aksiomet.

4.2 Alternativer til subjektive sannsynligheter

4.2.1 Maxmin og liknende beslutningsregler

Regler som overhode ikke antar noe om sannsynligheter

Dersom en ikke vet noe om sannsynligheten p er det ikke opplagt at en skal akseptere Savage's forslag om å danne seg subjektive sannsynligheter. Wald (1945) foreslo *maxmin-regelen*: En skulle velge det alternativet som var best for det verste utfallet. I vårt eksempel fra Tabell 2.1 er dette *ikke-tiltak*, da *ikke-tiltak* i verste fall gir $y-T$, mens *tiltak* i verste fall gir $y-k-T$. En svakhet ved kriteriet er at det gir all vekt til det verst tenkelige utfallet. Videre er beslutningen følsom for restsannsynligheten q . Handlingen *ikke-tiltak* er best uansett hvor liten q er, så sant den er positiv. Men hvis $q = 0$ (dersom det er mulig...) kan vi se bort fra siste kolonne i Tabell 2.1, og da er *tiltak* det beste valget (siden det verste utfallet da er $y-k$, mens det verste utfallet *uten* tiltak er $y-T$). Vi ser også at regelen er uavhengig av y . *Ikke-tiltak* blir altså konklusjonen enten en legger nasjonen ($y = 3.300$ mrd.) eller Statnett ($y = 14$ mrd.) til grunn. Se også Tabell 4.2.

Tabell 4.2: Hva ulike beslutningsregler sier om tiltak og ikke-tiltak i beslutningssituasjonen fra Tabell 2.1

Beslutningsregel	Regel	Kommentar
Forventet gevinst	Tiltak dersom forventet gevinst ($pT > k$) større enn kostnad k	Standard nytte-kostnadsanalyse
Forventet nytte, objektive sannsynligheter og nasjonalinntekt som referanse	I praksis tiltak dersom $pT > k$	Formelt forventet nytte av tiltaket er positiv, men med nasjonalinntekt som referanse blir dette svært nær $pT > k$
Forventet nytte, objektive sannsynligheter og Statnetts portefølje som referanse	Tiltak selv om $pT < k$.	Størrelsen på den akseptable kostnaden k avhenger av restrisiko og størrelsen på risikoaversjon
Forventet nytte, subjektive sannsynligheter	Som objektive sannsynligheter	Gjelder uavhengig av hvordan subjektive sannsynligheter dannes
Maxmin-regelen	Ikke tiltak	Gjelder uansett så lenge restsannsynlighet for strømbrudd er større enn null
α -maxmin regelen	Ikke tiltak	Gjelder uansett så lenge restsannsynligheten større enn null
Minmax-regret	Tiltak	Gjelder dersom $k < T/2$, som er det relevante
Maxmin forventet nytte	Som objektive sannsynligheter, men med mest pessimistiske anslag på sannsynligheter	Størrelsen på den akseptable kostnaden k bestemt av det mest pessimistiske anslag for strømbrudd
α -maxmin forventet nytte	Ubestemt	Avhenger av vekter som gis til mest optimistiske og mest pessimistiske anslag på sannsynligheter
Φ -forventet nytte	Tiltak selv om $pT < k$	Gjelder for konkav Φ . Størrelsen på den akseptable kostnaden k bestemt av egenskaper til Φ
Forsiktighetsprinsippet	Tiltak selv om $pT < k$	Ingen ytterligere anvisninger
Ufullstendig beslutningsregel	Ubestemt	Gir entydig anbefaling for noen verdier av k

Kilde: Vista Analyse. Note: T = tapet hvis et strømbrudd inntreffer. p = sannsynlighetsreduksjon som følge av tiltak, k = kostnad av tiltak. pT blir da forventet gevinst av tiltaket.

