

# Risiko i nytte- kostnadsanalyser av miljøinvesteringer

# Risiko i nytte- kostnadsanalyser av miljøinvesteringer

Utarbeidet for Miljøverndepartementet

# Innhold:

SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER .....	1
1 INNLEDNING .....	5
1.1 Bakgrunn .....	5
1.1.1 Finansdepartementets <i>Veileder</i> er ufullstendig .....	5
1.1.2 Disposisjon og leserveiledning .....	6
1.2 Teoretisk utgangspunkt .....	6
1.2.1 Diskontering av sikre og usikre investeringer .....	6
1.2.2 Kapitalverdimodellen (KAPM) .....	7
1.3 Tallfesting av beta .....	10
1.3.1 Innledning .....	10
1.3.2 Beregning av beta på grunnlag av betalingsvilje for miljøgoder .....	11
1.3.3 Grønne aksjefond: Investering i miljøaktive bedrifter .....	12
1.3.4 Investeringer i energisektoren .....	13
1.3.5 Forebyggende klimatiltak .....	14
1.4 Litteraturoversikt .....	14
1.4.1 Offentlige miljøinvesteringer i et porteføljeperspektiv .....	14
1.4.2 Studier som anslår beta for privat og offentlig virksomhet i Norge ...	14
1.4.3 Avkastning og risiko ved bedrifters miljøinvesteringer .....	16
2 TEORETISK UTGANGSPUNKT .....	17
2.1 Usikkerhet og diskontering .....	17
2.1.1 En vid definisjon av usikkerhet .....	17
2.1.2 Diskontering av usikre miljøinvesteringer .....	18
2.2 Kapitalverdimodellen (KAPM) .....	19
2.2.1 Nasjonalformue, investering og usikker avkastning .....	20
2.2.2 Usikkerhet i en portefølje av investeringer .....	22
2.2.3 KAPMs hovedlikning .....	26
2.2.4 Anvendelse på miljøinvesteringer .....	27
2.2.5 Relevansen av KAPM .....	29
2.3 Måter å tallfeste beta på .....	31
3 LITTERATUROVERSIKT .....	33
3.1 Offentlige miljøinvesteringer i et porteføljeperspektiv .....	33
3.2 Anslag på beta for privat og offentlig virksomhet i Norge .....	37
3.2.1 Privat virksomhet .....	37
3.2.2 Offentlig virksomhet .....	38
3.3 Avkastning og risiko ved bedrifters miljøinvesteringer .....	43
4 EKSEMPLER PÅ EGNE BETAANSLAG FOR MILJØ- INVESTERINGER .....	47
4.1 Beregning av beta på grunnlag av betalingsvilje for miljøgoder .....	47
4.2 Grønne aksjefonds: Investering i miljøaktive bedrifter .....	52
4.3 Investeringer i energisektoren .....	55
4.4 Forebyggende klimatiltak .....	59
VEDLEGG 1: UTLEDNING AV KAPM-LIKNINGEN .....	71
VEDLEGG 2: MODELL FOR AVKASTNING AV ENERGI - INVESTERINGER .....	75



# Sammendrag og konklusjoner

## Resymé

*Utgangspunktet for denne studien er at mange finner det vanskelig å godta at de langsiktige virkningene av miljøtiltak teller lite i standard nytte-kostnadsanalyser. Vi undersøker om det er mulig å finne viktige eksempler på at diskonteringsrenten bør være spesielt lav fordi avkastningen på miljøprosjekter varierer i utakt med nasjonalinntekten. Vi finner at mange miljøinvesteringer bare bør få et lite risiko-tillegg til den risikofrie renten, og at noen bør få et fradrag fordi de innebærer en forsikring.*

## Miljøinvesteringer kommer ofte dårlig ut i nytte-kostnadsanalyser

Miljøtiltak har ofte som formål å sikre miljøet på lang sikt, gjerne over generasjoner. I nytte-kostnadsanalyser blir imidlertid avkastning som kommer mer enn ti–femten år frem i tid, vanligvis diskontert bort. Med en rentesats på 10 prosent blir verdien av én krone redusert til 39 øre etter 10 år og til 15 øre etter 20 år. Det virker kontraintuitivt at miljøinvesteringer kommer dårlig ut i forhold til investeringer som gir økonomisk avkastning på kort sikt, men som kanskje medfører miljøskader på lang sikt.

## Diskontering og miljø

Det er mange, også fagfolk, som mener at hensynet til framtidige generasjoner gjør at det ikke er etisk forsvarlig å diskontere miljøinvesteringer. Diskusjonen om dette har blusset opp i forbindelse med vurderinger av klimainvesteringer. Vurdert med vanlig diskonteringsrente er det mange klimainvesteringer som ikke lønner seg rett og slett fordi klimaskadene viser seg først langt frem i tid.

Finansdepartementet kommer i *Veiledning i samfunnsøkonomiske analyser* til at det ikke bør fastsettes noen egen diskonteringsrente for langsiktige miljøprosjekter. Isteden finner departementet at det for en rekke miljøgoder neppe er hensiktsmessig å ta utgangspunkt i betalingsvilje målt i penger. Dessuten mener departementet at den relative prisen på miljøgoder vil tendere til å gå opp dersom senere generasjoner blir rikere enn oss, og det vil oppveie noe av diskonteringen.

Imidlertid kan ytterligere et moment komme i tillegg. Det er at avkastningen på miljøinvesteringer kan variere på en annen måte enn andre investeringer. I så fall tilsier det en annen, og ofte lavere, diskonteringsrente. Analogien her er med forsikringer. De fleste tegner forsikringer selv om det er lite sannsynlig at de fører til utbetaling. Grunnen er selvfølgelig at forsikringene reduserer den samlede usikkerheten en utsettes for. Tilsvarende kan miljøinvesteringer tjene som en

forsikring for samfunnet. Dette forsikringsaspektet kommer til uttrykk i analysen som en lav diskonteringsrente.

### **Det er den samlede usikkerheten som teller, ikke usikkerheten i det enkelte prosjekt**

Hvis avkastningen av miljøinvesteringer varierer på en annen måte enn på andre investeringer, betyr det at miljøinvesteringer påvirker usikkerheten i hele porteføljen av investeringer og tiltak som en skal leve av i fremtiden, på en egen måte. Usikkerheten i det enkelte prosjektet eller tiltaket isolert sett er ikke av interesse, den er irrelevant.

Det skyldes at ved å spre investeringen på mange ulike prosjekter kan samfunnet *diversifisere* bort usystematisk risiko, det vil si risiko som ikke er systematisk for hele økonomien. Bare den usikkerheten er relevant som ikke kan diversifiseres bort fordi den varierer systematisk for hele porteføljen. Prosjekter med usikkerhet som ikke er relevant skal vurderes på samme måte som prosjekter uten usikkerhet.

### **Tallfesting av virkningen på samlet usikkerhet – $\beta$ (beta)**

I finansielle markedsanalyser er det innført et hjelpemiddel i form av en parameter,  $\beta$  (beta), som uttrykker samvariasjonen mellom avkastningen til den investeringen en vil vurdere og avkastningen til kurven av alle andre investeringer en gjennomfører. Avkastningen av denne kurven er for praktiske formål lik nasjonalinntekten.  $\beta$  uttrykker dels hvor sterk variasjonen i avkastningen fra prosjektet er i forhold til variasjonen i nasjonalinntekten. Dels uttrykker  $\beta$  om prosjektet varierer i takt eller i utakt med nasjonalinntekten.

Når et prosjekt har en avkastning som varierer i takt med og like sterkt som nasjonalinntekten, er  $\beta$  lik +1. Da vil prosjektet ikke påvirke samlet usikkerhet. Når  $\beta$  er lik -1, varierer avkastningen like sterkt, men helt motsatt, av nasjonalinntekten. Et prosjekt med negativ  $\beta$  vil *redusere* samlet usikkerhet selv om det har stor usystematisk usikkerhet (forsikring). Når  $\beta$  er lik 0, skal prosjektet behandles som en helt sikker investering. Alle prosjekter med  $\beta$  mindre enn 1 reduserer usikkerheten i nasjonalinntekten.

### **Problemstilling**

*Vi undersøker om det finnes erfaringsmateriale som viser at enkelte miljøinvesteringer har en avkastning som varierer i utakt med nasjonalinntekten. Det tilsier i såfall at en skal bruke en lav diskonteringsrente for disse miljøinvesteringene. Det gjør vi ved å finne frem til anslag for samvariasjonen, uttrykt ved  $\beta$ , mellom nasjonalinntekten og nytten av typiske miljøinvesteringer.*

### **Konklusjoner og tilrådinger**

Vi kommer frem til en rekke anslag for  $\beta$  for typiske miljøinvesteringer. De fleste anslagene ligger under +1, noen bare litt, andre også betydelig under 0. Se tabell A. Det betyr at avkastningen på miljøinvesteringer skal ha et mindre risikotillegg enn andre investeringer. Vi understreker at vi bare sett på diskontering for usikkerhet, ikke på forventet avkastning av miljøtiltak i forhold til andre investeringer.

Tabell A Nye forslag til diskonteringsrente jevnført med anbefalingene i  
Finansdepartementets Veileder. Prosent

Kilde for tallfesting	Anslag for $\beta$	Diskonteringsrente som følger av $\beta$	Veilederens diskonteringsrente
Betalingsvilje for miljøgoder	0,5 – 1,5	5,8 – 10,3	4 – 6
Grønne fond	0,31 – 0,53	4,9 – 5,9	6
Fjernvarmeanlegg: Biobrensel	-0,06	3,2	6
Fjernvarmeanlegg: Varmepumpe	-0,04	3,3	6
Forebyggende klimatiltak	-3,37 – -1,57	-11,7 – -3,6	6 – 8

Vi har nyttet fire tilnærminger for å tallfeste  $\beta$ : Undersøkelser av betalingsvilje for miljøgoder, svingninger i avkastningen på grønne fond, anslag for avkastningen på energiinvesteringer og av forebyggende klimatiltak. De gir ulike resultater.

Vi finner stor variasjon i *betalingsviljen* for miljøgoder. Den øker ikke nødvendigvis like raskt som inntekten. Det er ikke nødvendigvis i strid med en antakelse om at den relative prisen på miljøgoder vil komme til å stige over tid. Imidlertid vil årsaken ikke bare være at vi blir rikere, men at tilgangen på miljøgoder ligger fast eller kan gå ned. Derfor er det mulig å legge til grunn både liten usikkerhet og stigende verdi av godt miljø, og begge deler vil bidra til økt lønnsomhet av miljøtiltak i nytte-kostnadsanalyser.

*Grønne fond* har en lavere usikkerhet enn totalindeksen,  $\beta < 1$ , og jo grønnere, jo mindre usikkerhet.

De to eksemplene på investeringer i *energisektoren* beveger seg såpass i motfase med den generelle økonomiske utviklingen at  $\beta$  er om lag 0.

For *klimatiltak* finner vi klart negative  $\beta$ . Det vil si at avkastningen er i utakt med nasjonalinntekten, og da fungerer de som forsikring. Når en bruker risikotillegg til renten for å ta hensyn til usikkerhet, skal tillegget for slike prosjekter være negativt. Det vil si at den renten som brukes til diskontering skal være lavere enn den risikofrie renten. Vi finner flere eksempler på så sterkt negativ  $\beta$  at diskonteringsrenten til og med bør være negativ. Det innebærer at den neddiskonterte verdien av slike tiltak kan bli meget høy.

Finansdepartementets *Veiledning i samfunnsøkonomiske analyser* drøfter ikke muligheten for at  $\beta$  kan være negativ eller lav, på grunn av at avkastningen er i utakt med nasjonalinntekten. Den bør derfor suppleres slik at den tar bedre hensyn til de spesielle egenskapene ved miljøinvesteringer. Samtidig er det nødvendig å understreke at våre resultater er tentative. For å kunne utarbeide nye retningslinjer for offentlige miljøinvesteringer er det nødvendig med mer omfattende studier.





# 1 Innledning

## 1.1 Bakgrunn

Utgangspunktet for denne studien er at mange finner det kontraintuitivt at de langsiktige virkningene av miljøtiltak teller lite med i standard nytte-kostnadsanalyser. Finansdepartementet drøfter dette spørsmålet i *Veiledning i samfunnsøkonomiske analyser*, men kommer til at det ikke bør fastsettes noen egen diskonteringsrente for langsiktige prosjekter. Isteden peker departementet på at for en rekke miljøgoder er det neppe hensiktsmessig å ta utgangspunkt i betalingsvillighet målt i penger. Dessuten mener departementet at den relative prisen på miljøgoder vil tendere til å gå opp dersom senere generasjoner blir rikere enn oss. Vi har her studert et tredje moment som kan komme i tillegg. Det er at avkastningen på miljøinvesteringer kan variere i utakt med avkastningen på andre investeringer, og det tilsier i så fall en annen, og lavere, diskonteringsrente.

Oppdragsgiver er Seksjon for miljøøkonomi og analyser i Avdeling for organisasjon og økonomi i Miljøverndepartementet. Formålet er å undersøke om det er grunnlag for å anse egne kalkulasjonsrenter for offentlige investeringer på miljøområdet.

### 1.1.1 Finansdepartementets *Veileder* er ufullstendig

Kostnadsberegningutvalget, og i tråd med det Finansdepartementet i sin *Veiledning*, setter den risikofrie renten til 3,5 prosent og avkastningen i aksjemarkedet til 8 prosent, og utvalget anbefaler at prosjekter med *om lag samme risiko* (underforstått: systematisk risiko) *som et gjennomsnittlig prosjekt finansiert i aksjemarkedet* bør bruke en rente på 8 prosent. Det gjenspeiler forutsetningen om at avkastningen svinger i takt med markedet, og at samlet risikoeksponering øker med prosjektenes størrelse. Prosjekter med *middels risiko* bør bruke en rente på 6 prosent. I disse prosjektene er altså utslaget i svingningene vel halvparten av utslaget i markedet som helhet. Prosjekter med *lav risiko* bør bruke en rente på 4 prosent. Her er svingningene ned mot en tidel av i markedet for øvrig.

Disse reglene viser ikke hvordan en skal vurdere tiltak med avkastning som varierer i utakt med avkastningen av landets referanseportefølje, det vil si nasjonalinntekten. Et prosjekt kan være utsatt for systematisk risiko som skyldes usikkerhet om hendelser som påvirker all aktivitet i landet. Likevel kan det bidra lite til, eller til og med redusere, den samlede usikkerheten for nasjonen hvis avkastningen svinger i utakt med markedet som helhet. Det er særlig aktuelt for miljøinvesteringer.

Ta for eksempel en investering som yter et bidrag til å bremse økningen i drivhuseffekten. Avkastningen av prosjektet har stor usikkerhet fordi det ikke er sikkert at drivhuseffekten kommer, og hvis den kommer er det ikke sikkert den gir særlige problemer. Men hvis den kommer og hvis den gir store problemer vil den påvirke avkastningen av de aller fleste investeringer. De investeringene i klimatilstand som hemmer drivhuseffekten er derfor utsatt for systematisk risiko. Likevel vil de redusere den samlede risikoen som landet utsettes for på grunn av drivhuseffekten, fordi avkastningen på andre investeringer ikke blir fullt så lav som den ville blitt uten klimatilstandene.

Når avkastningen av investeringen svinger i utakt med markedet som helhet, bør diskonteringsrenten være lavere enn den sikre renten, det vil si lavere enn 3,5 prosent. I prinsippet kan en ikke utelukke en rente på 0, eller endog negativ rente.

## 1.1.2 Disposisjon og leserveiledning

Kapittel 2 gir en oversikt over det teoretiske grunnlaget for å innarbeide hensyn til risiko i diskonteringsrenten. Samvariasjonen mellom avkastningen for ulike typer investeringer uttrykt ved parameteren  $\beta$  (beta) bestemmes i den helt sentrale kapitalverdimodellen (KAPM). Avsnitt 2.1 gir en kort oversikt over begrepene usikkerhet og diskontering i tilknytning til nytte-kostnadsanalyser. Avsnitt 2.2 gjør rede for KAPM og fordrer noe kjennskap til økonomisk teori. Selv om vi har forsøkt å gjøre rede for komplisert teori på en verbal og forenklet måte, vil særlig avsnitt 2.2 kunne falle tungt for mange, men det kan leses cursorisk eller hoppes over. Avsnitt 2.3 skisserer opplegg for å anslå  $\beta$  for ulike investeringer.

Kapittel 3 gir en oversikt over litteratur som diskuterer behandling av risiko i diskontering av miljøinvesteringer, og presenterer ulike anslag fra litteraturen for  $\beta$  for offentlig virksomhet der relevant markedsinformasjon i stor grad ikke finnes, og for private miljøinvesteringer der markedsinformasjon kan utnyttes.

Kapittel 4 presenterer våre fire eksempler på anslag for  $\beta$  for ulike typer miljøinvesteringer.

Fordi dette er en lang rapport som til dels bruker en matematisk fremstilling som kan være tungt tilgjengelig for mange, gir vi i resten av dette kapitlet en kort presentasjon av innholdet i kapitlene 2, 3 og 4.

## 1.2 Teoretisk utgangspunkt

### 1.2.1 Diskontering av sikre og usikre investeringer

Når en vurderer om et investeringsprosjekt skal gjennomføres, må en ta stilling til hvordan kostnader og inntekter som påløper på ulike tidspunkter skal sammenliknes. I tilfeller hvor framtidige inntekts- og kostnadsstrømmer er sikre (det vil si kjent på investeringstidspunktet), er vanlig praksis å diskontere alle inntekter og kostnader ned til i dag med en risikofri diskonteringsrente for alle prosjektets perioder. Deretter trekker en fra investeringsbeløpet for å finne nåverdien av prosjektet. Diskonteringsrenten, eller avkastningskravet, reflekterer den alternative avkastningen av de ressursene som bindes i prosjektet. Renten skal også representere nyttetapet av det forbruket som forsakes ved at en binder midler

i investeringen. I en optimal situasjon gir de to betraktningene samme resultat. Når nåverdien er positiv, er avkastningen på investeringen større enn den alternative avkastningen som kan oppnås, og det er et vanlig investeringskriterium å gjennomføre de prosjektene som har positiv nåverdi.

Imidlertid er vanligvis de framtidige inntekts- og kostnadsstrømmene *usikre*. For miljøinvesteringer er usikkerheten dels knyttet til fysiske faktorer (utslipp, forhold i resipientene, etc.), og dels til menneskers vurdering av disse fysiske endringene. Med miljøinvesteringer forstår vi i denne rapporten investeringer som har miljøeffekter som hovedformål.

Vi tar bare opp problemstillinger der usikkerheten ses på som en ulempe i den forstand at i valget mellom to prosjekter med samme forventede utfall vil en alltid velge det som er minst usikkert (risikoaversjon). Usikkerheten betraktes da som en pris man er villig til å betale for å oppnå et bedre utfall enn en kan oppnå uten usikkerhet.

Det er i hovedsak to måter å ta hensyn til denne risikoen i nåverdiberegninger på:

- En beregner *sikkerhetsekvivalenter* separat for hver periode og diskonterer ned med en risikofri diskonteringsrente. Sikkerhetsekvivalent er det minste helt sikre beløpet som en vil godta i bytte for den usikre netto prosjektinntekten. Med risikoaversjon vil sikkerhetsekvivalenten være lavere enn den forventede netto prosjektinntekten.
- En beregner forventede inntekter og kostnader for hver periode og diskonterer dem ned til i dag med en konstant *risikojustert diskonteringsrente*. Det vil si at en legger til et fast risikopåslag på den risikofrie renten.

Disse to metodene er prinsipielt forskjellige. Det teoretisk riktige er å beregne sikkerhetsekvivalenter. Da får en tatt hensyn til kunnskap om utviklingen i usikkerheten over tid. Denne fremgangsmåten anbefales av Kostnadsberegningsutvalget og i litteraturen generelt. På den annen side er bruken av en konstant risikojustert diskonteringsrente den lettest håndterlige og mest brukte metoden, og er den Finansdepartementets veileder anbefaler.

