



Rapport 2021/27 | For Oljedirektoratet



Klimarisiko og kostnads-nytteanalyser

Michael Hoel

Dokumentdetaljer

Tittel	Klimarisiko og kostnads-nytteanalyser
Rapportnummer 2021/27	2021/27
Forfattere	Michael Hoel
ISBN	978-82-8126-530-1
Prosjektleder	Michael Hoel
Oppdragsgiver	Oljedirektoratet
Dato for ferdigstilling	22. april 2021
Kilde forsidefoto	Pixabay.com
Tilgjengelighet	Offentlig
Nøkkelord	Olje, klima, klimarisiko

Om Vista Analyse

Vista Analyse AS er et samfunnsfaglig analyseselskap med hovedvekt på økonomisk utredning, evaluering, rådgivning og forskning. Vi utfører oppdrag med høy faglig kvalitet, uavhengighet og integritet. Våre sentrale temaområder er klima, energi, samferdsel, næringsutvikling, byutvikling og velferd. Vista Analyse er vinner av Evalueringsprisen 2018.

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 er utført på oppdrag fra Oljedirektoratet, og drøfter i hvilken grad tradisjonelle kostnads-nytteanalyser er formålstjenlige for å vurdere tiltak knyttet til klimarisiko. Andres Toft er Oljedirektoratets kontaktperson. Vi takker ham og andre ressurspersoner i Oljedirektoratet for gode diskusjoner i prosjektet.

22. april 2021

Michael Hoel

Professor emeritus i samfunnsøkonomi ved UiO og partner i Vista Analyse
Vista Analyse AS

Innhold

1	Innledning	5
2	Klimarisiko	7
2.1	Fysisk risiko	7
2.2	Overgangsrisiko	8
2.3	Verden er et farlig sted	8
2.4	Hva kan vi gjøre med klimarisiko?	9
3	Standard økonomisk analyse og dens begrensninger	11
3.1	Et stilisert eksempel	11
3.2	Svakheter og mangler ved standard økonomiske analyser	12
4	Risikoaversjon	14
4.1	Betydningen av risikoaversjon	14
4.2	Risikoaversjon og kalkulasjonsrente	15
5	Avens kritikk av standard økonomisk analyse	17
6	Føre-var-prinsippet	19
7	Andre beslutningsregler	21
7.1	Maxmin-regelen	21
7.2	Minmax-regret regelen	21
7.3	Ufullstendig beslutningsregel	22
	Referanser	23
	Vedlegg	24
Tabeller og figurer		
Figur 2.1	Sannsynlighetsfordeling for langsiktig global temperaturøkning gitt 700 ppm CO ₂ e i atmosfæren.	7
Figur 2.2	<i>Fra presentasjon på Finansiell fagdag, Norges Bank, november 2019.</i>	9
Tabell 3.1	<i>Et enkelt beslutningsproblem under usikkerhet.</i>	11
Tabell 3.2	<i>Beslutningsproblemet fra tabell 3.1 med alternativ notasjon.</i>	12
Tabell 4.1	<i>Kritisk verdi for I med verdier for p, K og k fra (2).</i>	14
Tabell 4.2	<i>Kritisk verdi for I med verdier for p, y og ΔK fra (2).</i>	15
Tabell 7.1	<i>Beslutningsproblemet med tre mulige tilstander.</i>	21

1 Innledning

Oppdraget fra Oljedirektoratet var som følger:

I NOU 2018:17 Klimarisiko og norsk økonomi drøftes bruk av kost-nytteanalyser for å vurdere tiltak knyttet til klimarisiko. Professor Terje Aven skriver i vedlegg 1 at når en skal vurdere klimatiltak, vil bruk av tradisjonelle kost-nytteanalyser med basis i beregninger av forventet nåverdi i de fleste tilfeller ikke være formålstjenlige i og med at usikkerhetene er store. For økt kunnskap ønsker OD at denne vurderingen blir diskutert og at forutsetningene for at kost-nytteanalyse ikke kan benyttes blir utdypet. Videre ber OD om at rammer for bruk av føre-var-prinsippet blir drøftet.

Avsnitt 2 gir en kort drøfting av klimarisiko. Med klimarisiko menes som regel at det er positiv sannsynlighet for et svært dårlig utfall som på en eller annen måte er knyttet til klima.

Det er to hovedtyper klimarisiko, nemlig fysisk risiko og overgangsrisiko. Når det gjelder den første, er norske utslipp så små at de i praksis ikke har noen effekt på samlede utslipp, og dermed på fysisk klimarisiko. Klimautviklingen blir det den blir sett fra Norges ståsted. Derimot kan Norge til en viss grad påvirke hvor hardt vi blir rammet av betydelige klimaendringer.

Det er en betydelig innslag av eksogenitet for Norge også når det gjelder overgangsrisiko, som er knyttet til sannsynligheten for ulike typer politikk og teknologiutvikling. Som for fysisk risiko kan imidlertid Norge til en viss grad påvirke konsekvensen av ulike typer teknologi- og politikkendringer.

Fra avsnitt 3 og utover bruker vi et enkelt stilisert eksempel til å illustrere et beslutningsproblem hvor det er en mulighet for et svært dårlig utfall, og hvor beslutningen påvirker *hvor* dårlig utfallet blir. Vi viser hvordan standard økonomisk analyse kan brukes for å treffe en god beslutning, og gjennomgår også svakhetene ved slike analyser. Når det er mulighet for store negative konsekvenser er det viktig at analysen tar hensyn til risikoaversjon. Dette er drøftet i avsnitt 4.

Avens kritikk mot bruk av standard økonomisk analyse kan så vidt jeg kan forstå oppsummeres som følger:

- a) Vanskelig/umulig å beskrive og tallfeste alle konsekvenser av en beslutning
- b) Sannsynligheter er subjektive og bygger muligens på et svakt kunnskapsgrunnlag
- c) Forventet økonomisk verdi gir ikke hele bildet når det er stor usikkerhet

Jeg diskuterer disse punktene i avsnitt 5 (og tidligere). Det er vanskelig å få tak i nøyaktig hva Aven mener er et godt alternativ til standard økonomisk teori. Hans egen skisse til fremgangsmåte er ikke veldig ulik standard kostnads-nytteanalyse med korreksjoner for risikoaversjon («reduksjon av usikkerhet») og for ikke-verdsatte konsekvenser.