Arrow og Hurwicz (1977) generaliserte maxmin-regelen (med en aksiomatisk begrunnelse) til α -maxmin-regelen: En skal med denne regelen tillegge det verste utfallet en vekt α og det beste utfallet en vekt $1-\alpha$. Størrelsen α sier i en viss forstand hvor pessimistisk beslutningstageren er. I vårt eksempel fra Tabell 2.1 (med $q > 0$) gir *ikke-tiltak* både høyere verste utfall og beste utfall enn *tiltak*. *Ikke-tiltak* er derfor best uansett verdien på vekten α . Er derimot $q = 0$ vil tiltak være best for α nær 1 (siden $y-T > y-k-T$). Er derimot α nær 0 vil det beste utfallet av de to valgene være avgjørende, og fra Tabell 2.1 ser vi at dette er *ikke-tiltak* (siden $y > y-k$). Når $q = 0$ vil derfor valget av handling avhenge fundamentalt av

størrelsen på α , som regelen ikke sier noe om hvordan en bør fastlegge. I praksis vil det alltid være igjen en restsannsynlighet større enn null for store strømbrydd, slik at *ikke-tiltak* kommer ut som best i eksempelet, også med denne regelen. (Dette viser at pessimisme i betydningen høy α er noe annet enn risikoaversjon.) Igjen er konklusjonen uavhengig av størrelsen på inntekten y .

I tillegg til den svakheten at vekten er ubestemt, vil dette kriteriet ikke tilfredsstillende uavhengighetsaksiomet. For å se dette, anta $\alpha = 1/2$, og la først $x = 1$ i Tabell 3.3. For H har vi da verdien 1 uansett utfall. For K er det dårligste utfallet 0 og det beste 5, slik at α -*maxmin-regelen* gir verdien $5/2 = 2,5$; vi bør derfor velge K . Hvis vi i stedet antar $x = 6$ vil verdien av valget H gi snittet av verste utfall (1) og beste utfall (6), som blir $1/2 + 6/2 = 3,5$. Verdien av valget K vil være snittet av verste utfall (0) og beste utfall (6) som gir $0/2 + 6/2 = 3$. Vi bør derfor velge handlingen H , dvs. motsatt av hva vi burde velge dersom $x = 1$. *Uavhengighetsaksiomet* er med andre ord ikke oppfylt.

Et forslag fra Savage (1954) er *minmax-regret* regelen: For hver handling og tilstand kalkulerer man differansen mellom det best mulig oppnåelige og det faktiske utfallet gitt valget. Dette gir en bestemt differanse (regret) for hver tilstand. En ser så på hva den maksimale regret er over tilstander (for hver handling). En velger så den handlingen som gir minst maksimal regret. Med vårt eksempel: For *tiltak* er max regret lik k (i tilstandene ikke strømbrydd eller strømbrydd uansett) mens *ikke-tiltak* gir max regret lik $T-k$ (i tilstanden strømbrydd hvis ikke tiltak). Hvis $k < T-k$, dvs hvis $k < T/2$, gir derfor *tiltak* minst max regret, og *tiltak* bør derfor velges. For HILP-hendelser er T mye større enn realistiske k , slik at dette er den relevante situasjonen: I eksempelet i kapittel 2 er T lik 10 milliarder, og ifølge denne regelen kan da alle tiltak som koster mindre enn 5 milliarder, forsvares. Er derimot $k > T/2$ bør *ikke-tiltak* velges. Også denne konklusjonen er i eksempelet uavhengig av y .

Regelen *minmax-regret* bryter med aksiomene for teorien bak forventet nytte. I denne teorien antas nytten bare å avhenge av det faktiske utfallet, og ikke av hva vi i ettertid ser at vi kunne oppnådd ved en annen handling. En slik regret-komponent er en følelsesmessig komponent utover det mer snevre fokus på det økonomiske resultatet. Dette kan være rimelig at en slik følelsesmessig komponent blir tatt hensyn til for beslutninger på individ-nivå, men det er langt mer tvilsomt om profesjonelle aktører som private foretak og statlige etater bør ta hensyn til den.

Regler som antar noe om sannsynligheter

Forslagene over ser helt bort fra hva sannsynligheten er for at et strømbrydd skal inntreffe. Selv om vi ikke kjenner denne sannsynligheten med sikkerhet, kan det være rimelig å anta at en «vet» at sannsynlighetene p og q ligger i intervallene $[p^L, p^H]$ og $[q^L, q^H]$. Med dette utgangspunktet har Gilboa og Schmeidler (1989) foreslått følgende: For hver handling en kan velge, beregnes forventet nytte for alle tenkelige p og q i de aktuelle intervallene. Fra dette finner en den laveste forventede nytten til hver av handlingene. En velger så den handlingen som maksimerer denne laveste forventede nytten. Denne fremgangsmåten kalles *maxmin forventet nytte*.