## 1.2.2 Kapitalverdimodellen (KAPM)

### Introduksjon

Kapitalverdimodellen (KAPM), som er grunnlaget for anbefalingen om bruk av diskonteringsrente for offentlige investeringsprosjekter i Norge, har vært sentral i finanst teori siden slutten av 1960-tallet. Modellen er opprinnelig utviklet for analyser av finansmarkeder og den besvarer spørsmålet *hvordan bør holdningen til risiko påvirke sammensetningen av en portefølje av eiendeler/investeringer?*

De valgene myndighetene i et land står overfor når de skal bestemme hvordan knappe ressurser bør fordeles på mer eller mindre risikable investeringer, har mye til felles med dem en enkelt investor står overfor i et finansmarked. I dette avsnittet gjør vi rede for hvordan en kan analysere avkastning og risiko ved offentlige investeringer generelt, og miljøinvesteringer spesielt, ved å omtolke og utvide kapitalverdimodellen.

## Nasjonalformue og risiko

Kilden til aggregert risiko for samfunnet er at avkastningen på nasjonalformuen er usikker. NOU 1988:21 tar som utgangspunkt at nasjonalformuen omfatter alt som skaper framtidige forbruksmuligheter. Forbruk defineres videre enn i nasjonalregnskapet. Nasjonalformuen kan inndeles i følgende komponenter:

- Naturkapital: Klimaet og miljøets forfatning.
- Naturressurser: For eksempel olje, fisk, vannkraft, skog og jord.
- Forbrukskapital: Boliger og varige forbruks-goder.
- Menneskelig kapital: Kunnskap, erfaring, helsetilstand.
- Produksjonskapital: Bygninger og maskiner.
- Netto fordringer på utlandet.

## Investering og avkastning i et samfunnsmessig perspektiv

En sentral avveining for et land er mellom forbruk nå og investering for å oppnå mer forbruk i framtiden. Forbruk i samfunnsøkonomisk forstand er et vidt begrep. Det innbefatter for eksempel nytelse av ren natur til friluftsliv. Avkastningen eller verdiskapningen for den delen av nasjonalformuen som ikke forbrukes, er, etter formueskategoriene over, for eksempel:

- Rekreasjon og rensetjenester fra naturkapitalen.
- Tilvekst og verdistigning fra naturressursene.
- Bolig-, transport-, og andre tjenester fra varige forbruks-goder.
- Innenlands produksjon av varer og tjenester fra produksjonskapital og menneskelig kapital.
- Renteinntekter fra finanskapitalen som kan brukes til import av varer og tjenester.

## Om å sette sammen en portefølje

Finansteorien bruker begrepet portefølje om en samling av investeringer som har ulik grad av usikkerhet og avkastning. En portefølje er karakterisert både ved hvilke prosjekter som inngår i porteføljen, og ved hvilken vekt hvert prosjekt har. Vanligvis vil en finne alle grader av samvariasjon mellom prosjektenes avkastning. Noen vil variere helt i takt eller helt i utakt mens andre vil være mer eller mindre uavhengig av hverandre.

Den samlede risikoen avhenger av virkningene for forventningsverdien og usikkerheten av den samlede porteføljen. For et land er det derfor usikkerheten i avkastningen for hele nasjonalformuen, som er interessant. Usikkerheten ved en enkelt komponent er bare relevant hvis den påvirker usikkerheten for porteføljen som helhet. Ved å spre investeringen på mange ulike prosjekter kan en investor *diversifisere* bort risiko. Bare den usikkerheten er relevant som ikke kan diversifiseres bort fordi den varierer systematisk for hele porteføljen. Prosjekter med usikkerhet som ikke er relevant skal vurderes på samme måte som prosjekter uten usikkerhet.

Med risikoaversjon vil en portefølje med lavere usikkerhet være bedre enn en annen portefølje med samme forventningsverdi og høyere usikkerhet. Tilsvarende vil en portefølje med høyere forventningsverdi være bedre enn en med lavere forventningsverdi når usikkerheten er den samme. Slike porteføljer kalles *effisiente*. Rasjonell atferd tilsier at en kun ønsker å velge effisiente porteføljer, og slike porteføljer er utgangspunktet for kapitalverdimodellen.

### **Kapitalverdimodellens hovedlikning**

Det sentrale i kapitalverdimodellen er at den fastlegger en referanseportefølje som en sum av risikofrie investeringer og effisiente porteføljer. Nøkkelen er parameteren  $\beta$  (beta) som uttrykker graden av samvariasjon mellom et enkelt prosjekt og referanseporteføljen. Denne samvariasjonen sier noe om prosjektets bidrag til samlet usikkerhet for referanseporteføljen.

Når  $\beta$  er lik 1, er usikkerheten for prosjektet den samme som for porteføljen som helhet og det påvirker derfor ikke porteføljens usikkerhet. Når  $\beta$  er større eller mindre enn én er usikkerheten henholdsvis større eller mindre enn for porteføljen. En inkludering av prosjektet vil da henholdsvis øke eller minke samlet usikkerhet.  $\beta$  kan bli mindre enn én av to grunner. Enten er utslagene i avkastningen mindre, relativt sett, enn for hele porteføljen, eller utslagene kommer ikke helt samtidig med utslagen for referanseporteføljen. Når  $\beta$  er negativ er avkastningen i utakt eller motfase med resten av porteføljen, men det er altså ikke nødvendig med negativ  $\beta$  for at et prosjekt skal redusere usikkerheten i en veldiversifisert portefølje.

Et investeringsprosjekt med  $\beta$  lik 0 bidrar ikke til usikkerheten i porteføljens avkastning. Det betraktes derfor som risikofritt selv om den usystematiske usikkerheten (variansen i avkastningen) for prosjektet vurdert alene kan være meget høy. Når denne usikkerheten ikke er relevant for porteføljens usikkerhet, skal det ikke kalkuleres inn noen risikopremie.

### **Anvendelse på miljøinvesteringer**

Spørsmålet vi stiller er om det finnes typer eller grupper av miljøinvesteringer som generelt kan redusere usikkerheten i nasjonalinntekten. Med andre ord om vi kan finne empirisk understøttelse for en hypotese om at  $\beta$  er mindre enn én eller sågar mindre enn null i forhold til nasjonens referanseportefølje. En analogi er Oljefondet som ikke bør investere i oljeaksjer siden olje allerede er tung i Norges portefølje.

I vid forstand inkluderer miljøinvesteringer alle typer av avståelse av ressurser fra forbruk i dag for å høste en miljøgevinst i framtiden, det vil si at miljøinvesteringer er mer enn for eksempel et avfallsdeponi eller rensutstyr for kommunal kloakk etc. Med andre ord kan det dreie seg om å gjøre forurensningsloven strengere, stramme inn på utslippstillatelser eller øke kontroll, *la være* å bygge ut et vassdrag, *la være* å bygge vei gjennom et naturområde eller liknende.

### **Relevansen av kapitalverdimodellen**

Myndighetene kan ses som representanter for enkeltindividene i et land. Det er derfor naturlig at myndighetene legger til grunn den samme holdningen til risiko som enkeltindivider i investeringsbeslutninger. Observasjoner av atferd i

markeder for finansobjekter kan si noe om hvordan enkeltindivider avveier mellom risiko og avkastning, og hvordan de priser eller verdsetter risiko. Den risikoatferden som avdekkes der, sier noe om hvordan myndighetene bør vurdere risiko i sine beslutninger.

Miljøvirkningene kan ramme lokalt eller et mindre antall personer, mens kostnadene ved å unngå eller lempe på disse virkningene fordeles på store deler av befolkningen gjennom generelle restriksjoner eller ved finansiering over skattesystemet. Men det kan også være slik at noen få miljøsyndere skaper miljøvirkninger som rammer hele befolkningen. Dette kan føre til at risikoen ved miljøinvesteringer kan utvikle seg svært forskjellig over tid for nytte- og kostnadselementene. Det er et argument for å diskontere nytte- og kostnadsstrømmer hver for seg, eller for aller helst å beregne sikkerhetsekvivalenter på hvert enkelt tidspunkt før en diskonterer med en risikofri rente. Det er imidlertid ikke tema for denne studien, og vi har ikke undersøkt om dette argumentet er sterkere for miljøinvesteringer enn for andre investeringer. Her retter vi oppmerksomheten mot  $\beta$ , det vil si, vi er interessert i om avkastningen på miljøinvesteringer varierer på en annen måte enn andre investeringer, og slik at de vil redusere usikkerheten i nasjonalinntekten.

## 1.3 Tallfesting av beta

### 1.3.1 Innledning

I dette kapitlet illustrerer vi gjennom ulike eksempler hvilken verdi risikotillegget i diskonteringsrenten ved miljøinvesteringer kan tenkes å ha. Med miljøinvesteringer mener vi investeringer der den vesentlige avkastningen er bedre miljøkvalitet. Vi viser eksempler og fremgangsmåter fra følgende områder:

- Betalingsvilje for miljøgoder
- Investeringer i grønne fond
- Investeringer i nye fornybare energikilder
- Investeringer i forebygging av klimaskader

Anslagene vi er kommet frem til, kan ikke uten videre brukes i konkrete miljøprosjekter, men i sum mener vi at de gir et rimelig intervall for den korreksjonen for risiko i diskonteringsrenten som en bør bruke for miljøinvesteringer.

Vi bruker to tilnærminger for å komme frem til anslag for størrelsen på  $\beta$  for miljøinvesteringer. Dels søker vi etter analoge markeder og anslår  $\beta$  der, dels gjør vi direkte anslag på kovarianser og beregner  $\beta$  direkte. Tallfestingen av  $\beta$  bygger da på:

- *Betalingsvillighetsundersøkelser.* Slike undersøkelser gir estimater på inntektselastisiteter for miljøgoder, og inntektselastisitetene kan brukes nokså direkte til å anslå  $\beta$ .
- *Finansmarkedene.* Det foreligger et rikt tallmateriale som antyder hvordan *grønne aksjer* og *grønne fond* prises i forhold til aksjemarkedet som helhet.

- *Markeder for elektrisitet.* Avkastningene for investeringer i ny kapasitet i det nordiske energimarkedet er avhengige av sentrale prisvariable som oljepris, el-pris, gasspris, pris for biobrensel etc., samt fremtidig kvotepris for CO<sub>2</sub>. De respektive  $\beta$  for ulike typer investeringsprosjekter kan beregnes ved å se på kovariansen med nasjonalinntekten.
- *Anslag for klimaskade.* På klimaområdet kan man gjøre selvstendige anslag av variasjon av avkastningen på miljø i forhold til samfunnet som helhet, ved å gå inn i de modellene som gir oss klimakostnadsanslagene.

### 1.3.2 Beregning av beta på grunnlag av betalingsvilje for miljøgoder

#### Tilknytning til teori

Om vi velger en enkel matematisk form for sammenhengen mellom endring i inntekt og endring i betalingsvilje over tid finner vi at dersom inntekten øker 1 prosent, stiger betalingsviljen for miljøgodet med  $a$  prosent der konstanten  $a$  ofte kalles elastisiteten av betalingsviljen med hensyn på inntekten.

Den prosentvise økningen i betalingsviljen over tid er et uttrykk for avkastningen av å investere i miljøgodet. Dersom betalingsviljen stiger ti prosent på ett år, er avkastningen ti prosent, osv. På samme måte har stigningen i inntekt en naturlig tolkning som avkastningen av samlet kapital eller formue i samfunnet, det vil si, samfunnets referanseportefølje. Ved å regne ut kovariansen etter vanlige regler og dividere med variansen, finner vi at den søkte parameteren  $\beta$  simpelthen er lik  $a$ . Anta for eksempel at  $a$  er lik 0,5. Det betyr at en prosents økning i inntekten gir en halv prosents økning i betalingsviljen etter miljøgodet. Det betyr igjen at svingningene i etterspørselen etter miljøgodet er avdempet i forhold til svingningene i inntekt.

Andre variabler kan påvirke betalingsviljen over tid, men for at vår teori skal holde kan ikke disse variablene være korrelert med inntekten. Dersom de er korrelert med inntekten, vil kovariansen mellom inntekt og betalingsvilje avhenge av flere ledd enn  $a$ .

#### Tallfesting av beta

På grunnlag av den litteraturen som foreligger, har det grovt sett dannet seg to hovedsynspunkter. Det ene hovedsynspunktet er at elastisiteten (og dermed  $\beta$ ) er mindre enn én. Det andre synspunktet er at elastisiteten tvert i mot er større enn en.

#### *Hvorfor $\beta$ er mindre enn 1*

Alle de undersøkelser av betalingsviljens variasjon med inntekt som vi har sett, finner at elastisiteten er under én og til dels betydelig under. Det gjelder blant annet den hendelsen som er blitt klart mest studert de senere årene, Exxon Valdez ulykken utenfor Alaska. Her er resultatet en verdi rundt 0,25. Det betyr at én prosents økning i inntekt blant de spurte forbindes med en kvart prosent økt betalingsvilje. 100 prosent større inntekt (altså dobbelt så stor) forbindes med 25 prosent økt betalingsvilje. Sagt på en annen måte: De dobbelt så rike er slett ikke villige til å betale dobbelt så mye.

### *Hvorfor $\beta$ er større enn 1*

De fleste økonomer har en umiddelbar oppfatning om at elastisiteten av betalingsvilje med hensyn på inntekt er større enn 1. De dras sammenlikning med den vanlige inntektselastisiteten (hvor mye mer av et gode man kjøper når inntekten øker), og det pekes på at goder med lav inntektselastisitet er mat, klær og annet som fattige prioriterer, mens goder med høy inntektselastisitet er tjenester og fritid som rike prioriterer. Tjenester fra natur og miljø bør i følge dette synspunktet komme i klasse med andre tjenester, altså som noe en fattig ikke kan prioritere, men en rik kan prioritere.

Dersom elastisiteten av betalingsvilje er mindre enn 1, må en konkludere motsatt: De fattige er villige til å sette av en stor andel av inntekten til miljøgoder, mens de rike setter av en mindre andel. Dette er simpelthen vanskelig å godta for mange økonomer. Undersøkelsene er også blitt utsatt for mer grunnleggende kritikk av økonomer som mener at metodene som brukes er for dårlige og/eller uegnet til å trekke vidtgående konklusjoner fra.

### *Et forsøk på syntese og begrunnelse av et anslag*

Det er ingen holdepunkter utover alminnelig intuisjon og magesfølelse for at elastisiteten er større enn én. I en tidligere vurdering av samme art som denne konkluderte ECON med at elastisiteten kan settes lik med 1 med 0,5 og 1,5 som alternativer. Vi understreker at dette anslaget er usikkert. Det er dessuten godt mulig at ulike miljøgoder har ulik elastisitet av betalingsvilje med hensyn på inntekt og dermed ulik beta, men det har vi ikke data til å skille på. Konklusjonen er at beregning av betalingsvillighet ikke gir grunnlag for noen særbehandling av miljøgoder.

## **1.3.3 Grønne aksjefond: Investering i miljøaktive bedrifter**

En annen fremgangsmåte for å se på risiko og avkastning i bedrifter med aktiv miljøinnsats, er å studere avkastningen for såkalte grønne fond. De investerer i hovedsak i bedrifter som enten har som hovedoppgave å løse et eller annet miljøproblem eller i bedrifter som har lave miljøeffekter. Tanken er at de investeringene som er representert i porteføljen av bedrifter for et grønt fond kan være en god *markeds kopi* for offentlige miljøinvesteringer. Tilknytningen til miljøet kan gå gjennom flere ledd, for eksempel når det gjelder produksjon av renseutstyr. Det ser likevel ut til at disse fondene har en egen risikoprofil, og det er naturlig å anta at det har sammenheng med miljødimensjonen i deres investeringsstrategi.

Det finnes en rekke grønne fond i Norge. Vi har sett på avkastningen av følgende fire fond:

- *Skandia Grønt Norden* har en klar miljøprofil. Fondets midler investeres i miljøvennlige og miljønøytrale produkter, tjenester og produksjonsprosesser.
- *Skandia Miljøinvest* er et internasjonalt aksjefond med en klar miljøprofil. Fondene investerer i selskaper som har produkter og tjenester som benyttes for å løse miljøutfordringer.



- *Storebrand Global Miljø/Storebrand Environmental Value* investerer i internasjonale aksjemarkeder etter finansielle, miljø- og sosiale kriterier.
- *SEB Miljø* er forvaltet av svenske Skandinaviske Enskilda Banken og tilbys norske kunder.

Det er bare Skandia Miljøinvest som bare investerer i miljøaktive bedrifter, mens de tre andre har en klart grønn profil, men inkluderer også *low impact* bransjer som for eksempel IT.

Våre estimater for  $\beta$  varierer sterkt for alle typer fond og referanseindekser, men alle er mellom 0,3 og 0,95. Skandia Miljøinvest, det miljøaktive fondet, har en betaverdi som generelt ligger godt under de andre fondene. Det er som en kunne forvente hvis en har tiltro til vår hypotese. Avkastningen på Skandia Miljøinvest svinger godt under halvparten og oftest ned mot 1/3, uansett referanseportefølje. Til sammenlikning kan vi nevne at indeksen for Norge har en betarisiko godt over 1 sammenliknet med verdensporteføljen.

Vi forsøker oss ikke på ett samlende anslag på  $\beta$  som kan overføres til bruk i offentlige prosjektvurderinger, men nøyer oss her med å slå fast at en slik kort analyse vi har gjort gir en god indikasjon på at  $\beta$  nok ligger en del lavere enn 1.

### 1.3.4 Investeringer i energisektoren

Vi beregner  $\beta$  for to typer investeringsprosjekter for fjernvarme basert enten på biomasse eller på elektrisk drevet varmepumpe. Begge forutsetter noe innslag av olje. Vi knytter usikkerhet i prisene på sentrale energibærere til avkastningen for de to investeringene og for referanseporteføljen. Ved å gjøre modellsimuleringer får vi fram variasjon og samvariasjon i disse avkastningsratene som gir oss anslag på betaene.

La oss anta at prisen på CO<sub>2</sub>-kvoter blir høy i fremtiden. Da forutsetter modellen at oljeprisen blir lav og avkastningen i nasjonaløkonomien, målt ved kapitalavkastningsraten, blir dermed også *lav*. For biobrenselanlegget *øker* avkastningen fordi den samfunnsmessige verdsettingen av varmen produsert øker mer enn det kostnadene går opp med som følge av høyere biobrenselpris og verdsetting av CO<sub>2</sub>-utslippene. For varmepumpeanlegget øker på tilsvarende måte verdien av varme produsert, mens kostnaden øker noe på grunn av at prisen for el til drift av varmepumpen er høyere og utslippene av CO<sub>2</sub> fra oljekjelene er verdsatt høyere. Disse resonnementene gir indikasjoner på at investeringer i fjernvarmeanlegg kan virke som forsikringer, det vil si har negativ  $\beta$ . De negative verdiene er imidlertid svært små. Det innebærer at investeringen i bioenergi og varmepumper for praktiske formål kan betraktes som sikre investeringer.

Vi understreker at modellberegningene over er høyst foreløpige og usikre. Likevel mener vi at vi ved å rendyrke effekten av usikkerhet i fremtidig pris for CO<sub>2</sub>-kvoter på avkastningen for to typer energiinvesteringer i forhold til referanseporteføljen, har fått fram at det er helt sentralt å se på hvordan avkastningen er i takt eller utakt med nasjonalinntekten.

### 1.3.5 Forebyggende klimatiltak

For å ha noen virkning på klimaet må Norges innsats foregå som del av en internasjonalt koordinerte innsats. Vi har sett på hvordan avkastningen på klimatiltak kan tenkes å variere i forhold til verdens bruttoprodukt, og gi anslag på betaverdier for klimainvesteringer i en mye brukt økonomisk klimaskademodell.