I avsnittene 6 og 7 diskuteres føre-var prinsippet og enkelte andre beslutningsregler som i liten grad bruker forventningsverdier. En konklusjon er at disse prinsippene og metodene anvendt alene ikke er særlig nyttige til velge mellom ulike beslutninger.

Med svakt kunnskapsgrunnlag for subjektive sannsynligheter og andre elementer i analysen kan det være hensiktsmessig med en ufullstendig beslutningsregel. Noen beslutninger kan i så fall utelukkes, men en vil ofte stå igjen med flere beslutninger som ikke kan frarådes på faglig grunnlag (*justifiable acts*).

Bak en ufullstendig beslutningsregel av denne typen 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. Innenfor dette innsnevrede mulighetsområdet kan forsiktighetsprinsippet eller føre-var prinsippet i noen tilfeller hjelpe en til å treffe en endelig beslutning.

2 Klimarisiko

Med klimarisiko menes som regel at det er positiv sannsynlighet for et svært dårlig utfall som på en eller annen måte er knyttet til klima. Klimarisiko er utførlig diskutert i NOU (2018). I dette notatet skal jeg derfor bare veldig kort gjennomgå noen av de viktigste sidene av dette saksområdet.

Det er to hovedtyper klimarisiko, nemlig fysisk risiko og overgangsrisiko. Jeg drøfter disse kort før jeg sier noe om hva dette betyr for beslutningstagere i Norge og verden, med hovedvekt på Norge.

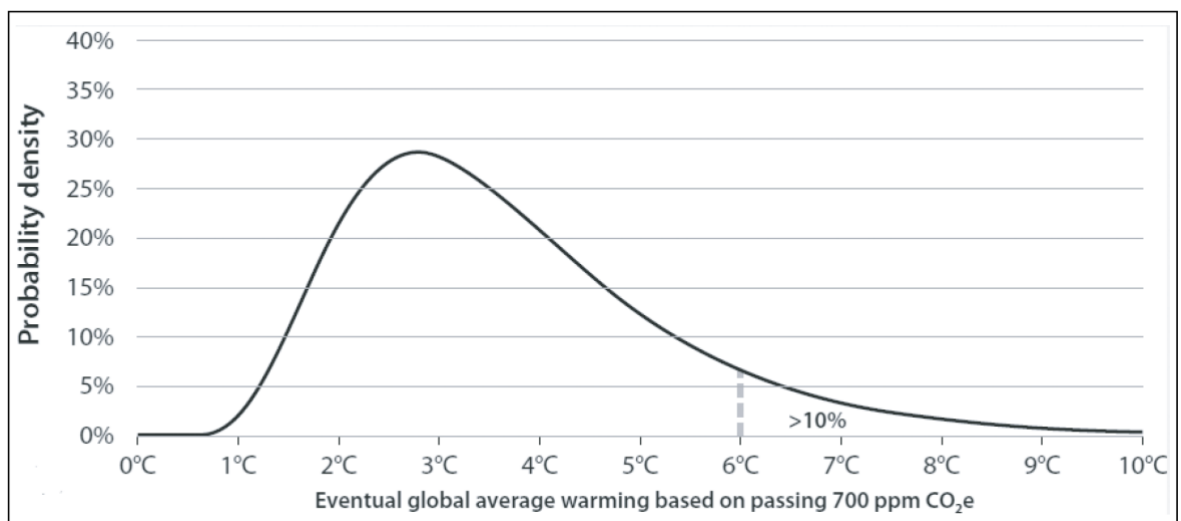
2.1 Fysisk risiko

Det er allment kjent at økte konsentrasjoner av CO₂ (og andre klimagasser) i atmosfæren gir global oppvarming og andre klimaendringer. Kanskje er det ikke fullt så kjent at det er stor usikkerhet knyttet til klimaendringene. Det er usikkerhet i hvert av følgende fire ledd:

- Fremtidig global klimapolitikk er usikker
- For en gitt politikk er den fremtidige utslippsbanen usikker
- For en gitt utslippsbane er konsekvensen for klima usikker
- For en gitt klimaendringer det usikkert hva dette betyr for økonomisk og sosial velferd

Det tredje kulepunktet er illustrert i Figur 2.1 (hentet fra Wagner og Weitzman, 2015). Her er det antatt at verden mislykkes med å føre en streng klimapolitikk, slik at utslippene fortsetter å øke i mange år fremover. Det antas i denne figuren at dette på sikt fører til en CO₂-konsentrasjon i atmosfæren på 700 ppm. Hva dette betyr for klimaendringene avhenger bl.a. av den såkalte klimasensitiviteten (som sier hvor mye den langsiktige økningen i global middeltemperatur er som følge av doblet CO₂-konsentrasjon i forhold til førindustriell tid). Figur 1 gir sannsynlighetsfordelingen av global temperaturøkning. Medianverdien er her 3,4 grader, og forventningsverdien er noe høyere. En temperaturøkning på 3-4 grader er ille nok. Men enda verre er den tykke høyrehalen: En betydelig sannsynlighet for temperaturøkninger på mer enn 6 grader.

Figur 2.1 Sannsynlighetsfordeling for langsiktig global temperaturøkning gitt 700 ppm CO₂e i atmosfæren.



Kilde: hentet fra Wagner og Weitzman, 2015

Det fjerde kulepunktet er også viktig: En temperaturøkning på 3-4 grader har dramatiske negative konsekvenser. Men nøyaktig hvor ille vet vi ikke. Dette er i enda større grad sant for temperaturøkninger på mer enn 6 grader.

Et viktig poeng her er at en ikke må misbruke forventningsverdier. Anta at forventningsverdien i figuren over er 3,5 grader, og at en slik klimaendring gir en årlig kostnad svarende til 5% av BNP. En kan ikke slutte av dette at forventet tap er 5% av BNP dersom sannsynlighetsfordelingen er gitt som i Figur 1. Det er nemlig god grunn til å tro at klimakostnaden øker mye mer enn proporsjonalt med temperaturøkningen. Med andre ord: En temperaturøkning på 7 grader gir ikke en kostnad på 10% av BNP, men trolig noe mye høyere. Klimakostnad som funksjon av temperaturøkning er altså en (sterkt) konveks funksjon. Da følger det av *Jensens ulikhet* at forventet klimakostnad er større enn klimakostnaden som funksjon av forventet temperaturøkning. Forventet klimakostnad gitt sannsynlighetsfordelingen i Figur 1 kan altså være mye høyere enn 5% av BNP.