En svakhet ved dette kriteriet er at det ikke tilfredsstillende uavhengighetsaksiomet. Anta at sannsynligheten for tilstand B i Tabell 3.3 er $1/3$, men vi vet ikke hvordan de resterende $2/3$ fordeles på A og C . Anta først $x = 0$. Den laveste forventede verdien av begge handlingene får vi da hvis C inntreffer med sannsynlighet $2/3$, og at A derfor har sannsynlighet 0. For handling H blir derfor forventet verdi lik $1/3$. For handling K blir den laveste forventningsverdien lik 0. I dette tilfellet foretrekkes derfor H . Anta i stedet at $x = 6$. Den laveste forventede verdien av begge handlingene får vi da hvis C inntreffer med sannsynlighet 0, og at A derfor har sannsynlighet $2/3$. Dette gir en minimum forventet nytte av handlingen H lik

$2/3+1/3 = 1$, mens minimum forventet nytte av handling K er $10/3+0/3 = 10/3$. I dette tilfellet foretrekker en rasjonell aktør derfor K , dvs. motsatt av hva vi burde velge dersom $x = 0$. Uavhengighetsaksiomet er med andre ord ikke oppfylt.

Ghiradato et al. (2004) har generalisert maxmin forventet nytte til α -maxmin forventet nytte. Her beregner en for hver handling både minimum og maksimum forventet nytte, og beregner en veiet sum med hhv α og $1-\alpha$. Dette kriteriet har tilsvarende svakhet som α -maxmin-regelen: I begge tilfeller vil valget mellom handlinger typisk avhenge av verdien på α , og reglene gir ingen rettleiding om hvordan denne verdien skal velges. Dessuten vil α -maxmin forventet nytte, som er en generalisering av maxmin forventet nytte, i likhet med sistnevnte ikke tilfredsstillende uavhengighetsaksiomet.

Mens regelen over bare ser på det mest pessimistiske og det mest optimistiske anslaget på p , antar Klibanoff et al. (2005) at beslutningstageren har en sannsynlighetsfordeling over alle mulige p i intervallet $[p^L, p^H]$ (for å forenkle fremstillingen antar vi nå at q er kjent). For hver handling f og hver sannsynlighet p kan en beregne en forventet nytte $E_s u(f(s); p)$, hvor $f(s)$ er konsekvensen av handlingen f dersom tilstand s inntreffer. Deretter sammenlignes handlingene ved å beregne en funksjon Φ over disse forventede nyttene, og en velger den handlingen som gir høyest verdi på den forventede verdien av Φ over alle p . En velger med andre ord den handlingen som maksimerer $E_p \Phi(E_s u(f(s); p))$ hvor $f(s)$ er konsekvensen av handlingen f dersom tilstand s inntreffer.

Dersom Φ er lineær er denne regelen identisk med å velge E_p som den subjektive sannsynligheten. Dersom Φ er konkav (og $q = 0$) er regelen identisk med å velge en subjektiv p som er høyere enn forventningsverdien E_p . Hvor mye denne subjektive p -verdien avviker fra E_p vil avhenge blant annet av tapet T . Yttertilfellet med ekstrem konkavitet av funksjonen Φ svarer til maxmin forventet nytte, jf omtalen av Gilboa og Schmeidler (1989).

Den største svakheten ved denne regelen er at egenskapene til funksjonen Φ kan være viktig for hvilken handling som rangeres høyest, og at det ikke er noen intuitivt opplagt måte å fastlegge denne funksjonen. Regelen vil i praksis si at en justerer de subjektive sannsynligheter i forhold til deres forventningsverdier i retning økt sannsynlighet for dårlige utfall og redusert sannsynlighet for gode utfall. Men nøyaktig hvor mye sannsynlighetene skal justeres avhenger av at egenskapene til funksjonen Φ . I vårt enkle eksempel skal p være større jo «mer konkav» funksjonen Φ er.