Alle estimatene for  $\beta$  vi kommer frem til, er negative. Det betyr at klimainvesteringer virker som forsikringer mot framtidige, mulige men usikre klimaskader. På grunn av den sterke forsikringseffekten som kommer til uttrykk i store negative  $\beta$ , vil en komme ut med negative diskonteringsrenter for klimainvesteringer. Det er ikke noe ulogisk i at en får negative diskonteringsrenter. Et slikt resultat bare understreker at hvis enkelte typer investeringer bidrar sterkt til å redusere samlet risiko bør en oppjustere (ikke nedjustere) netto, fremtidig inntektsstrøm i nytte-kostnadsanalysene for å belønne denne egenskapen ved investeringen.

## 1.4 Litteraturoversikt

### 1.4.1 Offentlige miljøinvesteringer i et porteføljeperspektiv

Behandling av usikkerhet ved diskontering av offentlige investeringer er et relativt nytt tema innenfor økonomisk teori. Vi har funnet lite litteratur som betrakter offentlige miljøinvesteringer i et porteføljeperspektiv. Pionerarbeider som behandler usikkerhet og diskonteringsrenter i forbindelse med offentlige investeringer mer generelt er gjennomført av blant annet Kenneth J. Arrow og Robert C. Lind og Agnar Sandmo og Jacques H. Dreze tidlig i 1970-årene. For investeringer i bedret, eller ikke forverret, natur- og miljøkvalitet, en undergruppe av offentlige investeringer, er det første sentrale bidraget vi har kunnet oppspore av Lind fra tidlig i 1980-årene. Han benytter porteføljetankegang i analyse av investeringer i FoU innenfor alternative energiteknologier.

I Norge har porteføljetankegangen for offentlige investeringer vært lite brukt i praksis i forvaltningen, selv om prinsippene har vært kjent fra norske akademiske arbeider. På slutten av 1990-tallet ble imidlertid behandling av risiko i nytte kostnadsanalyser utredet i forbindelse med de to kostnadsberegningutvalgene, og konklusjonene tatt inn i *Veiledningen* for bruk av diskonteringsrente.

### 1.4.2 Studier som anslår beta for privat og offentlig virksomhet i Norge

Det finnes en rekke studier fra siviløkonommiljøer i Norge som beregner enkeltbedrifters, bransjers eller sektorets  $\beta$  i forhold til børsindeksen. I enkelte av dem er det gjort forsøk på å anslå  $\beta$  for offentlig eide eller drevne virksomheter.

#### Privat virksomhet

Anslag for  $\beta$  for enkeltforetak, bransjer eller sektorer er viktige for private aktører for å for å vurdere hvilken risikojustert avkastning de bør kreve for å investere i selskapet, bransjen eller sektoren. De fleste studiene av denne typen gjelder

selskaper på Oslo Børs, og beregner avkastningen som den prosentvis kursendringen for hver måned over en femårsperiode. Disse tallene for månedlig avkastning sammenliknes så med tilsvarende tall for totalindeksen for Oslo Børs i samme periode.

Storparten av aksjene kom ut med  $\beta$  innenfor det smale intervallet (0,85-1,15), det vil si at avkastningen svingte tett med totalindeksen. Studiene av børsnoterte selskaper finner nesten aldri aksjer med null eller negativ  $\beta$ . Slike er sjeldne i et velutviklet aksjemarked, det klassiske unntaket har vært aksjer i gullselskaper, formodentlig fordi gull tradisjonelt har vært en populær investering i nedgangstider.

### **Offentlig virksomhet–Kraftsektoren**

Kapitalavkastningen i kraftsektoren ser ut til å ha vært nær ukorrelert med avkastningen på totalindeksen i perioden 1970-91. Studiene gir en  $\beta$  på 0,005. Det innebærer at en ved investeringer i kraftsektoren i denne perioden burde bruke en nær risikofri rente som diskonteringsrente. Det betyr ikke at det var lav risiko ved investeringer i kraftsektoren, men at nesten hele risikoen var usystematisk og dermed spesiell for denne sektoren under det markeds- og reguleringsregimet som gjaldt frem til ca. 1990. Slik risiko er irrelevant da den diversifiseres bort over en bred portefølje av risikable prosjekter (markedsporteføljen).

### **Offentlig tjenesteproduksjon**

Det er liten tvil om at jernbanens konjunkturelle forretningsrisiko er lavere enn for en representativ norsk børsnotert næringsvirksomhet. Likevel er NSBs fremtid svært usikker både når det gjelder konkurransen i ulike markedssegmenter og NSBs handlefrihet i forhold til politiske myndigheter til effektivt å møte denne konkurransen. Det sentrale poenget er likevel at svært mye av denne risikoen er bedriftsspesifikk. Det vil si at selv om den påvirker forventede kontantstrømmer, skal den ikke heve NSBs avkastningskrav.

Det er, som for NSB, liten tvil om at Postens  $\beta$  er lavere enn for en representativ børsnotert virksomhet i Norge. Postens fremtid er også usikker med hensyn til konkurranse i ulike markedssegmenter og dens handlefrihet til effektivt å håndtere denne konkurransen. Også mye av denne risikoen er bedriftsspesifikk (usystematisk), og skal ikke føre til høyt avkastningskrav.

### **Oljesektoren**

I forbindelse med den offentlige utredningen av skattlegging av petroleumssektoren i Norge ble det gjort vurderinger av  $\beta$  for investeringer i utvinning av olje og gass på norsk sokkel. De tar utgangspunkt i internasjonale studier av oljeselskaper som driver i ulike deler av verden, og vurderer så om det er spesielle risikofaktorer ved utvinning på norsk sokkel som skulle tilsi et avvik fra den  $\beta$  som beregnes for de internasjonale oppstrømsselskapene. Særsilt for Norge nevnes at en har et relativt forutsigbart skattesystem og at usikkerheten knyttet til de fiskale vilkårene er mindre enn i land med ustabile politiske forhold. Det norske skattesystemet gir også fradrag langt på vei for de aktive selskapenes inntektsrisiko. Til tross for disse risikodempende elementene velger en å anslå samme  $\beta$  for Norge som for bransjen internasjonalt (0,6).

### 1.4.3 Avkastning og risiko ved bedrifiers miljøinvesteringer

En viktig del av forskningen rundt investeringer i bedret miljø dreier seg om tiltak som bedrifter kan sette i verk for å redusere miljøbelastningen, og den ser på under hvilke forutsetninger bedrifter har incentiver til å gjennomføre slike tiltak. De aller fleste bedrifter påvirker miljøet ved ressursuttak og forurensninger, og en viktig bedriftsmessig investeringsbeslutning består i å vurdere om det lønner seg å øke bedriftens innsats i å redusere miljøeffektene utover pålagte reguleringer og produktivitetsfremmende miljøinnsats.

Tradisjonelt sett har synet vært at det ikke lønner seg å gjøre noe mer enn det bedriften er lovmessig pålagt ved regulering. En rekke nyere studier trekker dette synet i tvil. En god miljøprofil innad overfor egne ansatte og utad overfor kunder, leverandører og en bredere offentlighet ser ut til å styrke lønnsomheten og avkastningen i bedriftene.

Flere nyere studier viser at en grunn til å gjennomføre miljøtiltak i bedriften kan være at tiltakene reduserer risikoen ved å eie bedriftene. Hvis konsumenter blir mer opptatt av bedriftens miljøegenskaper eller hvis offentlige miljøreguleringer strammes til i fremtiden, vil det være mindre risikofylt å investere i, det vil si eie, de bedriftene som har lav miljøeffekt og høy miljøbevissthet. Med andre ord kan bedriftsinterne miljøtiltak redusere  $\beta$  for investeringer i disse selskapene.

## 2 Teoretisk utgangspunkt

Finansdepartementets veiledning til departementene om diskontering av offentlige investeringer, og spesielt hvordan diskonteringsrenten bør justeres for usikkerhet, bygger på økonomisk teori om beslutninger under usikkerhet, og særlig finanst teori (Finansdepartementet 2000). Vi innleder dette kapitlet med kort å gjøre rede for det sentrale begrepet usikkerhet eller risiko, og hvordan det er vanlig å ta hensyn til usikkerhet i diskontering av framtidige nytte- og kostnadsstrømmer. Kapittel 2.2 introduserer kapitalverdimodellen (KAPM) som gir den finanst teoretiske begrunnelsen for den anbefalte risikojusteringen i diskonteringsrenten for alle typer offentlige investeringer. Den fokuserer spesielt på hvordan risikoen ved investeringer må sees i sammenheng med den samlede risikoen knyttet til et lands portefølje av investeringer. Kapitlet avsluttes med et kort kapittel om hvordan en kan gå fram for å forsøke å tallfeste beta for miljøinvesteringer.

### 2.1 Usikkerhet og diskontering

#### 2.1.1 En vid definisjon av usikkerhet

En enkel definisjon av usikkerhet er at *det er flere ting som kan skje enn det som vil skje*. Verden er i stadig endring, og endringene er ikke alltid lette å forutsi, de er usikre. Usikkerheten om hva som vil skje kan skyldes mekanismer utenfor menneskelig kontroll (jordskjelv), eller mekanismer som i og for seg kan påvirkes, men som en har manglende forståelse av eller kunnskap om (ulykker, klimaendringer). Usikkerheten kan også skyldes samspillet mellom mennesker (forhandlinger, prisdannelse).

Noen endringer er så regelmessige at det er mulig å forutsi dem med stor sikkerhet, eller det er godt grunnlag for å anslå sannsynligheten for hva som vil skje. Sannsynlighetene kan bygge på grundige empiriske undersøkelser eller på mer løse vurderinger, subjektive sannsynligheter. Vi drøfter her alle utfall som kan variere mye over tid, enten variasjonene er forutsigbare, følger en kjent sannsynlighetsfordeling eller det er lite eller intet erfaringsgrunnlag for å anslå sannsynlighetsfordelingen.

Når sannsynligheten for ulike utfall (sannsynlighetsfordelingen) er godt etablert, bruker enkelte begrepet risiko til forskjell fra begrepet usikkerhet, som brukes når en har dårlig eller intet grunnlag for å anslå sannsynligheter. Overgangen mellom risiko og usikkerhet med denne distinksjonen er imidlertid flytende, og i tråd med finanslitteraturen bruker vi ikke dette skillet.

Vi tar bare opp problemstillinger der usikkerheten ses på som en ulempe i den forstand at i valget mellom to prosjekter med samme forventede utfall vil en alltid velge det som er minst usikkert (risikoaversjon). Usikkerheten betraktes da som en pris man er villig til å betale for å oppnå et bedre utfall enn en kan oppnå uten usikkerhet.

Med usikkerhet og risiko mener vi altså i denne rapporten at en fremtidig begivenhet eller utfall av en beslutning kan beskrives ved en sannsynlighetsfordeling. Spredningen i fordelingen sier noe om usikkerheten, stor spredning betyr stor usikkerhet. Spredningen uttrykkes ved variansen eller standardavviket i fordelingen, dvs. variasjonen i mulige utfall rundt en forventet verdi, forventningen.

## 2.1.2 Diskontering av usikre miljøinvesteringer

### Diskontering av sikre og usikre investeringer

Når en vurderer om et bestemt offentlig (eller privat) investeringsprosjekt skal gjennomføres, må en ta stilling til hvordan kostnader og inntekter som påløper på ulike tidspunkter skal sammenliknes.

I tilfellet hvor framtidige inntekts- og kostnadsstrømmer, (hvv.  $B_i$  og  $C_i$ ), er sikre (dvs. kjente på investeringstidspunktet), er vanlig praksis å diskontere ned disse til i dag med en passende risikofri diskonteringsrente ( $r$ ) for alle prosjektets perioder ( $T$ ) og så trekke fra investeringsbeløpet ( $I_0$ ) for å finne nåverdien ( $NV$ ) av prosjektet. Diskonteringsrenten, eller avkastningskravet, skal reflektere alternativ avkastning på de ressursene som er bundet i prosjektet. Renten skal også representere nyttetapet av det forbruket som forsakes ved at en binder midler i investeringen. I en optimal situasjon gir de to betraktningene samme resultat. Et prosjekts nåverdi er gitt ved formelen:

$$NV = -I_0 + \frac{B_1 - C_1}{1+r} + \frac{B_2 - C_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{B_T - C_T}{(1+r)^T}$$

Et vanlig investeringskriterium er: Hvis nåverdien er positiv bør investeringsprosjektet gjennomføres, siden summen av nytte- og kostnadsstrømmene som investeringen genererer fratrukket investeringsbeløpet gir høyere avkastning enn kravet eller diskonteringsrenten.

Det mest vanlige i praksis er imidlertid at de framtidige samfunnsøkonomiske nytte- og kostnadsstrømmer som et investeringsprosjekt skaper er *usikre*. For miljøinvesteringer er usikkerheten dels knyttet til fysiske faktorer (utslipp, resipientforhold, etc), og dels til menneskers vurdering av de fysiske endringene (som er bl.a. er avhengig av økonomiske faktorer). Med (offentlige) miljøinvesteringer vil vi i fortsettelsen mene investeringer som har miljøeffekter som hovedformål.

Det er i hovedsak to måter å ta hensyn til denne risikoen i nåverdiberegninger på

- (1) En beregner sikkerhetsekvivalenter separat for hver periode og diskonterer ned med en risikofri diskonteringsrente. Sikkerhetsekvivalent er den nettoinntektsstrøm som mottatt med sikkerhet i en periode vurderes likt som å delta

i det usikre "lotteriet". En risikoavers beslutningstaker vil godta en noe lavere inntektsstrøm enn den forventede for å unngå usikkerhet.

- (2) En beregner forventede (samfunnsøkonomiske) inntekter og kostnader for hver periode og diskonterer disse ned til i dag med den samme risikojusterte diskonteringsrenten. Diskonteringsrenten bestemmes ved å legge til et risikopåslag på den risikofrie eller sikre renten.

Disse to metodene er generelt forskjellige. Det prinsipielt riktige er å risikojustere resultatene på hvert enkelt tidspunkt (finne sikkerhetsekvivalentene) og så diskontere med den risikofrie rentesatsen. Denne fremgangsmåten anbefales av Kostnadsberegningutvalget (NOU 1997) og i litteraturen generelt.

Den siste er den lettest håndterlige og mest brukte metoden, og den praksis som Finansdepartementets omtalte veileder oppfordrer til. Det regnes ofte som enklere i praksis å ta hensyn til risiko ved påslag i renten enn ved å finne sikkerhetsekvivalenter, og man begår ikke nødvendigvis store feil ved å bruke denne tilnærmingen.

### **Diskontering og miljø**

Før vi går videre ønsker vi å knytte noen korte kommentarer til temaet diskontering og miljø. Det er stor uenighet innen det (miljø)økonomiske fagmiljøet og i den bredere miljødebatt om diskontering av miljøinvesteringer er etisk forsvarlig (av hensyn til framtidige generasjoner) og/eller fagøkonomisk riktig. Denne diskusjonen har spesielt blusset opp i forbindelse med vurderinger av langsiktige klimainvesteringer. Investeringer med svært lang horisont kommer spesielt uheldig ut i sammenlikning med alternative investeringer ved diskontering (nesten uansett hvor lav diskonteringsrenten er). Det er ikke tema her å gå inn på de ulike argumentene for og i mot diskontering generelt og høy diskonteringsrente spesielt. Det kan likevel være nyttig å plassere vår problemstilling inn i sammenhengen over. Vi diskuterer på den fagøkonomiske arena og finner, ved å bruke en bestemt økonomisk modell, et mulig argument for lavere diskonteringsrente for enkelte typer miljøinvesteringer. Et annet argument presenteres for eksempel i Vennemo (1996).

## **2.2 Kapitalverdimodellen (KAPM)**

Kapitalverdimodellen (KAPM), som er grunnlaget for beregning av diskonteringsrenten for offentlige investeringsprosjekter i Norge, har vært sentral i finanst teori siden slutten av 1960-tallet. Modellen er opprinnelig en analyse av finansmarkedet og besvarer spørsmålet "hvordan burde en investors holdning til risiko påvirke sammensetningen av hans portefølje av eiendeler/investeringer?"

Beslutningen en enkelt investor står overfor i finansmarkedet har mye til felles med den et lands myndigheter står overfor når de skal bestemme hvordan knappe ressurser bør fordeles på en mengde mer eller mindre risikable investeringer. I dette avsnittet gjøre vi rede for hvordan en ved å omtolke og utvide kapitalverdimodellen kan analysere avkastning og risiko ved offentlige investeringer generelt og miljøinvesteringer spesielt.

Under følger en enkel versjon av KAPM som beskriver myndighetenes beslutningsproblem i valget mellom investeringer på ulike områder i samfunnet, og spesielt hvordan investeringsprosjekter innenfor miljø inngår i et lands samlede portefølje (bygger på Varian 1992, Bøhren og Michaelsen 1994).

## 2.2.1 Nasjonalformue, investering og usikker avkastning

### Komponentene i nasjonalformuen

Kilden til aggregert risiko for samfunnet er usikker avkastning på nasjonalformuen. I NOU (1988) tas det som utgangspunkt at nasjonalformuen omfatter alt som skaper framtidige konsummuligheter. Konsum defineres videre enn i nasjonalregnskapet (se nedenfor). Nasjonalformuen består av følgende komponenter

- Naturkapitalen: klimaet og miljøets forfatning;  $W_E$
- Naturressurser: f.eks. olje, fisk, vannkraft, skog og jord;  $W_R$
- Forbrukskapital: boliger og varige konsumgoder;  $W_C$
- Menneskelig kapital: kunnskap, erfaring, helsetilstand;  $W_H$
- Produksjonskapital: bygninger og maskiner;  $W_P$
- Netto fordringer på utlandet;  $W_A$ . (Fordringer og gjeld mellom aktører og myndigheter innenlands nulles ut i en nasjonal formuesvurdering)
- Nasjonal totalformue.  $W = W_E + W_R + W_C + W_H + W_P + W_A$

### Investering og avkastning i et samfunnsmessig perspektiv

En sentral avveining for et land er den mellom konsum nå og investering, noe som kan gi mer konsum i framtiden. Konsum i samfunnsøkonomisk forstand er et vidt begrep, som for eksempel inkluderer nytelse av ren natur til friluftsliv. Avkastningen eller verdiskapingen for den delen av nasjonalformuen som ikke konsumeres, er kategorisert etter formueskategoriene over:

- Rekreasjon og rensjetjenester fra naturkapitalen
- Tilvekst og verdistigning fra naturressursene
- Bolig-, transport-, og andre tjenester fra varige forbruksgoder
- Innenlands produksjon av varer og tjenester fra produksjonskapital og menneskelig kapital
- Renteinntekter fra nettofordringene på utlandet som kan brukes til import av varer og tjenester

Det som ikke konsumeres i dag, kan investeres innenfor de 7 formueskategoriene over til avkastning,  $r_i$  (målt i %) (der  $i = E, R, C$  etc.). Formuens totalavkastning for et år betegnes  $r_W$ .

### De viktigste forutsetningene i modellen

- Landets myndigheter ønsker å oppnå en høyest mulig forventet avkastning på totalformuen, men misliker usikkerhet uttrykt ved variansen til totalavkastningen (risikoaversjon).



- Økonomien består av to perioder, med investeringstidspunkt i første periode og avkastningen i den neste.
- Myndighetene har valget mellom konsum i dag og investering som gir avkastning i slutten av perioden, hvor resten av formuen og avkastningen forbrukes i sin helhet.
- Nasjonalformuen kan stykkes opp og investeres innenfor de ulike formueskategoriene. For eksempel kan all skog hogges ned eller all olje pumpes opp og investeres på andre områder. Tilsvarende kan en tenke seg at miljøkvalitet kan reduseres og erstattes av andre "aktiva", dvs. at alle formueselementer er substitutter.