2.2 Overgangsrisiko

Med overgangsrisiko menes risiko knyttet til virkninger av fremtidig klimapolitikk samt teknologiendringer knyttet til klimatiltak. Eksempler som er relevante for petroleumssektoren er

- En overraskende god (for verden) utvikling av fornybar teknologi, som gir et kraftig fall i olje- og gasspriser.
- En streng klimapolitikk i verden som samtidig er utformet slik at den rammer olje mer enn en kostnadseffektiv klimapolitikk skulle tilsi.

Ingen av disse scenariene er spesielt sannsynlige, men de kan ikke utelukkes.

Mens fysisk klimarisiko er muligheter for hendelser som er svært negative for (nesten) alle land i verden, er overgangsrisiko knyttet til hendelser som for noen land er gunstige, men ugunstige for andre land. Begge de to kulepunktene over kan sies å beskrive hendelser som er bra for de fleste land, men dårlig for Norge.

En annen viktig forskjell mellom fysisk risiko og overgangsrisiko er tidsperspektivet. Store klimaendringer vil komme gradvis, med de største virkningene flere tiår frem i tid. Endret teknolog og særlig endret politikk kan komme mye raskere, og er relevant allerede i kommende tiår.

2.3 Verden er et farlig sted

I november i fjor holdt jeg et foredrag i Norges Bank hvor ett av lysarkene var som gjengitt i Figur 2.2. Poenget her er at selv om klimarisiko har fått mye oppmerksomhet de siste årene, er det mange andre svært negative ting som muligens kan inntreffe i årene fremover.

Figur 2.2 Fra presentasjon på Finansiell fagdag, Norges Bank, november 2019.



Kilde: Vista Analyse

Alle hendelsene beskrevet i Figur 2 er svært negative. Videre er det i varierende grad muligheter for å påvirke sannsynligheten for at hendelsen skal inntreffe, og/eller å påvirke konsekvensene for samfunnet dersom hendelsen inntreffer. I neste avsnitt drøfter jeg dette spesielt for klimarisiko.

2.4 Hva kan vi gjøre med klimarisiko?

Hvis både sannsynligheten for en hendelse og konsekvensen av denne er eksogent gitt er det ikke så mye mer å si om saken. Det interessante tilfellet er når en beslutningstager enten kan påvirke sannsynligheten for en hendelse eller konsekvensen av hendelsen.

Når det gjelder fysisk klimarisiko kan sannsynligheten for de dårligste utfallene påvirkes gjennom klimapolitikken og dermed hvor store de fremtidige utslippene blir. Jo lavere utslipp, jo lenger til venstre i Figur 1 vil sannsynlighetsfordelingen ligge. Dermed blir også sannsynligheten for temperaturøkning over f eks 6 grader også mindre jo lavere utslippene er. For verden som helhet kan altså sannsynligheten for dårlige utfall reduseres. For Norge stiller det seg annerledes. Norge er så liten at våre utslipp i praksis ikke har noen effekt på samlede utslipp, og dermed på sannsynlighetsfordelingen i Figur 1. Klimautviklingen blir det den blir sett fra Norges ståsted. Derimot kan Norge til en viss grad påvirke hvor hardt vi blir rammet av betydelige klimaendringer. Det er nærliggende å tenke spesielt på utformingen og geografisk plassering av bygninger, veier, og annen infrastruktur. Fremtidens næringsstruktur vil også kunne bety noe for konsekvensen av klimaendringer, da fremtidige verdensmarkedspriser kan avhenge av klimaendringene.

Også når det gjelder overgangsrisiko er det av betydning hvilken beslutningstager vi ser på. For en enkelt bedrift eller næring kan både teknologiske endringer og klimapolitikk ses på som eksogen. For Norge som helhet er klimapolitikken noe vi til en viss grad bestemmer selv: Imidlertid kan ikke Norge bestemme hva andre land gjør, så det er en betydelig innslag av eksogenitet for Norge også når det gjelder sannsynligheten for ulike typer politikk og teknologiutvikling. Som for fysisk risiko kan imidlertid Norge til en viss grad påvirke konsekvensen av ulike typer teknologi- og politikkendringer. Også her er det naturlig å tenke på at Norge kan påvirke den fremtidige næringsstrukturen gjennom de investeringsvalgene en gjør i dag.

I resten av notatet antar jeg at beslutningstageren til en viss grad kan påvirke konsekvensen av negative hendelser. Jeg ser både på standard økonomisk analyse, og svakheter ved denne. For å belyse poengene så enkelt som mulig bruker jeg hele veien et enkelt beslutningsproblem under usikkerhet.

3 Standard økonomisk analyse og dens begrensninger

3.1 Et stilisert eksempel

Det enklest mulig beslutningsproblemet er at en må velge ett av to beslutninger, A eller B. Det er to mulige tilstander av økonomien, 1 eller 2. Alle konsekvenser av beslutningene kan sammenfattes i ett tall (for hver tilstand), som jeg kaller inntekt. Inntekten hvis A besluttes er $y^A(1)$ eller $y^A(2)$, avhengig av om tilstand 1 eller 2 inntreffer, hvor $y^A(1) > y^A(2)$. Tilsvarende er inntekten hvis B besluttes lik hhv $y^B(1)$ eller $y^B(2)$, med $y^B(1) > y^B(2)$. Beslutningsproblemet er illustrert i Tabell 3.1.