Andre beslutningsregler

NOU (2012) omtaler i kapittel 8 «katastrofer og irreversible virkninger». Der står det blant annet:

«I en tradisjonell nytte-kostnadsanalyse vil en mulig framtidig katastrofe med store økonomiske konsekvenser kunne få en relativt liten betydning i beregningen av forventet nåverdi. Dette skyldes at produktet av selv en svært stor kostnad og en lav tilhørende sannsynlighet kan bli et lite tall, som en i tillegg skal neddiskontere. Dette er bakgrunnen for skepsis til samfunnsøkonomiens behandling av slike hendelser, og framveksten av handlingsregler som mer eksplisitt tar hensyn til usikkerhet, irreversibilitet og potensielle katastrofer. De to mest kjente er føre-var-prinsippet og prinsippet om sikre minimumsstandarder.»

Både forsiktighetsprinsippet og føre var-prinsippet er definert og drøftet i NOU (2018), vedlegg 1. Her står det:

Forsiktighetsprinsippet er en grunnleggende norm eller regel innen risikostyring som sier at forsiktighet skal være et rådende prinsipp. Tiltak skal iverksettes, eller en skal ikke gjennomføre en aktivitet, når det er usikkerhet knyttet til hva som blir konsekvensene (utfallene) av en aktivitet; med andre ord, når en står overfor risiko.

Det er vanskelig å se at dette er et nyttig begrep i vår sammenheng. Tolket bokstavelig skal en unngå tiltak/ikke-tiltak som har usikker konsekvens. I så fall bør en i vår problemstilling gjennomføre tiltak som eliminerer muligheten for strømbrudd uansett hva dette koster og uansett sannsynlighet for strømbrudd uten tiltak.

Videre står det om **føre var-prinsippet**:

Føre var-prinsippet kan sees på som et underprinsipp av forsiktighetsprinsippet som kommer til anvendelse når en står overfor vitenskapelig usikkerhet (og «ikke bare» risiko). Før-var-prinsippet uttrykker at tiltak skal iverksettes eller en ikke skal gjennomføre en aktivitet dersom det er betydelig vitenskapelig usikkerhet (uvitenhet) knyttet til konsekvensene av aktivitetene, og disse konsekvensene anses som alvorlige.

Her legges det vekt på usikkerhet om konsekvensene av en uheldig hendelse. Et nærliggende eksempel er miljøkonsekvenser. Prinsippet sier at en i størst mulig grad skal unngå beslutninger som kan ha miljøkonsekvenser som ikke er forutsett. En begrunnelse for et slikt prinsipp i miljørammen er at det kan være vanskelig på forhånd å vite hva miljøkonsekvensene blir, og dermed å verdsette disse. For strømbrudd er det trolig enklere å forutse mulige konsekvenser, og dermed også å tallfeste ulempene ved et strømbrudd. Føre-var-prinsippet om «i størst mulig grad» unngå strømbrudd er derfor etter vår vurdering til begrenset hjelp i å vurdere tiltak som kan redusere risikoen for strømbrudd.

Denne vurderingen av strømbrudd i forhold til føre-var-prinsippet gis etter vår vurdering støtte av gjeldende veileder i samfunnsøkonomisk analyse, DFØ (2018). DFØ skriver blant annet at

«Føre var-prinsippet er særlig aktuelt i forbindelse med mulige langtidsvirkninger knyttet til forurensing, fremmede arter i økosystemene, eksponering av mennesker og dyr for miljøgifter, med mer. Disse forholdene kan representere en alvorlig trussel mot det biologiske mangfoldet, matforsyningen og helsen for kommende generasjoner. Føre var-prinsippet brukes ofte på helse- og miljøområdet, blant annet ved fastsetting av krav og standarder.»

DFØ peker også på at man med føre var-prinsippet beveger seg inn på det politiske området:

«En oppgave for en analytiker kan være å synliggjøre kostnadsforskjellen mellom en nåverdibetraktning og et føre var-prinsipp. Generelt vil det være et politisk valg om man ønsker å legge til grunn en vanlig nåverdiberegning i tilfeller med usikkerhet, eller om man ønsker å følge et mer forsiktig føre var-prinsipp, det vil si å fastsette en sikker minimumsstandard som ikke oppfattes som urimelig dyr å oppnå.»