Investeringer innenfor de ulike kategoriene genererer nytte- og kostnadsstrømmer. Nyttestrømmer representeres ved folks betalingsvillighet for å oppnå effektene av en type investering, mens kostnader skal gjenspeile den samfunnsøkonomiske verdien av alle ressurser som har gått med til å gjennomføre investeringen (dvs. ressursenes verdi i beste alternative anvendelse). I vår modell med *to* perioder er den prosentvise avkastningen for et prosjekt *i*

$$r_i = \left[ \frac{B_i - C_i}{I_{0i}} - 1 \right] \times 100$$

der  $r_i$  er prosentvis avkastning,  $B_i$  og  $C_i$  er (som før) hhv. nytte- og kostnadsstrømmen investeringen genererer i andre periode, mens  $I_{0i}$  er investeringsbeløpet i den første perioden. Det er hensiktsmessig å se på  $C_i$  som ressursbruk i forbindelse med gjennomføringen av et prosjekt, mens  $B_i$  er verdianslag på den samfunnsmessige nyttestrømmen som prosjektet genererer (eks. mindre utslipp til luft eller vann i et område). Det er investeringenes realavkastning som er av betydning. Det vil si at verdiøkninger skal være reelle og ikke bare et resultat av økt pris.

Sammenhengen mellom  $r_i$  her og den diskonteringsrente vi brukte under avsnitt 2.1.2 er som følger: Definisjonen av  $r_i$  er uttrykket for et investeringsprosjekts prosentvise avkastning i et to-periode perspektiv. Denne er lik diskonteringsrenten under avsnitt 2.1.2 når investeringens nåverdi er lik 0. En bruker nåverdi-beregninger for å vurdere om en investering bør gjennomføres. Da er kriteriet at investeringens avkastning er minst like stor som diskonteringsrenten eller avkastningskravet<sup>1</sup>.

## Avkastning og usikkerhet

Avkastningsraten for totalinvesteringen over perioden er usikker, dvs. stokastisk, fordi de enkelte avkastningsratene også er usikre. De enkelte avkastningsrater er igjen usikre fordi  $B_i$  og  $C_i$  for de respektive investeringene er usikre. En må derfor beregne forventningsverdiene til inntekts- og kostnadsstrømmene, for å få et anslag på forventet avkastning for de respektive prosjektene:

---

<sup>1</sup> Vi lar andre investeringskriterier og flerperiodeproblematikk ligge. En implikasjon av tilfellet med flere perioder vil imidlertid bli kort diskutert under 2.2.5.

$$E(r_i) = \left[ \frac{E(B_i) - E(C_i)}{I_{0i}} - 1 \right] \times 100$$

Den totale usikkerheten for  $B_i$  og  $C_i$  for hvert prosjekt kan generelt være knyttet til både natur- og samfunnsforhold i Norge og i utlandet, og de forskjellige bestanddelene av nasjonal verdiskapning kan ha ulike risikoprofil. En kan i prinsippet også "åpne boksene"  $B_i$  og  $C_i$  som hver for seg inneholder en sum av produkter av inntekts- og kostnadselementer bestående av fysiske mål (utslipp, ressursbruk etc) og verdianslag eller kalkulasjonspriser (eks. skade i kr per tonn, pris per brukt ressursenhet), multiplisert med sannsynlighetene for de ulike utfallene.

Avkastningsratene er dermed et sett av stokastiske (usikre) variable med hver sin sannsynlighetsfordeling, som vi kan anta her er normal. Med andre ord kan de verdier de respektive avkastningsratene antar beskrives fullt og helt ved fordelingenenes forventninger og varianser.

### Det risikofrie investeringsalternativ

Myndighetene i et land kan også antas å stå overfor et risikofritt investeringsalternativ, dvs. et prosjekt der  $B_i$  og  $C_i$  er sikre. Vi kan eksemplifisere dette prosjektet her som den delen av nettofordringene overfor utlandet som har (tilnærmet) sikker avkastning (eks. statsobligasjoner). Økning i nettofordringene overfor utlandet består dermed av en del med usikker avkastning ( $I_{A1}$  med avk.  $r_{A1}$ ) (eks. oljefondet), og en del med sikker ( $I_{A0}$  med avk.  $r_{A0}$ ).  $W_A$  består dermed av to deler:  $W_A = W_{A0} + W_{A1}$ . Myndighetene vil ikke ønske å investere alt i det risikofrie alternativet siden en ved å betale noe ved å øke risikoen kan få høyere forventet avkastning.

## 2.2.2 Usikkerhet i en portefølje av investeringer

I finanst teori bruker man begrepet portefølje om en samling av investeringer som har ulike grader av usikkerhet og avkastning. En portefølje er karakterisert både ved hvilke prosjekter som inngår i porteføljen, og ved hvilken vekt hvert prosjekt har. Vanligvis vil en finne alle grader av samvariasjon mellom prosjektenes avkastninger, fra full samvariasjon til uavhengighet og til fullstendig motsatt variasjon. Dermed kan forventningsverdien og usikkerheten for porteføljen som helhet varieres ved å endre vektene.

### Et lands portefølje

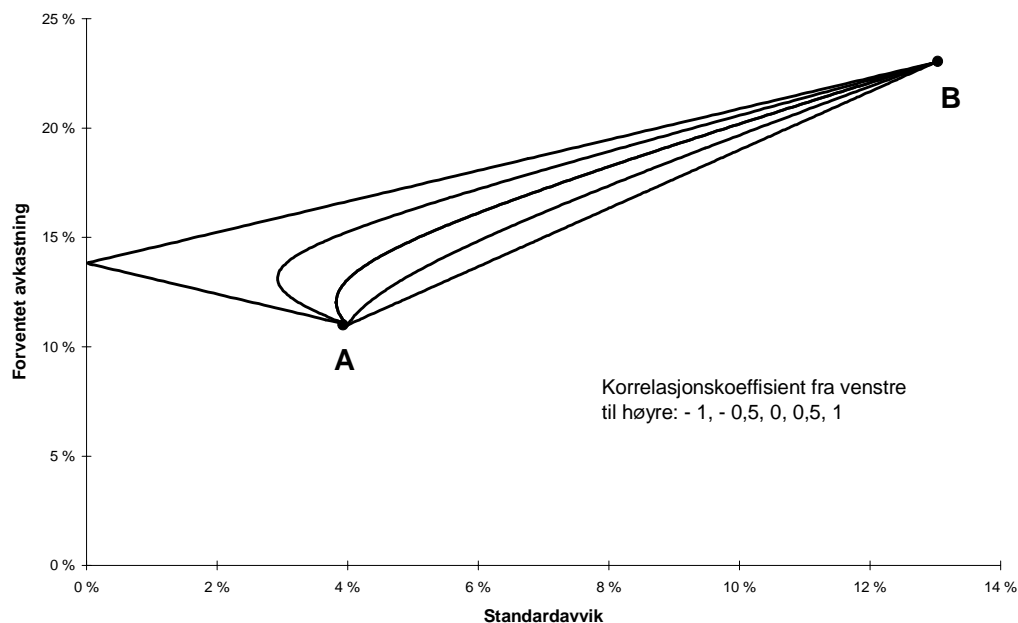
Myndighetene kan dele opp det de velger totalt å investere,  $I_0$ , på en portefølje av prosjekter innefor de syv hovedkategorier i nasjonalformuen. Porteføljen av investeringer kan betegnes ved et sett av vekter, dvs. andelen av totalinvesteringen som investeres i hver av kategoriene;  $(w_E, w_R, w_C, w_H, w_P, w_{A0}, w_{A1})$ . Disse vektene summerer seg til en, og man kommer fram til totalavkastningen på porteføljen ved å veie de ulike avkastningsrater før man summerer. Ved å spre innsatsen innenfor de ulike kategoriene kan myndighetene *diversifisere* bort risiko, dvs. usikkerheten kan reduseres uten at forventet avkastning går ned. Vi skal se på noen illustrasjoner siden denne porteføljetankegangen er så viktig.

## Eksempler på porteføljetankegang

Figur 2.1 viser hvordan usikkerheten og forventet avkastning for en portefølje av ulike kombinasjoner av to prosjekter, A og B, avhenger av formen for samvariasjon, korrelasjonen<sup>2</sup>, mellom avkastningen til prosjektene. På den horisontale aksen er det inntegnet grad av risiko knyttet til prosjektene, målt i standardavvikene til prosjektenes avkastning. Den vertikale eaksen måler forventet avkastning. Vi ser av figuren at prosjekt B har en høyere forventet avkastning, men også en høyere risiko. Ved å forandre andelene (vektene) som investeres i de to prosjektene kan en velge alle porteføljer langs linjene trukket fra A til B, som bestemt av korrelasjonskoeffisienten. Ved fullstendig utakt mellom prosjektenes avkastning finnes det en kombinasjon der den totale risikoen forsvinner helt (standardavviket = null). Når det ikke er noen samvariasjon (korrelasjonskoeffisienten = null), er det mulig å redusere usikkerheten for porteføljen under usikkerheten for det minst usikre prosjektet. Med andre ord lønner det seg å spre eggene i to kurver framfor å legge alle i en.

En illustrasjon kan være en bonde med tørkeutsatt jord. Han kan overveie å satse på en campingplass ved siden av jordbruket ut fra en tro på at hvis det blir det sol, går plassen bra og hvis det blir det regn, går jordbruket bra. Fordi utbyttet fra campingplassen forventes å være negativt korrelert med utbyttet fra jordbruket, som er hovednæringen, kan han være interessert i å satse på plassen selv om utbyttet isolert sett ikke forventes å bli særlig godt.

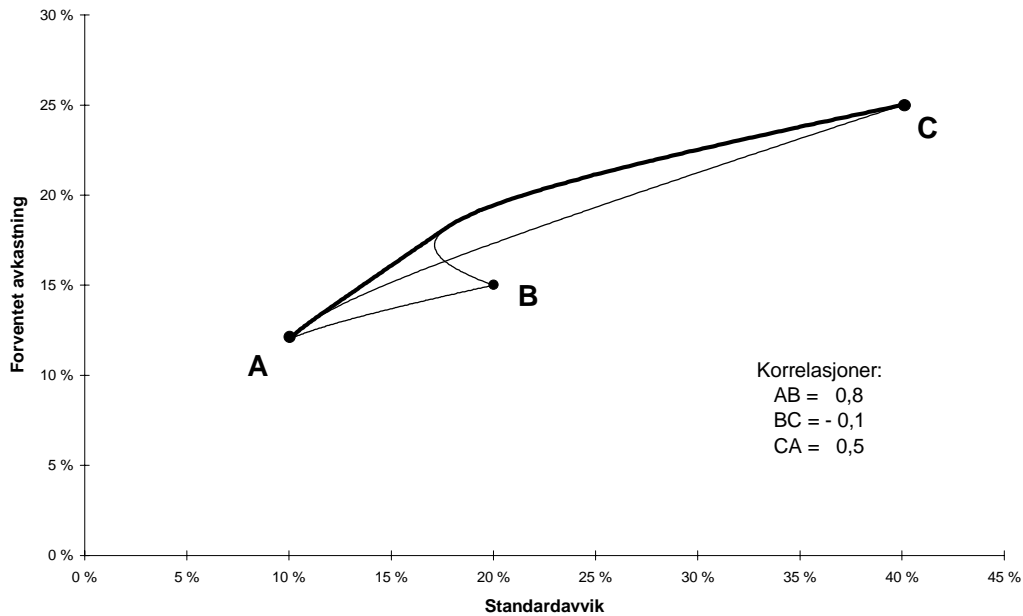
Figur 2.1 *Illustrasjon av hvordan valgmulighetene for en portefølje av to prosjekter avhenger av korrelasjonskoeffisienten*



<sup>2</sup> Korrelasjon (Korr(.)) er mål på samvariasjon mellom to stokastiske variable. Korrelasjonskoeffisienten er mellom 0 og 1. Korrelasjonskoeffisienten er lik kovariansen (Kov(.)) vektet med de respektive standardavvik (Std(.)).

For en beslutningstaker med risikoaversjon, som er det eneste vi vurderer her, vil en portefølje med lavere usikkerhet være bedre enn en annen portefølje med samme forventningsverdi og høyere usikkerhet. Tilsvarende vil en portefølje med høyere forventningsverdi være bedre enn en med lavere forventningsverdi når usikkerheten er den samme. Det betyr at porteføljene på den nordvestre avgrensningen av mulige porteføljer dominerer over alle andre. Disse porteføljene kalles *effisiente*. Rasjonell atferd tilsier at en kun ønsker å velge effisiente porteføljer.

Figur 2.2 Porteføljeområdet ved valg mellom tre prosjekter



Kilde: Prosjektparametrene fra Bøhren (1994)

Figur 2.2. viser mulighetene for en portefølje av tre prosjekter med ulike grader av samvariasjon. De tre tynne linjene viser standardavvik og forventningsverdi for kombinasjoner av to og to prosjekter, mens den kraftige linjen viser effisiente kombinasjoner av alle tre prosjektene (minimum usikkerhet for gitt forventning).

Variansen for utfallet av en portefølje av prosjekter (for en sum av stokastiske variable) avhenger både av gjennomsnittlig varians for prosjektene og av gjennomsnittlig grad av samvariasjon mellom utfallene av prosjektene. Dette er utdypet i Boks 2.1. Når antallet prosjekter blir stort, går variansen av summen mot den gjennomsnittlige graden av samvariasjon. Dette er grunnlaget for diversifisering, ved å spre innsatsen på mange prosjekter kan usikkerheten reduseres uten at forventningsverdien går ned. Når det ikke er noen sammenheng mellom prosjektene (graden av samvariasjon, kovariansen, er 0), går variansen av summen mot 0. Det vil si at usikkerheten forsvinner.

Boks 2.1      Beregning av samlet forventning og usikkerhet for en portefølje.

Forventningsverdien av en sum av stokastiske variable er den veide summen av forventningsverdiene:

$$E(r_p) = \sum_{i=1}^N w_i E(r_i)$$

Variansen for en sum av stokastiske variable er summen av kovariansene multiplisert med produktet av vektene. Når vi tar hensyn til at kovariansen for en variabel med seg selv svarer til variansen, kan det uttrykkes som:

$$Var(r_p) = \sum_{i=1}^N w_i^2 Var(r_i) + \sum_{i=1}^N \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^N w_i w_j Kov(r_i, r_j)$$

I en likeveid portefølje med N prosjekter er alle prosjektene like store med en vekt på 1/N. Variansen blir da, når vi samtidig setter inn gjennomsnittsverdiene for varians og kovarians (markert ved streker over symbolene):

$$Var(r_p) = N \left( \frac{1}{N} \right)^2 \overline{Var} + (N^2 - N) \left( \frac{1}{N} \right)^2 \overline{Kov} = \frac{1}{N} \overline{Var} + \left( 1 - \frac{1}{N} \right) \overline{Kov}$$

Når antallet prosjekter er stort blir det første leddet lite og porteføljens varians avhenger helt av kovariansene.

Kilde: Bøhren (1994)

## Systematisk og usystematisk usikkerhet

Konklusjonen så langt er at for et lands myndigheter er det den samlede porteføljens risiko som teller. Den samlede risikoeksponeringen kan ikke anslås ved å vurdere varians og forventningsverdi for prosjektene enkeltvis. For et land er det variansen i avkastningen for hele nasjonalformuen (dvs. nasjonalinntekten) som er interessant. Variansen for en enkelt komponent i denne er bare av relevans hvis den påvirker variansen til hele porteføljen.

Et prosjekt som inngår i en diversifisert portefølje, eller som vurderes inntatt i en slik portefølje, bidrar til porteføljens usikkerhet (variansen) med to elementer: Ett element er variansen av prosjektutfallet, det andre er den veide summen av graden av samvariasjon (kovariansen) med utfallet av de andre prosjektene i porteføljen (se Boks 2.1). I en portefølje med mange små prosjekter (veldiversifisert portefølje) vil det første elementet ikke bidra til porteføljens usikkerhet. Det kalles derfor gjerne *usystematisk*, ikke relevant eller diversifiserbar usikkerhet. Det andre elementet, som er det nye prosjektets bidrag til porteføljens usikkerhet, kalles *systematisk* usikkerhet, men også relevant eller ikke diversifiserbar usikkerhet. Denne delen av bidraget til porteføljens usikkerhet kan ikke reduseres ved å dele innsatsen opp på mange små tilsvarende prosjekter. Med andre ord er det kun prosjektspesifikke risikoelementer som kan diversifiseres bort.

Spørsmålet om et prosjekt skal økes eller reduseres i forhold til andre, om det skal kuttes helt ut eller om et nytt skal føyes til, kan derfor ikke avgjøres bare ved å se på egenskapene ved prosjektet alene. Det er nødvendig å presisere hvilken portefølje prosjektet skal gå inn i, hvilken referanseportefølje det skal ses i forhold til.

## Myndighetenes optimeringsproblem

Myndighetene ønsker høyest mulig avkastning på den totale investeringen til lavest mulig risiko. Hvis en tenker seg at under de ulike hovedkategorier av investeringer finnes en lang rekke underkategorier, vil myndighetene kunne diversifisere risiko over mange prosjekter, som beskrevet over.

Hvis vi lar myndighetene minimere variansen til porteføljen under betingelsene at vektene summerer seg til en og at forventet avkastning er gitt, vil en få en konkav (omhylnings)kurve av samme type som i Figur 2.2 med den forskjell at en har langt flere prosjekter og innbyrdes korrelasjoner. En slik kurve viser alle relevante effisiente porteføljer, dvs. de kombinasjoner av vektene som gir minimum varians for gitt forventet avkastning (dvs. alle diversifiseringsmuligheter er uttømt).

Når myndighetene står overfor også et risikofritt alternativ, er det sentrale resultat fra KAPM at vektene bestemmes entydig. Med andre ord er det en optimal sammensetning av investeringer (portefølje) som er bedre enn alle andre. Denne porteføljen kalles ofte markedsporteføljen eller referanseporteføljen, fordi teorien predikerer at i et privat marked hvor risikable formuesobjekter handles vil alle investorer sitte med minikopier av denne porteføljen. Den optimale porteføljen utledes i vedlegget.

Men, hvor mye som skal investeres i den beste porteføljen i forhold til det sikre alternativet sier ikke kapitalverdimodellen noe om. En slik beslutning er avhengig av hvilken holdning til risiko som legges til grunn (dvs. hvor stor grad av risikoaversjon beslutningstaker har).

Den sentrale likning som bestemmer referanseporteføljen i samspill med kurven over de effisiente porteføljer, er KAPMs hovedlikning, som diskuteres i neste avsnitt.

### 2.2.3 KAPMs hovedlikning

Forrige avsnitt viste hvordan variansen av en veldiversifisert portefølje i det vesentlige avhenger av graden av samvariasjon mellom enkeltprosjektene (av den veide summen av kovariansene). Et prosjekts samvariasjon med alle de andre prosjektene sier altså noe om prosjektets bidrag til samlet usikkerhet for referanseporteføljen. KAPMs hovedlikning uttrykker dette:

$$\bar{r}_i = r_{A0} + \beta_i(\bar{r}_m - r_{A0}), \text{ der } \beta_i = \frac{\text{Kov}(r_i, r_m)}{\text{Var}(r_m)} = \frac{\text{Korr}(r_i, r_m)\text{Std}(r_i)}{\text{Std}(r_m)}$$

der  $\bar{r}_i$  er et vilkårlig prosjekt  $i$ 's forventede avkastning ( $=E(r_i)$ ),  $\bar{r}_m$  er den forventede avkastningen for referanseporteføljen<sup>3</sup>,  $r_{A0}$  avkastningen for det risikofrie investeringsalternativ og  $\beta_i$  et mål på grad av systematisk usikkerhet knyttet til prosjektet. Med andre ord bestemmes avkastningskravet for ethvert investeringsprosjekt i kapitalverdimodellen som avkastningen for en risikofri

---

<sup>3</sup>  $\bar{r}^m = (w_E^m \bar{r}_E + w_R^m \bar{r}_R + w_C^m \bar{r}_C + w_H^m \bar{r}_H + w_P^m \bar{r}_P + w_{A1}^m \bar{r}_{A1})$ , der vektene bestemmes entydig når myndighetene også har et risikofritt investeringsalternativ. Se forøvrig vedlegg 1.

investering pluss et risikopåslag som er avhengig av hvordan prosjektets avkastning samvarierer med avkastningen på porteføljen av alle risikable investeringer.