Tabell 3.1 *Et enkelt beslutningsproblem under usikkerhet.*

	Tilstand 1	Tilstand 2
Beslutning A	$y^A(1)$	$y^A(2)$
Beslutning B	$y^B(1)$	$y^B(2)$

Vi antar at $y^A(1) > y^B(1)$ og $y^A(2) < y^B(2)$. Eller sagt med ord: Hvis vi visste at tilstand 1 ville inntreffe ville vi velge A. Hvis vi derimot visste at tilstand 2 ville inntreffe ville vi velge B. På beslutningstidspunktet vet vi imidlertid ikke hvilken av tilstandene som vil inntreffe. Hvis vi imidlertid kjenner sannsynligheten for de to tilstandene sier standard teori at vi skal velge den beslutningen som gir høyest forventet verdi.

Dette stiliserte eksempelet er selvsagt en ekstrem forenkling av virkeligheten. I virkeligheten er det flere enn to beslutninger å velge mellom, og for hver beslutning finnes det flere enn to mulige utfall. Utvidelser i denne retningen vil gjøre de faktiske analysene betydelig mer komplisert, men prinsippene for å treffe den beste beslutningen er de samme som for det enkle tilfellet skissert over. En grundig analyse av det enkle stiliserte oppsettet over gir derfor viktig innsikt for mer realistiske og kompliserte beslutninger.

Det enkle eksempelet over kan beskrive mange situasjoner, bl a følgende to klimarelaterte:

- Valg av B er lokalisering eller dimensjonering av infrastruktur som mest sannsynlig er mindre gunstig enn A, men som er bedre hvis den dårlige tilstanden (stor klimaendring) slår til.
- Valg av B er å unnlate å investere i prosjekter som er lønnsomme ved mest sannsynlig klimapolitikk, men ulønnsomme ved streng klimapolitikk som særlig rammer olje.

Anta at sannsynligheten for tilstand 2 (som vi antar er den ugunstige tilstanden) er p . Da bør vi beslutte B hvis og bare hvis $(1-p)y^B(1) + py^B(2) > (1-p)y^A(1) + py^A(2)$.

I den videre analysen skal jeg gjøre følgende notasjonsmessige forenklinger:

$$\begin{aligned}
 (1) \quad & y^A(1) = y \\
 & y^B(1) = y - I \\
 & y^A(2) = y - K \\
 & y^B(2) = y - I - k \\
 & \Delta K = K - k
 \end{aligned}$$

Med denne nye notasjonen kan omskrives til tabell 3.2:

Tabell 3.2 *Beslutningsproblemet fra tabell 3.1 med alternativ notasjon.*

	Tilstand 1	Tilstand 2
Beslutning A	y	y-K
Beslutning B	y-I	y-I-k

Forutsetningene over innebærer at $\Delta K > I > 0$. Med denne notasjonen kan vi tolke beslutningsproblemet som følger: Valg av B i stedet for A kan ses på som en investering som uansett koster oss I . Hvis tilstand 1 inntreffer koster ikke denne investeringen noe av seg. Inntreffer derimot tilstand 2 gir investeringen en gevinst $\Delta K = K - k$. Betingelsen for å velge B fremfor A er som over: velg B dersom $p\Delta K > I$. Dette har en rett frem tolkning: Vi bør «investere i B» dersom forventet gevinst er større enn investeringskostnaden.

3.2 Svakheter og mangler ved standard økonomiske analyser

I en rekke artikler har professor Terje Aven stilt seg kritisk til analyser av typen over, se bl a vedlegg 1 i NOU (2018). Jeg kommer tilbake til denne kritikken, men går først gjennom rimelig kjente svakheter ved analyser av typen over. Etter min mening er en betydelig del av Avens kritikk dekket av disse.

Standard økonomisk analyser av typen over har i hvert følgende svakheter:

- Ukjente utfall, herunder svarte svaner
- Ukjente sannsynligheter
- Vanskelig å verdsette ikke-markedsgoder
- Ser bort fra risikoaversjon

Ukjente utfall

I tabellene 3.1 og 3.2 er tilstand 1 den normale tilstanden, mens tilstand 2 er den dårlige tilstanden som kan inntreffe med en viss sannsynlighet. Ofte vil en ikke vite nøyaktig hva som er egenskapene til den dårlige tilstanden. Så lenge det er en avgrenset mengde av veldefinerte muligheter betyr dette lite for det prinsipielle: Det er rett frem å utvide analysen med mange mulige dårlige tilstander, hver med sin sannsynlighet.

I noen tilfeller kan en imidlertid ikke utelukke «svarte svaner». En svart svane er en begivenhet som inntreffer og som en overhodet ikke kunne forestilt seg ex ante med det kunnskapsnivået en hadde på

beslutningstidspunktet. I vår sammenheng er det ugunstige svarte svaner som er særlig relevante. Men gunstige svarte svaner har også forekommet i historien. Antibiotika og elektrisitet er eksempler på svarte svaner sett på fra perspektivet til de som levde for noen hundre år siden. Når det gjelder klimarisiko er muligheten for svarte svaner særlig relevant for fysisk risiko. Med en temperaturøkning over 6 grader kan en ikke utelukke helt uforutsette negative konsekvenser. Slike uforutsette konsekvenser kan en per definisjon ikke tallfeste de økonomiske konsekvensene av. Dermed kan en heller ikke bruke standard analyser med beregning av forventningsverdier som beslutningsgrunnlag.

Ukjente sannsynligheter

I tabell 3.1 og 3.2 er sannsynlighetene for de ulike tilstandene kjent. I virkeligheten vil dette sjelden være tilfelle. En kan imidlertid ha en mer eller mindre velbegrunnet oppfatning av hva sannsynlighetene er. Slike sannsynligheter kalles *subjektive sannsynligheter*. Aven påpeker at det er viktig å være bevisst på kunnskapsgrunnlaget for de subjektive sannsynlighetene. Jo svakere kunnskapsgrunnlaget er, jo mindre tillit kan en ha til beslutninger basert på forventningsverdier. Jeg kommer tilbake til dette spørsmålet i avsnitt 7.

Ikke-markedsgoder

I tabell 3.1 og 3.2 er hver av de fire tabell-cellene en økonomisk verdi som antas fullt ut å beskrive situasjonen for den aktuelle cellen. Det er da implisitt antatt at alle virkninger er verdsatt og kan summeres til ett tall. Det er velkjent at det er betydelige utfordringer knyttet til å verdsette i kroner alle konsekvenser for liv, helse og andre ikke-markedsgoder. Disse utfordringene gjelder generelt for alle typer økonomiske analyser, og har ingen direkte sammenheng med forekomsten av usikkerhet. I noen tilfeller kan imidlertid det dårlige utfallet være spesielt dårlig for liv, helse og andre ikke-markedsgoder, slik at problemene knyttet til verdsetting er særlig aktuelle da. Dette er særlig relevant for fysisk klimarisiko, men neppe veldig relevant for overgangsrisiko.