Det er klart at dersom føre var defineres som «det politikere ønsker å legge til grunn» gir det liten mening å gi råd til politikere om hva føre var-prinsippet tilsier.

I NOU (2012) står det om **sikker minimumsstandard** at «begrepet er basert på ideen om å minimere det maksimale tap i forbindelse med et prosjekt». Denne definisjonen svarer helt til *maxmin-regelen* omtalt i forrige avsnitt, med svakhetene som omtalt der. NOU (2012) viser også til Bishop (1978), som eksplisitt

ser på at gevinsten pT (i vår terminologi) er ukjent. Dermed kan ikke den maksimale kostnaden K beregnes, og Bishop foreslår i stedet å sette K skjønnsmessig. Dette innebærer i så fall at en gir opp å gjennomføre en analyse som kan hjelpe oss til å fastslå K . Prinsippet er derfor ikke særlig nyttig når det gjelder å vurdere tiltak som kan redusere risikoen for strømbrudd.

Et prinsipp for å analysere risikoreducerende tiltak har navnet **ALARP**. Dette forklares slik på Wikipedia:

*ALARP, which stands for “as low as reasonably practicable”, or ALARA (“as low as reasonably achievable”), is a term often used in the regulation and management of **safety-critical** and **safety-involved** systems.... For a risk to be ALARP, it must be possible to demonstrate that the cost involved in reducing the risk further would be grossly disproportionate to the benefit gained.*

I vårt tilfelle er det mulig å redusere risikoen for strømbrudd fra $q+p$ til q ved å velge tiltak, som derfor ifølge ALARP bør velges dersom dette er praktisk mulig («reasonably practicable»). Det er uklart hva som menes med «praktisk mulig». I Preventor (2006) står det:

«ALARP-prinsippet innebærer... at identifiserte tiltak skal implementeres, med mindre det kan dokumenteres at det er et urimelig misforhold mellom kostnader/ulempes og nytte.»

Petroleumsstilsynet (2017) skriver:

«Ved reduksjon av risiko skal den ansvarlige velge de tekniske, operasjonelle eller organisatoriske løsningene som etter en enkeltvis og samlet vurdering av skadepotensialet og nåværende og framtidig bruk gir de beste resultater, så sant kostnadene ikke står i et vesentlig misforhold til den risikoreduksjonen som oppnås.»

Det er ikke opplagt hvordan en bør presisere «grossly disproportionate» eller «urimelig misforhold» eller «vesentlig misforhold». En tolkning er at hvis kunnskapene om konsekvensen av strømbrudd (T) og sannsynlighetsreduksjonen et tiltak kan oppnå (p) er mangelfull, bør en ta utgangspunkt i de høyest tenkelige verdiene og sette $K = (pT)^{\max}$.

Enkelte hevder at forventningsverdier av typen pT er av begrenset relevans når en skal vurdere tiltak som reduserer små sannsynligheter for alvorlige negative hendelser. I forbindelse med mulige ulykker i petroleumssektoren skriver for eksempel Abrahamsen et al. (2016):

«Det å bruke nytte-kostnadsanalyser som grunnlag for regelverksendringer i petroleumsvirksomheten bryter med forsiktighetsprinsippet, et prinsipp som på mange måter kan sies å være selve fundamentet for risikostyringen og sikkerhetstenkningen i bransjen. Forsiktighetsprinsippet innebærer at forsiktighet skal være et styrende prinsipp der det knyttes usikkerhet til hva som blir konsekvensene.»

Etter en påpeking om at (i vår terminologi) T kan være mye større enn pT konkluderer Abrahamsen et al. (2016) som følger:

«Det vi trenger er analyser og evalueringer av antatte konsekvenser, kostnader og nyttegevinster som evalueres i en mye bredere kontekst enn hva tilfellet er gjennom tradisjonelle nytte-kostnadsanalyser. For å ta gode beslutninger når det gjelder sikkerhet, må risiko og usikkerhet vektlegges - forventningsverdier gir ikke et egnet underlag. Først da vil vi kunne oppnå kostnads-

effektiv regulering av storulykkesrisiko i petroleumsindustrien. Hvis man likevel velger å ta beslutninger basert på nytte-kostnadsanalyser, så vil man raskt kunne ende opp med både høyere storulykkesrisiko, og reguleringer som er alt annet enn kostnadseffektive.»