Når  $\beta_i$  er lik 1, er usikkerheten for prosjektet den samme som for porteføljen som helhet. Når  $\beta_i$  er større eller mindre enn 1 er usikkerheten henholdsvis større eller mindre enn i porteføljen, og en inkludering av prosjektet vil henholdsvis øke eller minke usikkerheten.  $\beta_i$  kan bli negativ, men det er altså ikke nødvendig med negativ  $\beta_i$  (utakt med resten av porteføljen) for at et prosjekt skal redusere usikkerheten i en veldiversifisert portefølje.

Et investeringsprosjekt med  $\beta$  lik 0 i forhold til referanseporteføljen bidrar ikke til usikkerheten i porteføljens avkastning, men reduserer den totale risikoen. Det betraktes derfor som risikofritt selv om usikkerheten (variansen) for prosjektet vurdert alene kan være meget høy. Fordi denne usikkerheten ikke er relevant for porteføljens usikkerhet, skal det ikke kalkuleres inn noen risikopremie. Prosjekter med usikkerhet som ikke er relevant skal vurderes på samme måte som prosjekter uten usikkerhet.

## 2.2.4 Anvendelse på miljøinvesteringer

Det teoretiske modellverket beskrevet over er tatt fra finansteori og brukt her eksplisitt for å beskrive myndighetenes porteføljeproblem, dvs. å rendyrke risikopromblemstillingen for et land. Mange offentlige investeringer berører flere ulike elementer av nasjonalformuen, og spesielt miljøet. Hvis vi konsentrerer oss om offentlige investeringer som har miljøeffekter som hovedmål, miljøinvesteringer, faller disse prosjektene først og fremst i kategoriene naturkapital ( $W_E$ ) og naturressurser ( $W_R$ ). Med andre ord er vi interessert i å finne verdier empirisk for  $\beta_E$  og  $\beta_P$  som beskrevet i de to likningene:

$$\bar{r}_E = r_{A0} + \beta_E (\bar{r}_m - r_{A0}) \quad , \quad \beta_E = \frac{\text{Kov}(r_E, r_m)}{\text{Var}(r_m)} = \frac{\text{Korr}(r_E, r_m) \text{Std}(r_E)}{\text{Std}(r_m)}$$

$$\bar{r}_R = r_{A0} + \beta_R (\bar{r}_m - r_{A0}) \quad , \quad \beta_R = \frac{\text{Kov}(r_R, r_m)}{\text{Var}(r_m)} = \frac{\text{Korr}(r_R, r_m) \text{Std}(r_R)}{\text{Std}(r_m)}$$

og vi husker at

$r_E$  er avkastningen på den delen av totalinvesteringen som øker verdien av naturkapitalen, dvs klimaet og miljøets forfatning, og  $E(r_E) = \bar{r}_E$ .

$r_R$  er avkastningen på den delen av totalinvesteringen som øker verdien av naturressursene som olje, fisk, vannkraft, skog og jord, og  $E(r_R) = \bar{r}_R$ .

Spørsmålet vi stiller er: finnes det typer eller grupper av investeringer under formueskategoriene E og R som generelt har lavere beta enn det gjennomsnittlige prosjekt? Med andre ord finnes det empirisk understøttelse for en hypotese om at  $\beta_E$  og  $\beta_P$  er mindre enn én, null eller mindre enn null?

## Grupper av miljøinvesteringer

Man kan definere miljøinvesteringer vidt eller snevert. I vid forstand er miljøinvestering noe mer enn for eksempel en investering i et nytt avfallsdeponi, eller nytt rensutstyr for kommunal kloakk etc. I vid forstand inkluderer miljøinvesteringer aller typer av avståelse av ressurser fra konsum i dag for å høste en miljøgevinst i fremtiden. Med andre ord kan det å gjøre forurensningsloven strengere, stramme inn på utslippstillatelser eller øke kontroll, *la være* å bygge ut et vassdrag, *la være* å bygge vei gjennom et naturområde etc. være slik avståelse av konsum i dag med en tro på høyere gevinster i framtiden, f.eks. i form av høyere verdsetting av naturgoder.

En grovsortering av typer av miljøinvesteringer kan være:

- Noen miljøinvesteringer betraktes som *rammebetingelser*, det vil si at besluttede myndigheter ikke er interessert i å vurdere nytten av dem eksplisitt i en nytte-kostnadsanalyse. Det betyr at en i investeringsanalyser regner nytten som uendelig og nøyer seg med kostnadsminimering. Dette er typisk såkalte "command-and-control" type rammebetingelser. I prinsippet kan en gjøre utslippsstandarder, -tillatelser, påbud eller forbud til gjenstand for nytte-kostnadsanalyser.
- Noen miljøinvesteringer *skaper verdier* som kan sammenliknes med verdien av andre varer og tjenester (eks. arealplanlegging; bymiljø, friluftsområder). Investering for å skape slike miljøverdier er da alternative til andre investeringer. Mulige anslag for beta for denne typen investeringer diskuteres nærmere i kapittel 3.1.
- En viktig tredje type miljøinvesteringer er dem som tjener som *forsikring*. Det vil si investeringer som ikke nødvendigvis bidrar til å skape en selvstendig positiv miljøverdi, men hvor avkastningen ligger i å redusere samlet risiko. For slike investeringer er avkastningen isolert sett negativ og det er ufullstendig bare å vurdere nytten i form av forventningsverdien av den skaden som forhindres. En vanlig brannforsikring har klart negativ avkastning, likevel tegner nesten alle små eiendomsbesittere slik forsikring. Risikoen for brann er usystematisk, men fordi den enkelte eiendommen vanligvis utgjør en vesentlig del av den samlede porteføljen for den enkelte, er eierne ikke i stand til å diversifisere den bort. Fordelen ved forsikringen ligger i negativ kovarians i forhold til avkastningen på eiendommen når den brenner, og  $\beta < 0$  i forhold til eierens portefølje. For forsikringsselskapene utgjør hver polise bare en liten del av porteføljen, og kovariansen mellom polisene er vanligvis liten, bortsett fra for krig og naturkatastrofer som det gjelder egne regler for. Derfor blir bare den systematiske risikoen tilbake for dem.

Nasjonen som helhet regner vi med normalt vil ha en diversifisert portefølje, slik at det er lite aktuelt å gjennomføre miljøinvesteringer for å diversifisere bort usystematisk risiko. Derimot kan den søke etter investeringer med en systematisk risiko som har en  $\beta < 1$  eller  $< 0$  i forhold til nasjonens referanseportefølje



(analogi: Oljefondet bør ikke investere i oljeaksjer siden olje allerede er tung i nasjonens portefølje).

Investeringer for å forebygge klimaendringer, som diskuteres i 4.4, kan være et eksempel på en mulig forsikring.

## 2.2.5 Relevansen av KAPM

KAPM er, som nevnt, en finanstoretisk modell som i utgangspunktet brukes til å bestemme ”markedsprisen” for risiko, dvs. et passende mål for risikoen forbundet med å investere i et bestemt formues- eller finansobjekt. Modellen er mye diskutert i fagøkonomiske miljøer. Den versjonen som vi her har presentert er svært forenklet, og KAPM med ulike utvidelser, er fortsatt den mest brukte modell for å analysere risiko ved investeringer. Vi skal ikke her gå inn i denne diskusjonen, men nøye oss med å understreke noen poenger som er viktig for vår anvendelse av modellen.

Det er viktig å understreke at den porteføljetankegangen vi har gjort rede for i avsnitt 2.2.2 er svært viktig og gyldig uavhengig av KAPMs relevans. Det er uansett sentralt å vurdere investeringers avkastningsrisiko som del av en portefølje, og ikke hver for seg.

Det KAPM gjør er et forsøk på å ”prise” denne relevante eller systematiske risikoen for en bestemt investering, i form av beta multiplisert med meravkastningen for en gjennomsnittlig porteføljeinvestering i forhold til det sikre alternativ.

Myndighetene i demokratier representerer enkeltindividene. Det er derfor naturlig at myndighetene utøver den samme risikoholdning som enkeltindivider i investeringsbeslutninger. For å kunne si noe om hvordan enkeltindivider avveier mellom risiko og avkastning, og hvordan de verdsetter risiko, er observasjoner av atferd i markeder for finansobjekter sentrale. Den risikoatferd som avdekkes der sier noe om hvordan myndighetene bør vurdere risiko i sine beslutninger.

## Nasjonens referanseportefølje og diversifisering

Det er i prinsippet ingen grunn til å bruke nasjonale grenser som begrensning for referanseporteføljen i KAPM. En optimalt diversifisert portefølje for Norge ville involvere at alle Norgesspesifikke, internasjonalt sett usystematiske risikoelementer var diversifisert bort i internasjonale risikomarkeder og via pris-systemet. Risikomarkedene er forsikrings-, finans-, penge- og valutamarkeder. Perfekt internasjonal diversifisering er ikke særlig realistisk i praksis, pga. for eksempel internasjonale restriksjoner og reguleringer på eierskap og bevegelser av kapital naturressurser, politisk risiko etc. Baxter og Jermann (1997) begrunner manglende internasjonal diversifisering spesielt med ”non-tradable human capital risk”.

Mulighetene for internasjonal diversifisering, for eksempel for Norges del av oljeprisrisiko, er imidlertid økende både pga. mer utviklede og integrerte risikomarkeder spesielt og en mer sammenflettet verdensøkonomi spesielt.

Argumentene ovenfor begrunner at en ofte ikke begår store feil ved å bruke i hovedsak en innenlands referanseportefølje, som for eksempel representert ved

børsporteføljen. I praksis oppstår spørsmålene om hvor representativ for eksempel Oslo Børs' portefølje er for alle mulige risikable investeringer i et land og hvor veldiversifiserte folks porteføljer egentlig er.

Vi svarer på det siste spørsmålet først. I praksis blir diversifiseringen sjelden fullstendig. Noen beslutningstakere, for eksempel husholdninger og personlige bedrifter, har begrensede muligheter for å diversifisere. Formuen er stort sett knyttet til egen bolig eller egen bedrift, menneskelig kapital (egen arbeids- og inntektsevne) og (i Norge) forventning om andel i statlige petroleumsinntekter. Disse formuesgjenstandene kan bare til en viss grad deles opp i mange, stokastisk uavhengige, prosjekter som hver betyr lite for husholdningens formue. Inndelingen i systematisk og usystematisk risiko er derfor ikke den samme for alle beslutningstakere. Jo mer omfattende virksomhet, jo lettere er det å innrette seg slik at en stor del av usikkerheten forsvinner som usystematisk. Et lands myndigheter har således spesielt gode muligheter for å diversifisere bort usystematisk risiko, selv om en også her har elementer av nasjonalformuen som ikke kan stykkes opp og fordeles fritt i en portefølje av investeringer (for eksempel for deler av natur- og kunnskapskapitalen).

For å operasjonalisere modellen slik vi har presentert den, må investeringene deles opp i offentlige og private. Det sentrale spørsmålet vi stiller er hvordan avkastningen for (offentlige) miljøinvesteringer i naturkapital og naturressurser varierer med avkastningen på alle andre risikable investeringer i et land. Enkelte av formueskategoriene har et større innslag av offentlig eierskap og forvaltning enn andre, bl.a. pga. markedsimperfeksjoner som kollektive goder (typisk for miljø) og naturlige monopoler, eller av andre hensyn som rettferdighet, fordeling, nasjonal beredskap etc. De aller fleste miljøinvesteringer er offentlig initiert, enten direkte eller gjennom skatter, avgifter, utslippsstandarder etc. som gir private insentiver til for eksempel å gjennomføre utslippsreduksjoner.

Vi konsentrerer oss så om det andre spørsmålet. I KAPM antas det at alle risikable aktiva inngår i markedsporteføljen, noe som opplagt ikke stemmer med virkeligheten. For eksempel inngår ikke hele den menneskelige kapital, mye av miljøkapitalen eller oljeformuen i børsformuen eller i nasjonalinntekten. Nasjonale og nasjonalt eide investorers porteføljer består av deres andel av felles-eide deler av nasjonalformuen i tillegg til en del av markedsporteføljen og det risikofrie alternativet. Det er derfor langt fra åpenbart at investorene kun priser risiko i forhold til markedsporteføljen. Halleraker (1995) har en omfattende diskusjon av denne problemstillingen, og kommer i hovedsak frem til at markedsporteføljen gir relevant informasjon om "den underliggende referanseporteføljen", til tross for at den ikke er representativ, fordi mange ikke-omsatte aktiva har samme risikoprofil som de aktiva som inngår i markedsporteføljen. Dette kan for eksempel være tilfelle for menneskelig kapital (Johnsen 1992). Hvordan avkastningen for miljøkapitalen kan tenkes å svinge i forhold til en markedsportefølje og referanseporteføljen, kommer vi tilbake til i kapittel 4.1.

## **Risikoens tidsform over flere perioder og for ulike nytte- og kostnadselementer**

Et siste spørsmål vi skal ta for oss i dette avsnittet gjelder to-periode-antakelsen for KAPM. Vi skal ikke ta for oss hvordan en i praksis kan utvide KAPM til også å gjelde flere perioder, men konsentrerer oss om et sentralt poeng for mange

miljøinvesteringer i en tenkt slik modell.

Ved et fast risikopåslag i diskonteringsrenten for et prosjekt hvor nytte- og kostnader påløper over mange perioder antar man at den samlede risikoen i et prosjekt øker med avstanden i tid, slik at kostnader og inntekter som inntreffer i fjern fremtid, skal korrigeres mer enn dem som inntreffer den første tiden etter at prosjektet er iverksatt (første periode). Dette følger av at et risikopåslag i renten blir opphøyd i økende potenser etter hvert som periodene skrider frem i et nåverdiuttrykk (som illustrert ved neddiskonteringen i avsnitt 2.1.2). Begrunnelsen for dette er at en vet mest om resultater i nær framtid. Lønnsomheten i *hver periode* er imidlertid antatt å være like utsatt for systematisk risiko (dvs. en bruker samme risikopåslag i renten for hver periode).

Et risikopåslag på renten diskriminerer imidlertid langsiktige prosjekter når usikkerheten ikke øker eksponensielt. Miljøinvesteringer er ofte langsiktige, derfor kan risikoens tidsform ha stor innflytelse. Blant annet kan det være aktuelt å tenke seg at risikoen faller over tid. Det er tilfellet når vi er rimelig sikre på at noe vil inntreffe, men vi vet ikke når (milepælsrisiko). Vi kan også skille mellom usikkerhet om hvilken tilstand ("state of world") vi kan komme til å stå overfor, og usikkerhet om hvordan virkningen blir av det vi gjør gitt at en bestemt tilstand inntreffer. Det er ikke opplagt at den siste usikkerheten øker særlig over tid.

Vi skal til slutt nevne at risikoprofilen for ulike nytte- og kostnadselementer for samme periode kan være til dels svært forskjellige for miljøinvesteringer. Forhold på nyttesiden rammer ofte lokalt og et mindre antall konsumenter, mens kostnader fordeles mellom svært mange gjennom finansiering over skattesystemet. Slike vurderinger har både fordelings- og effektivitetsmessige konsekvenser, og er et argument bl.a. for å diskontere nytte- og kostnadsstrømmer forskjellig (delstrømsdiskontering). Vi viser til Halleraker (1995) for en utdypende diskusjon.

## 2.3 Måter å tallfeste beta på

Vi bruker to tilnærminger for å komme frem til anslag for størrelsen på  $\beta$  for miljøinvesteringer. Dels kan en søke etter analoge markeder og anslå  $\beta$  der, dels gjøre direkte anslag på kovarianser og beregne  $\beta$  direkte. Tallfestingen av  $\beta$  vil da bygge på (se kapittel 4):

- *Betalingsvillighetsundersøkelser.* Slike undersøkelser gir oss estimater på inntektselastisiteten for miljøgoder. Vi tror inntektselastisiteter kan brukes nokså direkte til å anslå  $\beta$ . Anta, for eksempel, at variasjonen i markedets avkastning skyldes variasjon i samfunnets inntekt. Det vil si at i høykonjunktur gir prosjektene bedre avkastning enn i lavkonjunktur fordi folk vil betale mer og kjøpe mer. Hvis nå betalingsviljen for miljø også følger inntekten i et 1:1 forhold, dvs. inntektselastisiteten for miljø er 1, vil miljøprosjektets beta være 1. Men dersom inntektselastisiteten for miljø er 0,5 er vår intuisjon at  $\beta$  er bare er 0,5 osv. Vi gjør rede for denne tankegangen nærmere i kapittel 4.1.
- *Finansmarkedene.* Det foreligger et rikt tallmateriale som antyder hvordan "grønne aksjer" og "grønne fonds" prises i forhold til aksjemarkedet som helhet. Slik informasjon samles blant annet inn i forbindelse med petroleumsfondets miljøinvesteringer, men også i andre sammenhenger. Å

sammenlikne prissvingninger for grønne aksjer i forhold til markedet som helhet vil gir et estimat på  $\beta$  som er i tråd med teoriens finansielle ånd (se kapittel 4.2)

- *Markeder for elektrisitetsproduksjon og –etterspørsel.* Avkastningene for investeringer i ny kapasitet i det nordiske energimarkedet er avhengige av sentrale prisvariable som oljepris, elpris, gasspris, pris for biobrensel etc., samt fremtidig kvotepris for CO<sub>2</sub>. De respektive betaer for ulike typer investeringsprosjekter kan beregnes ved å se på kovarians med BNP (se kapittel 4.3).
- *Anslag for klimaskade.* På klimaområdet kan man gjøre selvstendige anslag av variasjon av avkastningen på miljø i forhold til samfunnet som helhet, ved å gå inn i de modellene som gir oss klimakostnadsanslagene (for eksempel Nordhaus' DICE-modell). Vi gjør anslag for beta for investeringer i reduserte utslipp av klimagasser i kapittel 4.4.

## 3 Litteraturoversikt

Dette kapitlet gir en oversikt over litteratur som diskuterer, og til dels gir anslag på, den systematiske risikoen som er knyttet til offentlige og private investeringer generelt og miljøinvesteringer spesielt. Hovedvekten ligger på norske studier. Hensikten med kapitlet er dels å gi et innblikk i de forsøk som er gjort på å analysere hvordan risiko bør tas hensyn til miljøinvesteringer, og dels å gi en noe bredere oversikt over hvordan porteføljetankegang anvendes både for offentlige og private investeringer. Den bredere oversikten tror vi er nyttig for å kle det teoretiske skjelettet fra forrige kapittel med intuisjon og eksempler på konkrete betaanslag. Kapittel 3.1 gir oversikt over to sentrale studier som analyserer miljøinvesteringers avkastning i forhold til nasjonalinntekten. Kapittel 3.2 gir først noen korte eksempler på betaanslag for ulike norske bransjer notert på Oslo Børs. Deretter gis en mer utførlig oversikt over betaanslag for ulike offentlig virksomhet med og uten miljøvirkninger. Kapittel 3.3 presenterer litteratur som analyserer en mulig analogi til vår problemstilling: hvordan private miljøinvesteringer kan tenkes å redusere systematisk risiko.

### 3.1 Offentlige miljøinvesteringer i et porteføljeperspektiv

Vi kjenner lite litteratur som betrakter offentlige miljøinvesteringer i et porteføljeperspektiv. Vi konfererte Terry Davies, tidligere leder for Center for Risk Management ved Resources for the Future i USA, professor Thore Johnsen ved NHH i Bergen, forskere på SSB og BI. I tillegg ble det gjort litteratursøk i ulike databaser.