Risikoaversjon

Når en treffer en beslutning basert på forventede økonomiske verdier, antas implisitt at beslutningstageren er risikonøytral. Når det er stor forskjell på verdiene i de ulike cellen i tabellene 3.1 og 3.2 kan det imidlertid være rimelig å anta at vi har risikoaversjon. I så fall må beslutningsregelen gitt i avsnitt 3.1 modifieres. Dette er et viktig poeng som derfor utdypes nærmere i neste avsnitt.

4 Risikoaversjon

Når en beslutningstager er risikonøytral er det bare den forventede verdien av beslutningen som betyr noe. Hvis beslutning A har høyere forventet økonomisk verdi enn beslutning B, er A det beste valget, selv om det er mer usikkerhet knyttet til A (som i tabell 3.1 og 3.2). Ved risikoaversjon betyr også usikkerheten noe: Hvis beslutning A gir et mer usikkert resultat enn beslutning B, vil A være det beste valget bare dersom forventet resultat av A overstiger forventet resultat av B med en viss margin. Hvor stor denne marginen må være avhenger av graden av risikoaversjon. Graden av risikoaversjon måles ofte ved en parameter for relativ risikoaversjon, se appendikset for detaljer. Denne parameteren antas ofte å ligge et sted mellom 2 og 10.

4.1 Betydningen av risikoaversjon

For å se hva risikoaversjon betyr bruker jeg et enkelt numerisk eksempel., med følgende tall:

$$(2) \quad \begin{aligned} y &= 100 \\ K &= 15 \\ k &= 5 \\ p &= 0.1 \end{aligned}$$

Med andre ord: Innen tidsperspektivet vi ser på er det en 10% sannsynlighet for at en dårlig tilstand vil inntreffe. Dersom vi beslutter A, vil den dårlige tilstanden gi et årlig tap lik 15% av Norges årlige inntekt. Dersom det i stedet besluttes B, vil tapet bli redusert til 5% av inntekten. Begge tapene er altså svært store, og trolig betydelig større enn realistiske tap knyttet til overgangsrisiko. De nøyaktige tallene er imidlertid ikke viktige, poenget med eksempelet er å belyse betydningen av risikoaversjon.

I dette eksempelet er $p\Delta K = 1$. Med risikonøytralitet vil en derfor velge B dersom $I < 1$ og A dersom $I > 1$. Med risikoaversjon vil en være villig til å betale mer for å redusere risikoen. La I^* være den verdien av I som gjør at beslutningene A og B vurderes som like gode. Med risikonøytralitet er altså $I^* = 1$, mens ved risikoaversjon er $I^* > 1$. Den nøyaktige størrelsen på I^* avhenger av graden av risikoaversjon. Første linje i tabell 4.1 gir verdien av I^* for risikonøytralitet, moderat risikoaversjon ($r=2$) og sterk risikoaversjon ($r=10$).

Tabell 4.1 *Kritisk verdi for I med verdier for p, K og k fra (2).*

	$r = 0$	$r = 2$	$r = 10$
$y = 100$	$I^* = 1$	$I^* = 1,21$	$I^* = 2,50$
$y = 1000$	$I^* = 1$	$I^* = 1,02$	$I^* = 1,09$
$y = 50$	$I^* = 1$	$I^* = 1,50$	$I^* = 5,46$

Risikoaversjon gir som vi ser en betydelig økning i hvor mye en er villig til investere for å redusere tapet knyttet til det dårlige utfallet (tilstand 2): Med sterk risikoaversjon er en villig til å investere opp til 2,50, mens en ved risikonøytralitet er en bare villig til å investere 1.

Risikoaversjon er bare av stor betydning dersom det mulige tapet er stort i forhold til samlet inntekt. Dette er tilfelle i linje 1: Det mulige tapet er 15% av inntekten dersom en beslutter A, men kan reduseres til 5% ved å beslutte B. I andre linje er tapet relativt mindre: 1,5% av inntekt under A og 0,5% under B. I dette tilfelle er størrelsen på I^* nesten upåvirket av om det er risikoaversjon eller ikke. Det motsatte er tilfelle i tredje linje, hvor det mulige tapet er hele 30% av inntekten under beslutning A, og 10% under B. I dette tilfelle øker I^* kraftig med graden av risikoaversjon.

Tap i størrelsesorden over 10-20% av inntekt virker svært usannsynlig for Norge som helhet. Men for enkeltsektorer kan en ikke utelukke slike store tap – reiselivsbransjen under Corona er et eksempel. Sett fra en slik enkelt sektors ståsted kan derfor risikoaversjon bety mye for hva som er den beste beslutningen.

Med risikonøytralitet er $I^* = p\Delta K$ og dermed uavhengig av både y og k (for gitt ΔK). Tabell 4.1 viste at I^* avhenger av inntekten y når vi har risikoaversjon. Tabell 4.2 viser at I^* også avhenger av størrelsen på det uunngåelige tapet k når vi har risikoaversjon. Jo større det uunngåelige tapet, jo mer er en villig til å investere for en bestemt tapsreduksjon.

Tabell 4.2 *Kritisk verdi for I med verdier for p , y og ΔK fra (2).*

	$r = 0$	$r = 2$	$r = 10$
$K = 15; k = 5$	$I^* = 1$	$I^* = 1,21$	$I^* = 2,50$
$K = 10; k = 0$	$I^* = 1$	$I^* = 1,10$	$I^* = 1,62$
$K = 20; k = 10$	$I^* = 1$	$I^* = 1,34$	$I^* = 3,73$

4.2 Risikoaversjon og kalkulasjonsrente

I typiske kostnads-nytteanalyser for offentlige prosjekter brukes forventningsverdier for alle relevante størrelser. Som nevnt i avsnitt 2.1 kan dette gi feil resultat selv om en har risikonøytralitet. Den riktige fremgangsmåten er å beregne forventet nåverdi når en eksplisitt tar hensyn til sannsynlighetsfordelingen til variablene som inngår i analysen. Dersom alle sammenhenger som inngår i analysen er (nesten) lineære, gir de to fremgangsmåten(nesten) samme resultat.