Utover å oppfordre til å legge høy vekt på gevinsten av tiltak (pT i vår terminologi) og liten vekt på kostnad, har vi vanskelig å se hvordan denne konklusjonen i praksis skal hjelpe oss i avveininger mellom sannsynlighetsreduksjoner og tiltakskostnader. I denne situasjonen kan et alternativ være å se hvordan ulike etater i praksis tolker et føre-var prinsipp, for eksempel hvor stort misforhold mellom forventet gevinst (pT i vår terminologi) og kostnad (k) som aksepteres. Dette er vanskelig i praksis, fordi mange etater i dag kun har en overordnet oppfatning av pT og k for tiltak de innfører. Uansett gir det ingen prinsipiell støtte, bare en indikasjon på hva som gjøres andre steder. Selv det å vite hva man gjør andre steder gir ikke nødvendigvis så mye hjelp: Som nevnt i kapittel 3 peker kriteriet forventet nytte på at man bør se forholdet mellom pT og k i sammenheng med inntekt og formue (y), og i sammenheng med hvilken restrisiko som foreligger (q). Dersom ulike etater forholder seg til ulike y og ulike q , blir ikke praksisen sammenliknbar på tvers.

4.2.2 Ufullstendige beslutningsregler

Beslutningsreglene drøftet til nå har som formål å gi en presis anbefaling om hvordan en beslutningstager skal velge mellom to handlinger. Baldwin (2018) og Danan et al. (2016) ser på situasjoner hvor slike presise anbefalinger ikke alltid er mulig. Poenget belyses enklest med en samfunnsøkonomisk analyse (med risikonøytralitet) hvor alle ingredienser i analysen er kjent unntatt sannsynlighetsreduksjonen p . I mange tilfeller vil beslutningstageren likevel føle seg trygg på at sannsynligheten p ligger i et intervall $[p^l, p^h]$, men ikke ha noen formening om sannsynligheten utover dette. Vi kjenner igjen dette fra reglene *maxmin forventet nytte* og *α -maxmin forventet nytte* tidligere i kapitlet. For situasjonen i Tabell 2.1 vil det da være en entydig anbefaling om å velge *tiltak* dersom $k < p^l T$ og å velge *ikke-tiltak* dersom $k > p^h T$. Dersom $p^l T < k < p^h T$ finnes det ingen entydig anbefaling. Både *tiltak* og *ikke-tiltak* kan i dette tilfellet forsvares (*justifiable acts* i terminologien til Baldwin (2018)).

Resonnementet over kan utvides til ufullstendig informasjon ikke bare om p , men også om q og T , og egenskaper ved preferansene. Eksempel på sistnevnte er at de involverte i beslutningen ikke er sikre på om det er samfunnets nyttefunksjon som bør gjelde, eller om en bør se mer snevert på situasjonen for Statnett. Anta i sistnevnte tilfellet at en er enig i at den relative risikoaversjonen er 2, at de to sannsynlighetene $p = q = 0,01$ og at konsekvensen av strømbrydd er $T = 10$ mrd. Fra våre tidligere resultater (spesielt Tabell 3.2) kan vi da slå fast at vi bør entydig anbefale *tiltak* dersom kostnaden k er lavere enn 100 millioner og entydig anbefale *ikke-tiltak* dersom kostnaden er høyere enn 306 millioner. For verdier av k mellom 100 og 306 kan en forsvare både *tiltak* og *ikke-tiltak*. Det vil avhenge av om en bruker samfunnet eller Statnett som referanse. Eksempelet kan selvsagt utvides til uenighet/usikkerhet om graden av risikoaversjon dersom en ser isolert på Statnett. En kan også utvide analysen til ikke bare å gjelde ett prosjekt, men en portefølje av prosjekter som forklart i slutten av avsnitt 3.1.