Behandling av usikkerhet ved diskontering av offentlige investeringer mer generelt er et relativt nytt tema innenfor økonomisk teori. Pionerarbeider som behandler usikkerhet og diskonteringsrenter i forbindelse med offentlige investeringer er blitt gjort av bl.a. Arrow og Lind (1970) og vår egen Sandmo (1972) og Sandmo og Dreze (1971). For investeringer i bedret (eller ikke forverret) natur- og miljøkvalitet, en undergruppe av offentlige investeringer, er det første sentrale bidraget vi har kunnet oppspore Lind (1982) som benytter porteføljetankegang i analyse av (offentlige) investeringer i FoU innenfor alternative energiteknologier (eks. fusjon). Vi gjengir kort noen av Linds argumenter og konklusjoner nedenfor.

I Norge har porteføljetankegang for offentlige investeringer vært lite brukt i praksis i forvaltningen, selv om prinsippene har vært kjent fra norske akademiske arbeider, for eksempel Lund (1993) og Hagen og Sandmo (1983). På slutten av

1990-tallet ble imidlertid behandling av risiko i nytte kostnadsanalyser utredet i forbindelse med de to kostnadsberegningsutvalgene, og konklusjonene inntatt i veiledning til departementene om bruk av diskonteringsrente (Finansdepartementet 2000). Halleraker (1995), en studie som ble gjort på oppdrag av Kostnadsberegningsutvalget, er en av de få norske arbeidene vi kjenner til som behandler usikkerhet ved avkastning av *miljøkapitalen*. Vi gjengir også noen av de mest relevante argumentene fra Halleraker (1995), men starter først med Lind (1982).

### **Lind (1982): FoU i nye energiteknologier**

Lind (1982) ser på investeringer i forskning på og utvikling av nye energiteknologier som for eksempel fusjonsteknologi. Avkastningen på slike investeringer er usikre, og avhengig av en hel rekke stokastiske variable. Et første spørsmål kunne være: Hva er sannsynligheten for at investeringen vil bli teknisk levedyktig? Hva er sannsynligheten for at en noen gang vil kunne utvikle en økonomisk lønnsom fusjonsprosess? Hvis vi kan tilordne ulike utfall av en slik investering subjektive sannsynligheter kan vi bestemme hva avkastningen ville bli i de forskjellige "states of the world", dvs. mulige fremtidige tilstander. Forventet avkastning og varians for denne isolerte investeringen kan så regnes ut. Men for å vurdere risikoen ved denne investeringen må en på en eller annen måte anslå kovariansen mellom avkastningen for fusjonsinvesteringen og avkastningen til alle risikable investeringer i økonomien, dvs. referanseporteføljen.

En kan for eksempel anta at avkastningen for fusjonsinvesteringen vil være kritisk avhengig av kostnaden ved å produsere energi med denne teknologien i forhold til andre teknologier. Avkastningen vil også avhenge av prisen på elektrisitet, som er en funksjon av en rekke variable. Generelt kan man si at det å forutsi avkastningen på en slik investering er svært vanskelig.

Men, fortsetter Lind, for forskning og utvikling av nye energiteknologier kan vi anta at jo høyere energiprisene er i framtiden, dess større vil avkastningen på disse typer investeringer være. Energi-økonomi-modeller forutsier at økte energikostnader vil resultere i lavere BNP (i hvert fall for nettoimportører av olje som USA). Derfor kan det være en rimelig antakelse at avkastningen for energi FoU vil korrelere negativt med BNP i nedgangstider som er forårsaket av økte energipriser. I dette tilfellet vil energiinvesteringen bære preg av å være en forsikring fra et nasjonalt synspunkt. Hvis avkastningen på energiinvesteringer faktisk var negativt korrelert med avkastningen på andre investeringer, ville energiinvesteringene ikke øke samlet risiko, men være en forsikring for framtiden.

En annen observasjon Lind gjør er at selv om analysen av alternative tekniske utfall er viktig for å bestemme forventet avkastning fra teknologien, bidrar bare disse usikre tekniske utfallene til total usikkerhet for et land, i den grad de tekniske usikkerhetselementene er avhengige av andre økonomiske faktorer som påvirker framtidige priser og kostnader for energi. Dette betyr med andre ord at risikoen må være systematisk for å være av betydning for vurderingen av prosjektet. En nytte-kostnadsanalyse som diskonterer framtidige inntekts- og kostnadstrømmer med en høy rente for å ta hensyn til en usikkerhet som er usystematisk, blir klart feil. Lind mener at en i analysen av energiinvesteringer bør bruke en diskonteringsrente mellom markedsrenten og den risikofrie renten, siden avkastningen på slike investeringer ser ut til å være mindre enn perfekt korrelert

med markedsporteføljen, og kanskje er denne korrelasjonen 0 eller endog negativ. Lind konkluderer med at poenget er at det er nødvendig å tenke grundigere igjennom forsikringsaspektene ved energiinvesteringer og –programmer.

### **Halleraker (1995): Avkastning for norsk miljøkapital**

Halleraker (1995) forsøker å klargjøre risikoprofilen til de ulike bestanddelene av nasjonal verdiskapning (som opplistet i kapittel 2.2), ved å fokusere på tre kritiske tilstandsdimensjoner for norsk nasjonalformue som avgjør hvilken risiko som er systematisk:

- *Internasjonale konjunkturer*: bestemmer etterspørselen etter eksportvarer,
- *Oljepriser*: avgjørende for en betydelig del av nasjonens inntekter,
- *Naturmiljø og klima*: sentrale for konsumentenes fremtidige velferd.

Han studerer tilstandene som om de er uavhengige og eksogene for vårt land. Hallerakers drøfting går ut på å vurdere hvordan de ulike komponentene i norsk verdiskapning varierer langs de tre tilstandsdimensjonene, og hvor store feil vi kan anta begås ved å ta utgangspunkt i nasjonalinntekten, som beregnet i nasjonalregnskapet. Han har hovedfokus på tilstandsdimensjonene oljepris og internasjonale konjunkturer, men gjør også interessante resonnementer for miljø- og klimadimensjonen. For vår problemstilling er det spesielt drøftingen av hvordan avkastningen på *miljøkapitalen* varierer med de tre tilstandsdimensjonene som er relevant. Konvensjonelle nasjonalregnskapsmål for nasjonalinntekt inkluderer foreløpig ikke miljøkapital, og Halleraker tvinges til å resonnere mer intuitivt rundt hvordan avkastningen på miljøkapitalen varierer langs de tre dimensjonene. Spesielt undervurderer nasjonalinntekten reell verdiskapning ved ikke å fange opp konsumentoverskudd, for eksempel i bruk av rekreasjonsarealer etc. For avkastning av miljøkapitalen gjør Halleraker følgende resonnement:

#### *1) Rekreasjonstjenester og lavkonjunktur*

- a) Når det er lavkonjunktur i landet som følge av enten lav oljepris eller dårlig internasjonale konjunkturer er det mulig at konsumet av rekreasjonstjenester er høyest siden det arbeides minst og det er mest tid til fritid. Avkastningen på denne delen av miljøkapitalen er dermed motsyklisk (dvs. varierer motsatt av avkastningen for nasjonalformuen). Nasjonalinntektens risiko overvurderer risiko i reell verdiskapning som følge av denne effekten, siden det høyere konsumentoverskuddet under lavkonjunktur ikke fanges opp.
- b) Det kan imidlertid også tenkes at konsumet av rekreasjonstjenester varierer *med* konjunkturerne. Dette vil være tilfelle, sier Halleraker, hvis rekreasjonstjenester er inntektselastiske goder, noe han anser å være sannsynlig. Denne effekten virker i tilfelle motsatt av a).

#### *2) Eksterne miljøvirkninger og lavkonjunktur*

- a) En annen side ved det første aspektet er det faktum at produksjon og konsum ofte medfører negative eksterne virkninger på miljøkapitalen. Disse er verken kalkulert inn i privatøkonomiske kostnader eller i nasjonalregnskapet. For det første foregår det en uregistrert tapping av

Norges og verdens naturkapital. Det burde inngå som en fradragspost i nasjonalinntekten, siden ressursanvendelse skal trekkes fra i verdiskapningen. Tappingen er sannsynligvis proporsjonal med aktiviteten i økonomien, dvs. at vi har nok en medsyklisk kostnad som ikke er tatt med. Det betyr igjen at risiko i nasjonalinntekten overvurderer risiko i verdiskapningen.

- b) For det annet utnyttes naturens renskapasitet medsyklisk. Industri og husholdningers utslipp er sannsynligvis høyest når det er høykonjunktur. Dette motvirker konklusjonen i 2)a) om at nasjonalinntekten overvurderer risikoen i verdiskapningen.
- c) Halleraker konkluderer for 1) og 2) at det er et vanskelig empirisk spørsmål å avgjøre hvilke effekter som er sterke, og at resonnementene over ikke gir noen klare konklusjoner om nødvendig korrigering av et prosjekts kovariansrisiko i forhold til nasjonalinntekten.

### 3) *Internasjonal miljøkrise og avkastning for nasjonal miljøkapital*

Den potensielle virkningen på avkastningen av miljøkapitalen langs den tredje tilstandsdimensjonen er mer alvorlig, i følge Halleraker. Hvis verden i fremtiden opplever en miljøkrise, for eksempel en endring i klimaet eller for Norges del at Golfstrømmen endrer retning, vil verdien på naturkapitalen synke dramatisk. Da vil selvsagt konsumet av tjenester fra naturkapitalen per definisjon falle kraftig. Dette vil innvirke meget sterkt på velferden. Andre goder er dårlige substitutter for miljøkapital-tjenester. Det er åpenbart at de fleste vil være villige til å oppgi en betydelig andel av annet konsum for å unngå at en ny istid kommer eller at lufta ikke lenger kan pustes i. Verdien på denne kapitalen og dens avkastning framkommer ikke i nasjonalregnskapet, og er sannsynligvis heller ikke mulig å prise på noen meningsfull måte, i følge Halleraker. I tillegg har vi ingen god måte å ta hensyn til ufødte generasjoners preferanser. Nasjonalinntekten fanger altså ikke opp slik systematisk miljørisiko i nasjonalformuen.

I likhet med Lind (1982) mener Halleraker at det er viktig å ta hensyn til porteføljerisiko ved vurdering av offentlige miljøinvesteringer, men også han, som Lind, konkluderer med at det er store data- og estimerings-problemer for måling av miljøavkastning og referanseportefølje, og av deres innbyrdes korrelasjon.

### **NOU (1998): Eksempler på vurdering av risiko ved offentlige miljøinvesteringer**

Til slutt i dette avsnittet vil vi kort referere et forsøk av Kostnadsberegningutvalget på å vurdere risiko ved miljøinvesteringer i praksis. NOU (1998), som også foreligger i nær identisk versjon som en veiledning fra Finansdepartementet (2000), er ment som en praktisk veiledning til hvordan en skal gjennomføre nytte-kostnadsanalyser. I denne er det inntatt et kapittel med eksempler på ulike typer offentlige investeringer hvorav to (av fire) har miljøeffekter som et hovedformål. Det første eksemplet tar for seg en sammenlikning av mulige miljøtiltak i Nordsjøen for å bedre vannkvaliteten. I dette eksemplet vurderes ikke risiko, og fokus er på prioritering av tiltak innenfor en gitt budsjettamme. Det andre tenkte miljøinvesteringsprosjektet ser på ulike alternativer for behandling av papiravfall;



deponering, gjenvinning og forbrenning. I dette eksemplet gjøres en eksplisitt (men kort) vurdering av risiko. Siden hovedpoenget med gjenvinning er å redusere miljøkostnadene relativt til deponering, er risikojusteringen avhengig av hvor konjunkturfølsom betalingsvilligheten for miljøforbedringer er. Forfatterne velger å plassere gjenvinningsprosjektet i laveste risikoklasse (4 prosent diskonteringsrente), men det understrekes at det kan argumenteres for at prosjektet burde plasseres i gruppen for middels risiko (6 prosent diskonteringsrente).

## 3.2 Anslag på beta for privat og offentlig virksomhet i Norge

Det finnes en rekke studier fra siviløkonommiljøer i Norge som beregner enkeltbedrifters, bransjers eller sektorens betaverdier i forhold til børsindeksen (eks. Andersen og Trosdahl 1996, Gjesdahl og Johnsen 1999). Av disse gjør enkelte forsøk på å anslå betaverdier for offentlig eiet/drevet virksomhet (Johnsen 1996). Vi refererer i det følgende noen eksempler på begge typer studier, med hovedfokus på offentlig eiet virksomhet. Hensikten med kapittel 3.2. er å illustrere den mer teoretiske og intuitive diskusjonen i kapittel 2 og kapittel 3.1 med konkrete eksempler på bruk av kapitalverdimodellen.

### 3.2.1 Privat virksomhet

I denne delen vil vi referere noen eksempler på anslag på beta for enkeltforetak, bransjer eller sektorer i Norge for å illustrere hvordan avkastningen innenfor ulik virksomhet varierer i forhold til en markedsportefølje. Disse betaanslagene har i utgangspunktet ingenting med miljø å gjøre, men illustrerer hvordan systematisk risiko for Norge, forårsaket av for eksempel internasjonale konjunkturer, påvirker betaverdiene i ulike næringer. Slike betaanalyser er viktige for private aktører for å kunne ha en formening om hvilken risikojustert avkastning som må kreves for å investere i selskapet, bransjen eller sektoren. De fleste studier av denne typen tar utgangspunkt i Oslo Børs' selskaper, og beregner avkastning som månedlig prosentvis kursvariasjon over en femårsperiode. Disse tallene for månedlig avkastning sammenliknes så med tilsvarende avkastningstall for totalindeksen for Oslo Børs i samme periode.

En kan så bruke betaestimaterne som grunnlag for å mene noe om beta for selskapene i framtiden. Det er også vanlig å bruke estimerte betaer for såkalte "børskopier" når en skal forsøke å anslå grad av systematisk risiko for selskaper som ikke er børsnotert, er nystartede eller for offentlig eller statlig forretnings- eller tjenestevirksomhet som har likhetstrekk med virksomhet som er børsnotert enten i Norge eller i andre land. Anslag for beta for offentlig virksomhet bl.a. basert på "børskopier" refereres i 3.2.2.

Studiene av betarisiko for børsnoterte selskaper finner nesten aldri aksjer med null eller negativ beta. Slike er sjeldne i et velutviklet aksjemarked, det klassiske unntaket har vært aksjer i gullselskaper (formodentlig fordi gull tradisjonelt har vært en populær investering i nedgangstider). Tabell 3.1 viser betaberegninger for de sentrale selskapskategoriene på Oslo Børs i perioden januar 1993 til desember 1997.

Tabell 3.1 Snittverdier for beta for ulike sektorer på Oslo Børs.

Sektor	Beta
Finans	1,02
Industri	1,07
Eiendom (O. Thon)	1,10
Offshore	1,21
Skip	0,90
Snitt (uveiet/verdiveiet)	1,06/1,03
Totalindeks	1,00

Kilde: Gjesdal og Johnsen (1999):

Flesteparten av aksjene hadde en betaverdi innenfor det smale intervallet (0,85-1,15), dvs. at deres avkastning svinger relativt tett med totalindeksen. Betaverdier høyere enn dette hadde selskapene Petroleum Geo-Services (PGS), Elkem, Aker og Norske Skog, mens Rieber hadde lavere betaverdi. PGS og Elkem hadde periodens høyeste betaverdier hhv. 1,57 og 1,50: dette er ikke overraskende gitt selskapenes betydelige konjunkturelle forretningsrisiko. Rieber lå i den andre enden av risikospekteret med en betaverdi på bare 0,67. Dette var resultat av et lavt totalt risikonivå (1,36 ganger så høyt standardavvik som markedsporteføljen), og en lav avkastningskorrelasjon (0,49). Aksjens lave kursrisiko kan bl.a. forklares ved lav forretningsrisiko som skyldes koglomeratisk forretningsstruktur og liten konjunkturfølsomhet for matproduksjonen.

Snittallene i Tabell 3.1 illustrerer også risikoforskjeller mellom de ulike børssektorene. Som ventet ligger aksjebetansnittene for finans og industri nær benchmarkverdien 1, mens offshoresektoren har en vesentlig høyere aksjebeta 1,21. Offshoreselskapene har også en spesielt stor totalrisiko. Mer overraskende er kanskje den lave betaverdien for shipping på 0,90. Denne er til dels periodeavhengig og det historiske betanivået for shipping har ligget nærmere offshore-nivået. Den høye betaverdien for eiendom kan også virke overraskende, siden risiko ved eiendomsinvesteringer normalt regnes å ligge mellom aksje- og obligasjonsinvesteringer. Den relativt høye betaverdien skyldes en høy gjeldsfinansiering av eiendomsselskapet.

Utrekning av betaer for private selskaper er, som vi har sett, ganske rett frem. For offentlig virksomhet er det langt vanskeligere å gi anslag på beta. Slike anslag må i stor grad basere seg på analyser av tilsvarende private virksomheter som er børsnotert i andre land eller nasjonale, private virksomheter med liknende systematisk risiko som den offentlige virksomheten en er interessert i.

## 3.2.2 Offentlig virksomhet

### Kraftsektoren

Risiko i kraftsektoren oppstår fordi beslutningstageren mangler relevant informasjon om faktorer som bestemmer tilbud og etterspørsel etter kraft, og som dermed har betydning for avkastningen på investert kapital i sektoren. Etterspørselen etter elektrisk kraft avhenger av en rekke forhold, for eksempel temperaturutviklingen, aktivitetsnivået i økonomien, særlig kraftintensiv industri, og den teknologiske utviklingen. Usikkerheten knytter seg både til utviklingen av

disse forholdene og til hvordan de i fremtiden vil påvirke kraftprisene. Tilbudet av elektrisk kraft påvirkes også av mange forhold, så som nedbør og tilsig, temperaturforhold, klimatiske endringer, teknisk usikkerhet, markedsstruktur og utenrikshandel. Aktørene i sektoren står også overfor usikkerhet knyttet til endrede rammebetingelser, som for eksempel gjelder markedsregulering, miljøspørsmål, beskatning av kraftverk, og vilkår for kraftintensiv industri.

Flere studier i Norge har sett på risiko i kraftsektoren fra ulike synsvinkler. Noen ser på hvordan det enkelte energiverk burde forholde seg til risiko, særlig i forhold til type kontrakter som inngås om pris og levering (Schrøder Amundsen og Bjørndalen 1994, Bjørndalen 1994). Andre typer studier forsøker å finne anslag på beta for kraftforsyningen under ett i forhold til en nasjonal referanseportefølje (Veum 1995) eller mer detaljert for statens eierskap i produksjon (Statnett) og transmisjon/distribusjon (Statnett) (Johnsen 1996).

Mest relevant som illustrasjon av problemstillingen i denne rapporten er den siste type studier, og vi refererer Veum (1995) og Johnsen (1996) i det følgende.

Veum (1995) forsøker å finne et fornuftig risikojustert avkastningskrav (diskonteringsrente) for investeringer i kraftforsyningen i Norge. Måten hun gjør dette på er å beregne kapitalavkastningsraten i kraftsektoren basert på tall fra nasjonalregnskapet og sammenlikner denne med den norske referanseporteføljen representert ved avkastningen på Oslo Børs' totalindeks i perioden 1970-91. Hun argumenterer med at mange investeringer innenfor kraftforsyningen i Norge har noenlunde samme risikoprofil, slik at det er fornuftig å forsøke og finne et uddifferensiert avkastningskrav for investeringer i denne sektoren (og dermed et felles anslag på beta). Hun argumenterer videre med at markedet for børsnoterte aksjer er den beste markeds plass der aktørenes avveining mellom avkastning og risiko kommer til uttrykk, og at denne markedsporteføljen kan meningsfullt representere nasjonalporteføljen. Dette til tross for at det ikke finnes noen børsnoterte aksjer for rene kraftprodusenter og dermed ingen børsavledede risikopremier for denne sektoren.