Begrunnelsen for å anta risikonøytralitet i standard kostnads-nytteanalyser er at for nesten alle relevante prosjekter er de økonomiske konsekvensene små i forhold til Norges totale økonomi. Fra drøftingen i forrige avsnitt vet vi at risikoaversjon betyr tilnærmet null når de økonomiske størrelsene er små relativt til Norge økonomi, og vi gjennomfører en samfunnsøkonomisk analyse for Norge som helhet.

Til tross for dette bruker vi en risikokorrigert rente når en beregner nåverdier. Begrunnelsen for dette er at framtidige økonomiske størrelser typisk er positivt korrelert med fremtidig totalinntekt for Norge. Når det så antas risikoaversjon for totalinntekten til Norge betyr dette at utfallene med høy fremtidig totalinntekt gis mindre vekt enn utfallene med lav fremtidig inntekt. I og med at Norges totalinntekt er mer usikker jo lenger inn i fremtiden vi ser, bør justeringen for risikoaversjon være sterkere jo lenger inn i fremtiden vi ser. Det er nettopp dette som blir gjort når en har en risikokomponent i kalkulasjonsrenten.

La oss igjen se på vårt enkle eksempel, og anta nå at ΔK er liten i forhold til y . Hvis I og ΔK refererte seg til samme tidspunkt ville kriteriet for å velge B fremfor A være at $p\Delta K - I > 0$. Anta imidlertid at I referer seg til nåtid og ΔK til fremtid, og ΔK at er positivt korrelert med usikker fremtidig totalinntekt. Da blir kriteriet for å velge B fremfor A (med null risikofri rente for å forenkle notasjon) $p\beta\Delta K - I > 0$ hvor $\beta < 1$ pga den positive korrelasjonen med fremtidig totalinntekt. Med tallene fra tabell 4.1 (med $y=1000$ eller større siden vi har antatt ΔK liten i forhold til y) gir dette $I^* < 1$.

I tabellene 4.1 og 4.2 førte risikoaversjon til at $I^* > 1$ (men tilnærmet lik 1 i andre linje i tabell 4.1), mens vi i resonnetet over fant $I^* < 1$. Årsaken til forskjellen ligger i følgende to forhold:

- I tabellene 4.1 og 4.2 antok jeg at ΔK var «stor», i dette avsnittet antok jeg ΔK var «liten».
- I tabellene 4.1 og 4.2 antok jeg at ΔK var uavhengig av annen inntekt, i dette avsnittet antok jeg at ΔK var positivt korrelert med Norges fremtidige inntekt.

Konklusjonen på alt dette er at dersom en skal gjøre en økonomisk analyse hvor et mulig unngåelig tap er svært stort i forhold til Norges inntekt (10% i hovedtilfellet i tabellene 4.1 og 4.2), må analysen gi en grundig behandling av risikoaversjon, mulige korrelasjoner mellom ulike inntektskomponenter, og kalkulasjonsrente.

5 Avens kritikk av standard økonomisk analyse

I NOU (2018) skriver Aven i vedlegg 1

For å vurdere klimatiltak vil bruk av tradisjonelle kost-nytteanalyser i de fleste tilfeller ikke være formålstjenlige i og med at usikkerhetene er store. Brede vurderinger av plusser og minuser ved ulike tiltak vil i de fleste tilfeller være den beste måten å vurdere hvor gode tiltakene er.

Og videre:

For å vurdere om et tiltak bør implementeres er det behov for en vurdering av plusser og minuser av tiltaket. Det er i hovedsak to metoder som brukes i praksis.

- 1. Økonomiske kost-nytteanalyser med basis i beregninger av forventet nåverdi.*
- 2. Brede vurderingsprosesser med basis i vurderinger av plusser og minuser ved å implementere tiltaket.*

Metode 1 kan brukes i forhold til situasjoner der usikkerhetene er minimale, det vil si at en kan gjøre gode prediksjoner av hva som vil skje i fremtiden – variasjonen i utfall er kjente, og porteføljen av prosjekter er veldig stor (f.eks. samfunnsnivå)[...]

For mulig implementering av tiltak for å styre risiko når det gjelder ekstreme hendelser, vil metode 2 måtte brukes. I praksis vil det være denne metoden som må brukes for å vurdere om et tiltak bør implementeres når det gjelder de fleste klimaspørsmålene.

Aven avviser altså ikke kostnads-nytteanalyser for «vanlige» prosjekter. Det er riktig at enkelte spørsmål knyttet til klima kan ha konsekvenser som er svært store, dvs «ekstremhendelser». Dette gjelder særlig fysisk klimarisiko. Men sett fra norsk ståsted og hva Norge kan påvirke er det ikke opplagt at vi snakker om ekstreme utslag knyttet til norske beslutninger. Norge kan ikke påvirke den globale klimautviklingen; vi kan bare gjøre ting som påvirker hvordan Norge blir rammet av en eksogen klimautvikling. I vår terminologi: Dersom tilstand 2 inntreffer, rammes Norge uansett hardt, dvs både K og k er store. Men forskjellen ΔK , som avhenger av hva Norge beslutter, er trolig mer beskjeden. Når det gjelder overgangsrisiko kan konsekvensene for Norge i noe større grad påvirkes av norske beslutninger.

I den videre drøftingen antar jeg likevel at vi ser på en situasjon med stor usikkerhet, dvs mulighet for et svært negativt utfall varierer sterkt på tvers av mulig beslutninger Norge kan ta (dvs stor ΔK i vår terminologi). Avens kritikk mot bruk av standard økonomisk analyse i slike tilfeller kan så vidt jeg kan forstå oppsummeres som følger:

- a) Vanskelig/umulig å beskrive og tallfeste alle konsekvenser av en beslutning*
- b) Sannsynligheter er subjektive og bygger muligens på et svakt kunnskapsgrunnlag*
- c) Forventet økonomisk verdi gir ikke hele bildet når det er stor usikkerhet*

Når det gjelder a) antas det typisk i en økonomisk analyse at en har kartlagt alle mulige utfall (to i tabell 3.1) med tilhørende sannsynligheter for hver mulig beslutning (to i tabell 3.2). I virkeligheten ligger det selvsagt et svært stort arbeid i denne kartleggingen, og en vil ofte ikke greie å beskrive alle mulige utfall. Spesielt for fysisk klimarisiko vil svarte svaner også være aktuelle – sannsynligheten for noe helt uventet (og svært negativt) kan være ulik for ulike valg en tar.