Bak en ufullstendig beslutningsregel som denne ligger det en erkjennelse av at selv om økonomisk analyse kan hjelpe oss et stykke på vei i en beslutning ved å snevre inn hva som er fornuftig, blir beslutningen til slutt en skjønnsmessig avgjørelse innenfor det innsnevrede mulighetsområdet.

Referanser

- Abrahamsen, E.B., Aven, T. og Husebø, T. (2016). Må ta mer hensyn til risiko og usikkerhet i oljebransjen. *Forskning.no*. <http://forskning.no/meninger/kronikk/2016/10/mer-hensyn-til-risiko-usikkerhet-oljebransjen>.
- Arrow, K., and L. Hurwicz (1977). An optimality criterion for decision-making under ignorance. In *Studies in resource allocation; processes*, 482. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Aven, T. (2015). On the allegations that small risks are treated out of proportion to their importance. *Reliability Engineering & System Safety* 140, 116–121.
- Baldwin, E. (2018). Choosing in the dark: incomplete preferences, and climate policy. Work in progress. <http://elizabeth-baldwin.me.uk/papers/choosingDark.pdf>.
- Bishop, R.C. (1978). Endangered Species and Uncertainty. The Economics of Safe Minimum Standard. *American Journal of Agricultural Economics* 60, 10-18.
- Danan, E., Gajdos, T., Hill, B. and Tallon, J.-M. (2016). Robust social decisions. *American Economic Review* 106, 2407-2425.
- Doorman, G., Uhlen, K. Kjølle, G. and Huse, E.S. (2006). Vulnerability analysis of the Nordic power system. *IEEE Transactions on Power Systems* 21, 402-410. <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1708873>.
- Finansdepartementet (2014). Prinsipper og krav ved utarbeidelse av samfunnsøkonomiske analyser mv. Rundskriv R-109/14. https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/fin/vedlegg/okstyring/rundskriv/faste/r_109_2014.pdf
- Ghirardato, P., Maccherone, F. and Marinacci, M. (2004). Differentiating ambiguity and ambiguity attitude. *Journal of Economic Theory* 118, 133-173.
- Gilboa, I., and D. Schmeidler (1989). Maxmin expected utility with non-unique prior. *Journal of Mathematical Economics* 18 (2):141–53.
- Heal and Millner (2013). Uncertainty and Decision Making in Climate Change Economics. *Review of Environmental Economics and Policy* 8, 120-137.
- Kahneman, D (2011). *Thinking, Fast and Slow*. New York: Farrar, Straus and Giroux.
- Klibanoff, P., M. Marinaci, and S. Mukerji (2005). A smooth model of decision making under ambiguity. *Econometrica* 73 (6): 1849–92.
- NOU (2012). *Samfunnsøkonomiske analyser*, NOU 2012:16.
- NOU (2018). *Klimarisiko og norsk økonomi*, NOU 2018:17.

Preventor (2006). ALARP-prosesser. Utredning for Petroleumstilsynet. <http://www.ptil.no/get-file.php/z%20Konvertert/Helse%2C%20milj%C3%B8%20og%20sikkerhet/Sikkerhet%20og%20arbeidsmilj%C3%B8/Dokumenter/alarpprosesserendelig.pdf>

Petroleumstilsynet (2017). Forskrift om helse, miljø og sikkerhet i petroleumsvirksomheten og på enkelte landanlegg, § 11 Prinsipper for risikoreduksjon, <http://www.ptil.no/rammeforskriften/category381.html#p11>

Savage, L. J. (1954). *The foundations of statistics*. Wiley and Sons.

Sunstein, C.R. (2012). *Risk and Reason: Safety, Law and the Environment*. Cambridge University Press, Cambridge.

Taleb, N.N. (2010). *The black swan: The impact of the highly improbable*, Revised edition. London: Penguin Books.

Vista Analyse (2012). Systematisk usikkerhet i norsk økonomi. Rapport nr 40/2012. Av H Vennemo, M. Hoel og H. Wahlquist.

von Neumann, J., and O. Morgenstern (1944). *Theory of games and economic behaviour*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.

Wald, A. (1945). Statistical decision functions which minimize the maximum risk. *The Annals of Mathematics* 46 (2): 265–80.



Vista Analyse AS
Meltzersgate 4
0257 Oslo

post@vista-analyse.no
www.vista-analyse.no