Resultatet hun kommer til er at kapitalavkastningen i kraftsektoren er nær ukorrelert med avkastningen på totalindeksen i perioden 1970-91, mer presist en beta på 0,005. Konklusjonen en kan trekke av denne studien er at en ved investeringer i denne sektoren bør bruke en (nær) risikofri rente som diskonteringsrente. Det vil ikke si at det er lav risiko ved investeringer i kraftsektoren, men at nesten hele risikoen er usystematisk og dermed spesiell for denne sektoren. Slik risiko er irrelevant da den diversifiseres bort over en bred portefølje av risikable prosjekter (markedsporteføljen). En må imidlertid ta høyde for at historisk regulering i kraftsektoren kan ha bidratt til den lave betaverdien.

I den andre studien vi refererer her forsøker Johnsen (1996) å vurdere beta for ulik statlig eiet forretningsvirksomhet, deriblant Statkraft og Statnett og energiverkenes monopolvirksomhet. Hans eksempler er ment som illustrasjoner mer enn som fasitsvar. Vi konsentrerer oss om selskapenes egenkapitalbeta, dvs. risikoen knyttet til den delen av selskapets aktiva som ikke er gjeld (i motsetning til

totalbetaen<sup>4</sup>). Det er variasjon i aksjekursene som reflekterer avkastning på investering i et børsnotert selskaps egenkapital. For statlig, ikke-børsnotert virksomhet må en bruke stor grad av skjønn for å sette en riktig egenkapitalbeta siden eierandelene ikke omsettes i et marked. Ofte forsøker en å ekstrahere informasjon fra eventuelle børskopier, dvs. for selskaper som kan antas å ha tilsvarende forretningsrisiko. Slike betaverdier må først justeres for finansielle risikoforskjeller mellom selskapene. Egenkapitalbetaene som refereres her er direkte sammenliknbare med de betaer vi har referert tidligere i 3.2.1 og 3.2.2.

### *Statkraft*

Som grunnlag for analysen av Statkrafts beta bruker Johnsen data fra 20 amerikanske, 2 svenske og 2 britiske børsnoterte kraftselskaper (Se Tabell 3.2)

*Tabell 3.2 Beta for ulike amerikanske, svenske og britiske børsnoterte selskaper.*

Selskap	Beta (egenkapital)
20 amerikanske kraftselskaper	0,69
Gullspång (svensk)	0,62
Sydskraft (svensk)	0,49
Nat. Power (britisk)	1,01
PowerGen (britisk)	1,00

Kilde: Johnsen (1996)

Vi ser av tabellen at det er relativt store forskjeller i beta mellom selskaper. De høye verdiene for de britiske selskapene kan nok forklares ved selskapenes ekstraordinære verdivekst etter privatisering, og at dette skjedde i en periode med generell børsoppgang, dvs. en generell oppgang i den britiske økonomien. De svenske selskapene har på den annen side svært lave betaer. Dette skyldes nok, i følge Johnsen, at det svenske kraftmarkedet på denne tiden fortsatt var sterkt regulert. Johnsen sier videre at betatallene over kun har begrenset gyldighet for Statkraft, spesielt fordi de er beregnet i forhold til ulike referanseporteføljer som er forskjellige fra den norske. Johnsen vurderer likevel Statkrafts beta å ligge nærmere de britiske selskapene enn de svenske, og anslår en beta for Statkraft på 1,0. Dette betyr at avkastningen for kapital investert i Statkraft anses å variere i takt med referanseporteføljen for Norge.

### *Statnett og energiverkenes monopolvirksomhet*

I denne beregningen antar Johnsen at systematisk risiko for regulert nett-virksomhet er maksimalt halvparten av risikoen i konkurranseutsatt kraftproduksjon. Risikoen vil stort sett være begrenset til variasjoner i salgsvolumet, og selv om denne variasjonen kan ha betydelige konjunktuelle

---

<sup>4</sup> Ved verddivurdering av en bedrift eller et prosjekt diskonteres ofte kontantstrømmer for totalkapitalen. For dette trenger man et totalavkastningskrav, dvs. den avkastning en representativ investert krone må gi over tid for å betjene kravet fra både kreditorer og eiere. Totalbetaen representerer selskapets konjunktuelle forretningsrisiko, og vil i prinsippet være uavhengig av hvordan et selskap eller prosjekt er finansiert med gjeld og egenkapital. Dette forutsetter bl.a. et finansielt nøytralt skattesystem. Ved finansiell skattnøytralitet kan selskapets totalbeta tolkes som egenkapitalbetaen gitt 100 prosent egenkapitalfinansiering.

elementer, vil selskapets inntektsvariasjon dempes av tariffreguleringen. Johnsen konkluderer med at et realistisk anslag på beta for Statnett kan være 0,36. Avkastningskravet for kapital bundet i investeringer innenfor transmisjon og distribusjon av elektrisitet bør derfor ligge nærmere den risikofrie renten enn avkastningsraten for markedporteføljen.

Johnsen refererer også kort hvordan risiko behandles av Norsk Vassdrag og Energiverks (NVE) nye reguleringsmodell for norske energiverks monopolvirksomhet. I denne modellen er maksimal årlig avkastning i perioden 1997-2001 satt lik risikofri rente pluss et risikotillegg på 1 prosent. Johnsen mener 1 prosent tillegg virker noe lavt.

## **Offentlig tjenesteproduksjon**

Johnsen (1996) gjør også en vurdering av beta for offentlig tjenesteproduksjon representert ved NSB, Posten, og statens eierandeler i norske storbanker. Vi gjengir anslagene for disse etter tur.

### *NSB*

Johnsen kombinerer nordisk børsinformasjon om person- og godstransportselskaper med grovt skjønn for å anslå beta for NSB. I utgangspunktet er det liten tvil om at NSBs konjunkturelle forretningsrisiko er lavere enn for en representativ norsk børsnotert næringsvirksomhet. NSBs fremtid er svært usikker både når det gjelder konkurransen i ulike markedssegmenter og NSBs politiske handlefrihet til effektivt å møte denne konkurransen. Men det sentrale poenget er at svært mye av denne risikoen er bedriftsspesifikk, dvs. at selv om den påvirker forventede kontantstrømmer, skal den ikke endre NSBs avkastningskrav.

Samtidige er det klart at den totale etterspørsel i viktige markedssegmenter for NSB er relativt konjunkturfølsom. Dette gjelder spesielt godstrafikken, men også deler av persontrafikken. Det er rimelig å anta at persontrafikken har en vesentlig mindre risiko enn godstrafikken. Ca 1/3 av inntektene for NSBs persontrafikk er statlige kjøp, mens 100 prosent av inntektene for godstrafikken er markeds-generert. Den konjunkturelle risikoen forsterkes i NSBs totale resultater av det faktum at mesteparten av kostnadene er tilnærmet faste. Dette gjelder også personalkostnadene, som utgjør nesten 60 prosent av NSBs kostnader. Normalt ville disse kostnadene vært relativt variable, og kunne tillatt NSB å dempe konjunkturelle svingninger i etterspørselen ved variasjoner i bemanningen. Det er grunn til å tro at NSBs (politiske) handlefrihet her vil være svært begrenset innenfor de nærmeste årene. Isolert sett tilsier dette en større beta. Dette kan oppveies av NSBs fortsatte mulighet til en viss kryssubsidiering, dvs. at konjunkturelle svingninger i inntektene fra konkurranseutsatt virksomhet til en viss grad kan veltes over på Staten gjennom prisingen av statlige kjøp fra NSB. Johnsen gjør separate betaanslag for gods- og persontrafikk og NSBs datterselskaper og anslår en beta for NSBs samlede virksomhet på 0,75.

### *Posten*

Johnsen fortsetter med en tilsvarende vurdering av risikojustert avkastningskrav for Posten. Det er, som for NSB, liten tvil om at Postens beta er lavere enn for en representativ børsnotert virksomhet i Norge. Postens fremtid er også usikker med hensyn til konkurranse i ulike markedssegmenter og dens politiske handlefrihet til

effektivt å håndtere denne konkurransen. Svært mye av denne risikoen er imidlertid bedriftsspesifikk (usystematisk), og skal ikke påvirke avkastningskravet.

Samtidig er det klart at Posten er utsatt for sterkt økende konkurranse, særlig i distribusjon av reklamemateriell. Inntektene fra denne virksomheten utgjør allerede en betydelig del av Postens totale inntekter. Etterspørselen i dette markedssegmentet må også sies å være relativt konjunkturfølsomt. Denne risikoen forsterkes, i likhet med for NSB, av at en stor del av Postens kostnader er tilnærmet faste, noe som isolert sett tilsier en økt beta. Men også Posten har til en viss grad mulighet til å dempe disse svingningene ved kryssubsidiering av konkurranseutsatt virksomhet gjennom prising av monopolvirksomhet og samfunnstjenester.

Johnsen sammenlikner Posten med børsnotert norsk forretningsvirksomhet med sannsynligvis tilsvarende liten konjunkturfølsomhet (eks. mat/drikke vareproduksjon med lav inntektselastisitet i etterspørselen), og anslår en beta for Posten på 0,75.

### *Norske storbanker*

Til slutt i dette avsnittet vil vi kort referere Johnsens vurdering av avkastningskrav for Statens fortsatt dominerende eierskap i norske storbanker. De norske bankenes beta var ca. 0,6 før dereguleringen av kredittmarkedet. Under og etter bankkrisen ble beta mer enn fordoblet, og var i perioder langt høyere enn 2,0. Dette skyldtes en kombinasjon av økt konjunkturrell forretningsrisiko og en ekstrem økning i den finansielle gearingen av bankenes egenkapital. Johnsen mener at ingen av disse estimatene gir noe særlig godt inntrykk av bankenes normale beta i dagens deregulerte marked.

Bankenes konjunkturreksponering er nå klart større enn før dereguleringen, både fordi vi har fått en fri rentedannelse og fordi bankene er utsatt for langt større konkurranse. Noe av variasjonen i bankenes rentemargin kan imidlertid representere en bedrifts- eller bransjespesifikk risiko. I den grad rentemarginen varierer med konjunkturrene, vil dette øke bankens markedsrisiko og derfor øke avkastningskravet. Det er også mulig å tenke seg en mer tilbudsbestemt motkonjunkturrell variasjon i rentemarginen, noe som trekker avkastningskravet ned.

Andre faktorer som har vært viktige etter dereguleringen som større forretningsmessig frihet for bankene, økt engasjement i derivater og mer profesjonell håndtering av kredittrisiko trekker i ulike retninger for avkastningskravet. Banker internasjonalt har betarisiki som gjennomgående overstiger verdien 1,0. Johnsen mener at norsk bankvirksomhet har en noe lavere betaverdi i forhold til "råvarebørsen" Oslo Børs sammenliknet med børser med et mer diversifisert næringsliv. Bl.a. av denne grunn anslår Johnsen beta for de norske storbankene til 1, dvs. lik gjennomsnittlig betaverdi.

### **Oljesektoren**

I forbindelse med den offentlige utredningen av skattlegging av petroleumsektoren i Norge ble det gjort vurderinger av beta ved petroleumsprosjekter på norsk sokkel (NOU 2000). Som det gis uttrykk for i utredningen er det også for oljesektoren vanskelig å gi et godt anslag for risikoen fordi en mangler

informasjon som er direkte relevant. NOU (2000) tar utgangspunkt i internasjonale studier av oljeselskaper som driver i ulike deler av verden, for så vurdere om det er spesielle risikofaktorer ved utvinning på norsk sokkel som skulle tilsi et avvik fra den beta som beregnes for disse internasjonale oppstrøms-selskapene. Særskilt for Norge nevnes at en har et relativt forutsigbart skattesystem (for eksempel i forhold til Storbritannia) og at usikkerheten knyttet til de fiskale vilkårene er mindre enn i land med ustabile politiske forhold. Det norske skattesystemet gir også fradrag langt på vei for de aktive selskaperes inntektsrisiko. Til tross for disse risikodempende elementene velger en å anslå beta til 0,6 for Norge som er Salomon Smith Barneys (1999) anslag for bransjen "Crude" internasjonalt. Det betyr at avkastningen for investeringsprosjekter på norsk sokkel antas å svinge nær halvparten av den norske referanseporteføljen.

Salomon Smith Barney (2000) har gjort anslag på beta for en rekke internasjonale olje- og gasselskaper og finner stor variasjon. Laveste anslag ligger på 0,38 mens det selskap med høyest beta har 1,47.

### **3.3 Avkastning og risiko ved bedrifters miljøinvesteringer**

I de to foregående avsnittene har vi gitt en oversikt over litteratur som henholdsvis ser på avkastning og risiko ved offentlige miljøinvesteringer på et teoretisk og intuitivt plan, og mer anvendte empiriske studier som gir anslag på beta for privat og offentlig virksomhet uten noe bestemt miljøfokus. Vi vil i dette avsnittet identifisere en mulig analogi til vår problemstilling i litteraturen om forholdet mellom risiko og avkastning ved bedrifters økte miljøinnsats.

#### **Hvorfor noen bedrifter øker miljøinnsatsen**

En viktig del av forskningen rundt investeringer i bedret miljø fokuserer på tiltak som kan iverksettes innad i bedrifter for å redusere miljøbelastning, og ser på under hvilke forutsetninger bedrifter har incentiver til å gjennomføre slike tiltak. De aller fleste bedrifter påvirker miljøet ved ressursuttak og forurensninger, og en viktig bedriftsmessig investeringsbeslutning består i å vurdere om det lønner seg å øke bedriftens innsats i å redusere miljøeffektene (utover pålagte reguleringer og produktivitetsfremmende miljøinnsats).

Tradisjonelt sett har synet vært at for bedrifter som maksimerer profitt for sine eiere finnes det en "trade-off" mellom innsats for økt profitt og bedret miljøinnsats (som for eksempel mindre utslipp). Det vil si at det ikke lønner seg å gjøre noe mer enn det bedriften er lovmessig pålagt ved regulering. I mikroøkonomisk teori kjenner en igjen denne modellen som en frikonkurransmodell der renprofitt drives mot null, og pris presses mot grensekostnad. Kostnadene ved miljøinnsats (utover de som gir både produktivets- og miljøgevinst) er som oftest interne for bedriften, mens miljøgevinstene er eksterne (dvs. "deles med alle").

En rekke nyere studier trekker allmenngyldigheten av denne gamle "sannhet" i tvil. Bedrifters miljøprofil både innad overfor egne ansatte og utad overfor kunder, leverandører og en bredere offentlighet ser ut til å ha en økende betydning for lønnsomhet og avkastning i bedriften noe som også er nært knyttet eiernes

(investorenes) oppfatning av risiko (Synnestvedt 1999a, 1999b). Uten å tillegge bedrifters ledelse etiske motiver, kan en plassere denne type bedriftsatferd i modeller med oligopolistisk eller monopolistisk konkurranse. Innenfor slike modeller vil en bedrifts miljøprofil være en differensieringsfaktor, dvs. en egenskap ved produktet som produsenten kan utnytte strategisk og dermed oppnå pris høyere enn grensekostnad (Bolstad m.fl 1998). Mulige koblinger mellom en bedrifts miljøinnsats og økonomiske resultat går imidlertid utover et ren monopolistisk konkurransemodell, og kan være komplekse og ha varierende styrke (Synnestvedt 1998). Ofte er det også vanskelig å avgjøre i praksis hvilken vei kausaliteten går.

### **Økt miljøinnsats kan redusere bedriftenes betaverdier**

Analogien til risiko ved offentlige miljøinvesteringer skal i det følgende gjøres klarere, og vi refererer tre studier som vi mener er spesielt interessante. En hypotese som har vært testet i disse studiene er hvorvidt det er en sammenheng mellom bedrifters miljøprestasjoner og økonomisk avkastning og systematisk risiko. Tankegangen bak risikosammenhengen er at hvis for eksempel konsumenter blir mer opptatt av bedrifters miljøegenskaper eller hvis offentlige miljøreguleringer strammes til i framtiden, vil det være mindre risikofylt å investere i de bedrifter som har god miljøprofil og høy miljøbevissthet. Oppfatter investorer dette vil det resultere i lavere krav til avkastning i de bedrifter som gjennomfører miljøtiltak, gjennom en lavere systematisk risiko (lavere beta). Lavere beta medfører at framtidige inntekts- og kostnadsstrømmer diskonteres med et lavere avkastningskrav, og aksjekursen vil stige (alt annet likt). Gjennom å observere avkastningen i aksjemarkedet i forhold til bedrifters miljøprestasjoner (målt for eksempel ved ulike indikatorer), kan en trekke slutninger om hvorvidt (økt) miljøinnsats reduserer beta for bedriftene.

Den eneste empiriske studien<sup>5</sup> vi kjenner som har testet hypotesen over på norske data er Bolstad m.fl. (1998). De bruker tall fra SFT og måler bedrifters miljøprestasjoner ved utslipp av CO<sub>2</sub>, partikkelutslipp til luft, samlet mengde utslipp til luft og antall substanser utsluppet. Videre grupperer de bedrifter i Norge i ”grønne” og ”brune” kategorier og regner ut beta for de fire miljødimensjonene for begge kategorier ved å ta utgangspunkt i børsavkastning. De finner marginalt lavere betaverdier for de grønne bedriftene for de tre sistnevnte miljødimensjonene (ikke signifikante) (hhv. 0,91; 0,92 og 1 mot 1; 1,14; 1,06), mens for CO<sub>2</sub> finner de signifikant større betaer for de grønne bedriftene (1,01 mot 0,96). En mulig forklaring på det signifikante resultatet, mener de, kan være at bedrifter med lave CO<sub>2</sub>-utslipp har investert i kostbar renseteknologi og påført seg høy andel faste kostnader og dermed en høyere operasjonell risiko.

Feldman m.fl (1996) ser på sammenhengen mellom miljømessige aktiviteter og selskapets beta for 330 av de 500 største amerikanske selskapene. Forfatterne finner at fra et utgangspunkt med beta lik 1, fører en 50 prosent forbedring av ”environmental management system” og ”environmental performance” hos bedriftene til en nedgang i beta på hhv. 8,5 prosent og 6,5 prosent, med en kombinert effekt på 13,2 prosent.

---

<sup>5</sup> Vi kjenner til at Terje Synnestvedt ved BI jobber med en nært beslektet problemstilling der det teoretiske og empiriske arbeidet ennå ikke er avsluttet.



Klassen og McLaughlin (1996) analyserer markedsreakjoner rundt offentliggjøring av priser for god miljøinnsats og rundt offentliggjøring av miljøkriser (som oljesøl og eksplosjoner). Selskaper skilles i to grupper, en med god miljøprofil og en med dårlig. Kriteriet for å havne i den første gruppen er tildelingen av miljøpris(er) fra uavhengig tredjepart, som for eksempel forbrukerorganisasjoner, hvor nyheten også offentliggjøres av tredjepart. Kriterium for den andre gruppen er at selskapet i media er blitt omtalt i forbindelse med forskjellige miljøkriser. På denne måten får forfatterne et utvalg som kan representere hhv. gode og dårlige miljøaktører. Et sentralt resultat fra denne studien er at for gruppen som ble tildelt priser så falt gjennomsnittlig beta fra 1,06 til 0,95 (signifikant) fra tiden før offentliggjøring til tiden etter.

Vi er klar over at denne typer studier er beheftet med flere begrensinger. De mest alvorlige er metodiske vanskeligheter med å måle og kategorisere miljøprestasjon/-effekt på en fornuftig måte for ulike bedrifter og bransjer, liten forklaringskraft i statistiske analyser, og problemer med å avgjøre hvilken vei kausaliteten går (mellom miljøinnsats og finansiell avkastning). I tillegg kan en (alltid) stille spørsmålet om i hvor stor grad historiske data gir fornuftig informasjon om fremtidige miljøutfordringer etc. i en verden i rask endring. Enkelte forfattere foreslår å bruke scenarieanalyse for å unngå en del av disse problemene (Repetto og Austin 2000), selv om denne metoden også har noen av de samme, og en del andre svakheter.