Kunnskapsgrunnlaget for å anslå subjektive sannsynligheter kan være svakt (punkt b over). Grunnlaget for å velge mellom to beslutninger blir da tilsvarende svakt.

Om c) skriver Aven:

Forventet verdi er en risikoindeks eller metrikk, ikke risiko i seg selv. Det er en indeks som kan være nyttig i en forsikringskontekst, der en har et stort antall prosjekter og variasjonen for disse er kjent. Da vil forventningsverdien kunne gi rimelige estimater på det faktiske gjennomsnittet av prosjektene. Generelt er imidlertid forventningsverdien lite egnet til å beskrive de faktiske utfall og ikke minst ekstreme verdier og overraskelser, som er av vesentlig betydning for å forstå og beskrive risiko...

Det er trivielt at ett tall (her: forventet verdi) ikke kan beskrive en hel sannsynlighetsfordeling. Det er ikke dermed sagt at ikke dette tallet kan være viktig for å treffe beslutninger. For ekstreme verdier kan det som forklart i avsnitt 4.1 være aktuelt å ta hensyn til risikoaversjon når en skal treffe en beslutning. I så fall er det ikke bare forventet økonomisk verdi som påvirker beslutningen, siden korrigeringen for risikoaversjon vil avhenge også av graden av usikkerhet.

Det er vanskelig å få tak i nøyaktig hva Aven mener er et godt alternativ til standard økonomisk teori; spesielt hva som ligger i «brede vurderinger av plusser og minuser ved ulike tiltak». Aven skriver følgende om dette:

En mulig måte å implementere metoden på er som følger:

- 1. Dersom kostnadene er små, implementer tiltaket dersom det har en positiv effekt på klimaet.*
- 2. Dersom kostnadene er betydelige, foreta en vurdering av alle relevante plusser og minuser ved tiltaket. Dersom forventet nåverdi (eller tilsvarende indekser) kan meningsfullt beregnes, implementer tiltaket dersom denne er positiv.*
- 3. Vurder også å implementere tiltaket dersom det gir betydelig positiv effekt på risiko og/eller andre forhold, f.eks.*
 - Reduksjon av usikkerhet, styrking av kunnskapen*
 - Styrking av robustheten ved farer/trusler, styrking av resiliensen*

Dette ser for meg ut som ganske likt standard kostnads-nytteanalyse med korreksjoner for risikoaversjon («reduksjon av usikkerhet») og for ikke-verdsatte konsekvenser.

6 Føre-var-prinsippet

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 av Aven 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 ikke opplagt hvordan en kan bruke et slikt prinsipp til å velge mellom ulike beslutninger. Dersom vi i tabell 3.2 har $k = 0$ vil B ha et helt sikkert utfall, mens konsekvensen av A er usikkert. Tolket bokstavelig skal en da velge B uansett hvor stor I er (så sant $I + k < K$, dvs så sant $I < \Delta K$, og uansett hvor liten sannsynligheten p antas å være.

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 miljøsammenheng er at det kan være vanskelig på forhånd å vite hva miljøkonsekvensene blir, og dermed å verdsette disse (jfr svarte svaner). For overgangsrisiko er det som nevnt tidligere trolig enklere å forutse mulige konsekvenser, og dermed også å tallfeste verdiene for ulike beslutninger og utfall.

Videre skriver Aven:

Høsten 2009 var det mange som grublet over om de skulle la seg vaksinere mot svineinfluensa eller la være. Vaksinen var ikke testet skikkelig og det var vitenskapelig usikkerhet med hensyn til hva konsekvensene av vaksinen ville bli. Noen unnlot å la seg vaksinere. De anvendte føre-var prinsippet.

Problemet med dette er at for den enkelte var det også stor usikkerhet knyttet til å ikke vaksinere seg. Hva var sannsynligheten for å bli smittet? Hva var konsekvensen hvis smittet?

Et klimarelatert eksempel er følgende. Sett at en ved en ambisiøs global klimapolitikk uten økt bruk av kjernekraft kan flytte sannsynlighetsfordelingen i Figur 1 så langt til venstre at sannsynligheten for mer enn 6 grader er 2%. Dersom en også tar i bruk vesentlig mer kjernekraft reduseres sannsynligheten til 1%. Men samtidig øker i så fall sannsynligheten for en ulykke knyttet til kjernekraft. Både konsekvensen av atomulykke og temperaturøkning over 6 grader er ukjent men kanskje katastrofalt store. Hva skal en velge? Førre-var prinsippet gir ingen veiledning.

Aven knytter også førre-var prinsippet til ordtaket «bedre førre var enn etter snar». Eller omskrevet: «skyt først, spør etterpå». Et tenkt eksempel på sistnevnte: Land U føler seg truet land N. Dersom U velger A (vent og se) er det en positiv sannsynlighet for at N bygger opp atomvåpen og kommer i krig med U, med store negative konsekvenser for U. Eller U kan velge B, som er å angripe N umiddelbart. Ved dette valget elimineres risikoen for at N blir i stand til å utvikle kjervåpen som kan bli brukt mot U senere. Beslutning B antas å bare ha en lav kostnad for U. Bokstavelig tolket skulle forsiktighetsprinsippet og førre-var prinsippet tilsi beslutning B, dvs å angripe land N umiddelbart.

Forsiktighetsprinsippet og førre-var prinsippet er etter min mening ikke egnet til gode beslutninger uten at de kombineres med innsalg av standard kostnads-analyser. Jeg kommer tilbake til dette i slutten av neste avsnitt.

7 Andre beslutningsregler

Når kunnskapsgrunnlaget for å denne subjektive sannsynligheter er svakt, kan en ønske å se på beslutningsregler som i liten eller ingen grad er basert på subjektive sannsynligheter. I Heal og Millner (2014) og Vista Analyse (2018) gjennomgås en rekke slike beslutningsregler. I dette avsnittet gjengis bare tre. De to første bruker ikke subjektive sannsynligheter i det hele tatt, mens den siste baserer seg på at en har noe kunnskap om hva som er rimelige sannsynligheter.

7.1 Maxmin-regelen

Wald (1945) foreslo *maxmin-regelen*: En skulle velge det alternativet som var best for det verste utfallet. I vårt eksempel fra Tabell 3.2 er dette B, da dette i verste fall gir $y-l-k$, mens A i verste fall gir $y-K$ (og vi har antatt at $I < K - k$). En svakhet ved kriteriet er at det gir all vekt til det verst tenkelige utfallet. Det kan også gi rare utslag hvis eksempelet vårt modifiseres litt. Anta at vi har tre i stedet for to tilstander. For A er tilstand 2 og 3 like, men for B er de ulike: I B får vi enten ikke noe tap ($k = 0$; tilstand 2) eller tapet blir som under A ($k = K$; tilstand 3). Dette er gjengitt i tabell 7.1.

Tabell 7.1 *Beslutningsproblemet med tre mulige tilstander.*

	Tilstand 1	Tilstand 2	Tilstand 3
Beslutning A	y	y-K	y-K
Beslutning B	y-l	y-l	y-l-K

Nå sier maxmin-regelen at A er den beste beslutningen uansett hvor liten sannsynligheten for tilstand 3 er, så sant den er positiv (siden $y - I - K < y - K$). Men hvis denne sannsynligheten antas å være null kan vi se bort fra siste kolonne i Tabell 7.1, og da er B det beste valget.

Merk at denne regelen samsvarer med en bokstavelig tolkning av forsiktighetsprinsippet.

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*. NOU (2012) viser også til Bishop (1978), som eksplisitt ser på at gevinsten $p\Delta K$ (i vår terminologi) er ukjent.

Dermed kan ikke den maksimale kostnaden I^* beregnes, og Bishop foreslår i stedet å sette I^* skjønnsmessig. Dette innebærer i så fall at en gir opp å gjennomføre en analyse som kan hjelpe oss til å fastslå I^* . Prinsippet er derfor ikke særlig nyttig når det gjelder å vurdere tiltak som kan redusere klimarisiko.

7.2 Minmax-regret regelen

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 i tabell x: For

A er max regret lik $(y-K) - (y-I) = K - I$ mens B gir max regret lik I . Hvis $I < K/2$ er max regret minst for beslutning B, som derfor bør velges.

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.

7.3 Ufullstendig beslutningsregel

Beslutningsreglene drøftet over 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 beslutningsproblemet i tabell 3.2 med risikonøytralitet hvor alle ingredienser i analysen er kjent unntatt sannsynligheten 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. For situasjonen i tabell 3.2 vil det da være en entydig anbefaling om å velge B dersom $I < p^L \Delta K$ og å velge A dersom $I > p^H \Delta K$. Dersom $p^L \Delta K < I < p^H \Delta K$ finnes det ingen entydig anbefaling. Både A og B 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 K og k , og egenskaper ved preferansene. Eksempel på sistnevnte er at en er usikker på hvilken grad av risikoaversjon en skal bruke, men at den ligger mellom 2 og 10. Med tall fra første linje i tabell 4.1 kan vi da konkludere at vi bør entydig anbefale B dersom I er lavere enn 1,21 og entydig anbefale A dersom I er høyere enn 2,50. For verdier av k mellom 1,21 og 2,50 kan en forsvare både A og B.

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. Innenfor dette innsnevrede mulighetsområdet kan forsiktighetsprinsippet eller føre-var prinsippet i noen tilfeller hjelpe en til å treffe en endelig beslutning.

Referanser

- 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.
- Heal and Millner (2014), Reflections: Uncertainty and Decision Making in Climate Change Economics. *Review of Environmental Economics and Policy* 8, 120-137.
- NOU (2012), *Samfunnsøkonomiske analyser*, NOU 2012:16.
- NOU (2018), *Klimarisiko og norsk økonomi*, NOU 2018:17
- Savage, L. J. 1954. *The foundations of statistics*. Wiley and Sons.
- Vista Analyse (2018), *Økonomisk analyse av HILP-hendelser*. Rapport 2018/31.
- Wald, A. 1945. Statistical decision functions which minimize the maximum risk. *The Annals of Mathematics* 46 (2): 265–80.
- Wagner G. og Weitzman, M. (2015). *Climate Shock*. Princeton University Press. Princeton and Oxford.

Vedlegg

Teorien om forventet nytte forutsetter at en beslutningstager kan rangere alle mulige konsekvenser av sine handlinger og at disse preferansene tilfredsstillende fire såkalte «aksiomer», dvs grunnleggende forutsetninger som av de fleste vil bli oppfattet som svært rimelige.

La x være en variabel som kan anta de fire ulike verdiene i Tabell 3.2. Hvilken verdi x faktisk blir avhenger av beslutning (A eller B) og tilstand (1 eller 2). 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 de to beslutningene i tabell 3.2 er

$$Eu^A = (1-p)u(y) + pu(y-K)$$

$$Eu^B = (1-p)u(y-I) + pu(y-I-k)$$

Vi velger da B hvis og bare hvis $Eu^B > Eu^A$. Den maksimalt akseptable verdien for investeringen I som vi kaller I^* , er verdien på I 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 $I^* = p(K-k) = p\Delta K$.

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 $p\Delta K < I^* < \Delta K$.

For å kunne si mer om maksimalkostnaden I^* må vi vite mer om nyttefunksjonen u , samt størrelsene som inngår i tabell 3.2. Når det gjelder nyttefunksjonen u , antas det ofte at den har konstant relativ risikoaversjon r . Da har funksjonen u formen (for $r \neq 1$)

$$u = wx^{1-r}$$

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

I avsnitt 4.2 har jeg brukt denne funksjonsformen og beregnet verdien I^* som gjør at $Eu^B = Eu^A$.



Vista Analyse AS
Meltzers gate 4
0257 Oslo

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