Til tross for svakhetene ved studiene tror vi likevel at de gir en indikasjon på hvordan private aktørers preferanser med hensyn til avkastning og risiko for miljøinvesteringer i bedrifter kommer til uttrykk i aksjemarkedet. Slike studier er relevante, siden offentlige myndigheter ikke er ment å ha egne preferanser, men skal generelt representere private individers preferanser på en best mulig måte i sine investeringer for fellesskapet.



## 4 Eksempler på egne betaanslag for miljøinvesteringer

Dette kapitlet illustrerer gjennom ulike eksempler og fremgangsmåter hvilken verdi risikotillegget i diskonteringsrenten ved miljøinvesteringer kan tenkes å ha. Med miljøinvesteringer tenker vi på investeringer der den vesentlige avkastningen er bedre miljøkvalitet. Vi viser eksempler og fremgangsmåter fra følgende områder:

- Betalingsvilje for miljøgoder
- Investeringer i grønne fonds
- Investeringer i nye fornybare energikilder
- Investeringer i forebygging av klimaskader

Anslagene vi presenterer i kapitlet kan etter vår mening ikke uten videre brukes i konkrete miljøprosjekter. Det viktige er å få fram et tallmateriale som i sum gir et inntrykk av et rimelig intervall for risikotillegget i diskonteringsrenten for miljøinvesteringer. Våre eksempler må dessuten vurderes på grunnlag av litteraturen.

### 4.1 Beregning av beta på grunnlag av betalingsvilje for miljøgoder

Nesten et hvilket som helst nummer av fagtidsskrifter i miljøøkonomi inneholder artikler som anslår publikums betalingsvilje for et eller annet miljøgode. Miljøgodet er typisk et naturområde som for eksempel kan brukes til fotturer, fiske eller som reservat for biotoper. Miljøgodet kan også være bestemte dyre- eller fuglearter som ulv eller hval, (fravær av) støy, eller for eksempel sikt i luft eller vann. Metodene for å anslå betalingsvilje har sine problemer som vi ikke skal gå inn på her.

Beslutningen om å verne et område eller frede en art medfører som oftest en eller annen form for investering. Dersom en for eksempel verner et område, koster det kanskje ikke så mye i pengeutlegg, men det kan godt koste en hel del i form av tapte inntekter fra boligbygging, skogbruk, kraftproduksjon eller andre bruksmåter man avstår fra. Et slikt inngrep har også en inntektsside, nemlig at området eller

arten vernes for "all" framtid. Inntekten strekker seg dermed framover i tid, og vi kan snakke om en investering med en kostnad og langtrukne inntekter.

En investering i miljøverdier kan prinsipielt sett behandles på samme måte som en hvilken som helst annen investering, nemlig ved å sammenlikne nytte og kostnader neddiskontert til i dag. Et spørsmål er da hvilken diskonteringsrente som skal benyttes, og nærmere bestemt hvilket risikotillegg man skal bruke i diskonteringsrenten.

Dette avsnittet viser hvordan man kan bruke anslag for betalingsviljen for miljøgoder til å anslå risikotillegget i diskonteringsrenten uttrykt ved beta.

### Tilknytning til teori

Vi tar utgangspunkt i KAPM-likningen fra kapittel 2.2, som gjentas her:

$$\bar{r}_E = r_{A0} + \beta_E (\bar{r}_m - r_{A0}), \quad \beta_E = \frac{Kov(r_E, r_m)}{Var(r_m)}$$

Vi husker at likningen sier at diskonteringsrenten knyttet til en miljøinvestering er lik den risikofrie renten  $r_{A0}$  + et risikopåslag lik forskjellen mellom avkastningen for referanseporteføljen  $\bar{r}_m$  og den risikofrie renten (dvs. markedets risikopremie), multiplisert med prosjektets beta.

Oppgaven nå er å finne et uttrykk for beta. Vi tar utgangspunkt i betalingsviljen for miljøgoder. Mange undersøkelser spesifiserer at betalingsviljen for miljøgoder en funksjon av ulike faktorer, blant annet inntekt. Det er fordi man som regel er villig til å betale mer for miljøgoder dersom man tjener mer, om ikke annet fordi man har mer penger å fordele på ulike ting og tilbudet av miljøgoder er gitt. En vanlig matematisk funksjon som uttrykker dette, er den log-lineære funksjonen

$$\ln p = a \ln m + konst$$

I denne likningen står  $p$  for betalingsviljen for miljøgodet,  $m$  er inntekt,  $a$  er en koeffisient som beskriver hvor mye en endring i inntekten øker betalingsviljen for miljøgodet, "ln" betyr den naturlige logaritmen, og *konst* er en samling av andre variable enn inntekt som påvirker betalingsviljen for miljøgodet. Slike variable er for eksempel informasjonsmengde, holdninger og verdier, hvor sjeldent eller knapt miljøgodet er osv.

Anta nå at de andre variablene enn inntekt ikke påvirker betalingsviljen på en systematisk måte over tid. La symbol med prikk over bety endring per tidsenhet. Enkel matematisk derivasjon gir følgende sammenheng mellom endring i inntekt og endring i betalingsvilje over tid:

$$\frac{\dot{p}}{p} = a \frac{\dot{m}}{m}$$

Her står at den prosentvise endringen i betalingsvilje er lik den prosentvise endringen i inntekt, ganget med  $a$ . Sagt på en annen måte: dersom inntekten øker en prosent, stiger betalingsviljen for miljøgodet med  $a$  prosent.  $a$  kalles ofte elastisiteten av betalingsvilje (med hensyn på inntekt)

Med denne erkjennelsen av hva  $a$  er, har vi i virkeligheten kommet mange skritt nærmere å anslå beta! Men for å komme i mål, må vi blant annet reflektere over hva økningen i betalingsvilje over tid er. Vår påstand er at den prosentvise økningen i betalingsvilje over tid er lik avkastningen av å investere i miljøgodet.

Tenk for eksempel på et naturområde vi bestemmer oss for å verne. Det gir naturligvis en verdi ”i dag” at området er vernet ”i dag”. Videre gir det en verdi ”i morgen” at området er vernet til ”i morgen”. Dersom verdien i morgen er lik verdien i dag, vil avkastningen være null, på samme måte som når verdien av det vi har i banken er like stor i morgen som i dag; da er også avkastningen null. Avkastning i ”naturbanken” får vi når verdien stiger, altså når betalingsviljen for miljøgodet stiger. Dersom betalingsviljen stiger ti prosent på ett år, er avkastningen ti prosent, osv. Vi formaliserer denne sammenhengen som

$$\frac{\dot{p}}{p} = r_E$$

Her står det at vi kaller stigningen i betalingsvilje for miljøgodet for renten eller avkastningen av å investere i miljøgodet,  $r_E$ .

På samme måte som stigningen i betalingsvilje for miljøgodet har en naturlig tolkning som avkastningen av miljøgodet, vil vi argumentere for at stigningen i inntekt har en naturlig tolkning som avkastningen av samlet kapital eller formue i samfunnet. Samlet kapital eller formue kan her antagelig ikke forstås fullt så bredt som i kapittel 2, men det er et forholdsvis bredt begrep som er en forholdsvis god tilnærming til teoribegrepet i kapittel 2. Anta for eksempel at inntekt består av lønnsinntekt og kapitalinntekt. Lønnsinntekt kan beskrives som avkastning av den menneskelige kapitalen, og kapitalinntekten kan beskrives som avkastning av produksjonskapital. Lærebøker i samfunnsøkonomi utdypet dette. Vi kan skrive

$$\frac{\dot{m}}{m} = r_m$$

Med denne erkjennelsen kan vi videre skrive

$$\frac{\dot{p}}{p} = a \frac{\dot{m}}{m} \Leftrightarrow r_E = ar_m$$

Her står det at avkastningen av miljøgodet er lik avkastningen av samlet kapital, multiplisert med koeffisienten  $a$ . Anta nå at avkastningen av samlet kapital i denne likningen er en god tilnærming til den teoretiske konstruksjonen avkastning av referanseporteføljen som vi beskrev i kapittel 2. Da har vi

$$\begin{aligned} \text{Kov}(r_E, r_m) &= \text{Kov}(ar_m, r_m) = a \text{var}(r_m) \\ \beta_E &= \frac{a \text{var}(r_m)}{\text{var}(r_m)} = a \end{aligned}$$

Ved å regne ut kovariansen etter vanlige regler og dividere med variansen, finner vi at den søkte parameteren beta simpelthen er lik  $a$ .

Intuitivt er det ikke så rart at beta er lik  $a$ . Anta for eksempel at  $a$  er lik 0,5. Det betyr at en prosents økning i inntekten gir en halv prosents økning i betalingsviljen etter miljøgodet. Det betyr igjen at svingningene i etterspørselen etter miljøgodet er avdempet i forhold til svingningene i inntekt: Dersom inntekten svinger opp en prosent, svinger betalingsviljen bare opp en halv prosent osv. Investeringen i miljøgodet gir med andre ord en sikrere inntekt enn investeringen i referanseporteføljen, og det er det beta handler om. Enda tydeligere blir det dersom  $a$  er lik null. Da ligger avkastningen for miljøgodet fast. Den er altså sikker, og beta bør være null, dvs. lik med  $a$ .<sup>6</sup>

For å komme fram til resultatet  $\beta = a$  så har vi gjort en del forutsetninger. La oss kort oppsummere dem og hvordan de påvirker resultatet:

- Vi sa at likningen som bestemmer betalingsvilje for miljøgodet har log-lineær form. Det gjorde vi for å få et skarpt resultat på en enkel måte. Med en annen funksjonsform vil resultatet fortsatt gjelde, men elastisiteten av betalingsvilje med hensyn på inntekt vil ikke være ett tall. Elastisiteten vil variere med inntekten.
- Vi sa at andre variabler enn inntekt ikke påvirker betalingsviljen på en systematisk måte over tid. Dette strengere forutsetning enn vi egentlig trenger. Andre variabler kan gjerne påvirke betalingsviljen over tid, men disse variablene kan ikke være korrelert med inntekt. Dersom de er korrelert med inntekt, vil kovariansen mellom inntekt og betalingsvilje avhenge av flere ledd enn  $a$ , nærmere bestemt av de andre leddene i tillegg.
- Avkastningen av å investere i miljøgodet er lik stigningen i betalingsvilje. I visse situasjoner og for visse goder er avkastningen i tillegg avhengig av en tjenestestrøm i perioden, men dette er lite vanlig å regne med for alminnelige miljøgoder.
- Inntekten er lik avkastningen av en portefølje som er en god tilnærming til referanseporteføljen. Hvis denne tilnærmingen er dårligere enn vi har lagt til grunn, gjelder resultatet vårt bare omtrentlig.

## Tallfesting av beta

Vi har kommet fram til at for å tallfeste beta for et miljøgode, kan vi tallfeste elastisiteten av betalingsvilje med hensyn på inntekt,  $a$ . Selv om vi sa det finnes mange undersøkelser som anslår betalingsviljen for miljøgoder, er det ikke like mange som undersøker hvordan betalingsviljen varierer med inntekt. På grunnlag av den litteraturen som foreligger, har det grovt sett dannet seg to hovedsynspunkter. Det ene hovedsynspunktet er at elastisiteten (og dermed beta) er mindre enn én. Det andre synspunktet er at elastisiteten tvert i mot er større enn én. Vi refererer disse synspunktene og debatten mellom dem før vi konkluderer på hva som for våre formål er en relevant verdsetting av beta.

---

<sup>6</sup> I dette tilfellet vil dessuten avkastningen av å investere i miljøgodet være null dersom det ikke er andre faktorer som trendmessig øker betalingsviljen for miljøgodet og dermed avkastningen. Det viser seg faktisk at man trenger en slik trendmessig faktor dersom likningen  $r_E = ar_m$  oppfattes som en likevekt som er konsistent med KAPM - likning i kapittel 2.2 Uten en slik trend forteller KAPM-likningen at når beta er lik  $a$  og  $a$  er lik null så er  $r_E = r_{A0}$ , mens likningen  $r_E = ar_m$  forteller at  $r_E$  skal være lik null. Det henger jo ikke sammen.

## Hvorfor beta er mindre enn én

Alle de undersøkelser av betalingsviljens variasjon med inntekt som vi har sett, finner at elastisiteten er under én og til dels betydelig under. Det gjelder blant annet det "miljøgodet" eller hendelsen som er blitt klart mest studert de senere årene, Exxon Valdez ulykken utenfor Alaska. Carson m.fl. (1992) finner her en verdi rundt 0,25, som betyr at én prosents økning i inntekt blant de spurte forbindes med en kvart prosent økt betalingsvilje. 100 prosent større inntekt (altså dobbelt så stor) forbindes med 25 prosent økt betalingsvilje. Sagt på en annen måte: De dobbelt så rike er slett ikke villige til å betale dobbelt så mye.

Undersøkelsen til Carson m.fl. (1992) er en såkalt tverrsnittsundersøkelse der inntektsforskjellen er lik med forskjellen mellom fattige og rike på samme tidspunkt. Smith og Huang (1995) foretar en metaundersøkelse av mange slike tverrsnittsundersøkelser, for miljøgodet svevestøvreduksjon, og finner at elastisiteten av betalingsviljen med hensyn på inntekt ligger mellom 0,3 og 0,95.

Tilsvarende tendens finner en på andre områder: Simon et al. (1999) oppsummerer for eksempel at betalingsviljen for bedre helse ikke stiger proporsjonalt med inntekten, i hvert fall ikke for bedre helse knyttet til bedre luftkvalitet. Andre undersøkelser viser at dobbelt så rike heller ikke betaler dobbelt så mye til veldedige formål. Resultatet holder seg dessuten om en ser på land på ulike utviklingsnivå: Alberini et al. (1997) finner at betalingsviljen for bedre helse av bedre luftkvalitet på Taiwan ligger på 0,45.

Resultatene fra undersøkelser av betalingsviljens variasjon med inntekt skulle tilsi at elastisiteten av betalingsvilje (og dermed beta) er klart under én. Likevel er ikke spørsmålet avgjort. Hvorfor?

## Hvorfor beta er større enn én

De fleste økonomer som kommer i kontakt med spørsmålet, har en umiddelbar oppfatning om at elastisiteten av betalingsvilje med hensyn på inntekt er større enn én. Kriström og Riera (1996) kaller det en del av "economic folklore". Det dras sammenlikning med den vanlige inntektselastisiteten (hvor mye mer av et gode man kjøper når inntekten øker), og det pekes på at goder med lav inntektselastisitet er mat, klær og annet som "fattige" prioriterer, mens goder med høy inntektselastisitet er tjenester og fritid som "rike" prioriterer. Tjenester fra natur og miljø bør i følge dette synspunktet komme i klasse med andre tjenester, altså som noe en fattig ikke kan prioritere, men en rik kan prioritere.

Dersom elastisiteten av betalingsvilje er mindre enn én, må en konkludere motsatt: De fattige er villige til å sette av en stor andel av inntekten til miljøgoder, mens de rike setter av en mindre andel. Dette er simpelthen vanskelig å godta for mange økonomer.

Vanskelighetene med å godta elastisiteten, har ledet til kritikk av undersøkelsene som gir til resultat at den er mindre enn én. For eksempel kan undersøkelsene kritiseres fordi de stort sett måler tverrsnitt. Det kan gi helt andre resultater enn om en måler virkningen av økt inntekt til hele befolkningen på to tidspunkter, såkalte tidsserier. Undersøkelsesresultater som sier at betalingsviljen for bedre helse stiger mindre enn inntekten, er for eksempel vanskelig å forene med

stigningen over tid i etterspørselspresset etter helsetjenester (selv hensyn tatt til at mulighetene for behandling øker).

Forsker Erling Røed Larsen i SSB ser nettopp på elasticiteten av betalingsvilje for miljø med hensyn på inntekt *over tid* i Norge (Røed Larsen 2001). Hans foreløpige resultater kan tyde på at godene "lodging og equipment" som sammen med natur produserer naturopplevelser, har elasticiteter større enn én Norge i perioden 1975-95.

Undersøkelsene er også blitt utsatt for mer grunnleggende kritikk av økonomer som mener at metodene som brukes er for dårlige og/eller uegnet til å trekke vidtgående konklusjoner fra. For eksempel kan det hende at respondenter i en undersøkelse av betalingsvilje for et miljøgode, svarer i henhold til en norm for hvor mye man bør betale til fellesskapet. De kan for eksempel svare at de er villige til å betale 100 kroner hvis det er det som er normen og det er det de tror andre gjør. Dette kan forklare at folk svarer omtrent likt selv om de har ulik inntekt. Hvis en tenker på anvendelser av et beta-anslag, er det klart at hvorvidt folk har normer om å gi 100 kroner er uinteressant.

### **Et forsøk på syntese og begrunnelse av et anslag**

Til disse innvendingene har de som utfører undersøkelser av betalingsvillighet stort sett svart at undersøkelsene viser noe stigning med inntekten, som en kanskje ikke skulle forvente dersom alt styres av normer. Det viser seg også at elasticiteten av betalingsvilje med hensyn på inntekt (altså der kvantum er fast) ikke nødvendigvis skal være lik elasticiteten av kvantum med hensyn på inntekt (den vanlige inntektselasticiteten der prisen er fast), se Flores og Carson (1997) og Carson, Flores og Meade (1996). Mer overbevisende er kanskje at "elasticitet av betalingsvilje med hensyn på inntekt mindre enn én" ikke bare er knyttet til betingede verdsetningsundersøkelser, men fremkommer nesten uansett hvilken metode man bruker.

Vi for vår del synes ikke dette tilsvaret virker helt overbevisende og det adresserer for eksempel ikke tidsseriepoenget. På den annen side er det få holdepunkter utover alminnelig intuisjon og magefølelse for at elasticiteten er større enn én. I en tidligere vurdering av samme art som denne har ECON (1997) konkludert med at elasticiteten kan settes lik med én (med 0,5 og 1,5 som alternativer). Man argumenterer blant annet for at IPCC (1996) har valgt én. Det er dessuten godt mulig at ulike miljøgoder har ulik elasticitet av betalingsvilje med hensyn på inntekt og dermed ulik beta, men det har vi ikke data til å skille på.

## **4.2 Grønne aksjefonds: Investering i miljøaktive bedrifter**

Som vi var inne på i kapittel 3.3 er det et tiltagende miljøengasjement i ulike deler av næringslivet, og en har et økende antall studier som konkluderer med at en aktiv miljøstrategi for bedrifter i mange tilfeller kan lønne seg. En grunn til dette er at miljøinnsats i bedriften kan redusere den systematiske usikkerheten knyttet til å investere i eiendeler i bedriften. Flere studier vi refererte i kapittel 3.3 har funnet slike sammenhenger.



En annen og nært beslektet fremgangsmåte for å se på risiko og avkastning i bedrifter med aktiv miljøinnsats, er å studere sammenhengen mellom avkastning for såkalte ”grønne” fonds og referanseporteføljen. Grønne fonds er en undergruppe av såkalte ”Socially Responsible Investments”, eller etiske investeringer. De første etiske aksjefondene ble startet i USA og hensikten er å investere penger i bedrifter som tilfredsstillende et sett av screeningkriterier som gir fondet en bestemt etisk profil. Noen fond investerer kun i miljøaktive bedrifter, utelukker tobakk- og våpenindustri, vurderer bedrifters arbeidsmiljø og lokalt engasjement, antirasisme etc. Ofte kan kriteriene deles i miljøkriterier og sosiale kriterier. Grønne fonds er de fondene som i hovedsak investerer i bedrifter som enten har som hovedoppgave å løse et eller annet miljøproblem (e.g. Tomra) (dvs. miljøaktive bedrifter), eller bedrifter som har lave miljøeffekter (dvs. miljønøytrale bedrifter). Hvert fond har sine screeningkriterier som kan være mer eller mindre ”strenge”, men metodikken er under rivende utvikling og går mot større grad av standardisering. Interessen for grønne fonds er stor og økende i mange land, også i Norge der de eldste fondene har holdt på rundt 10 år.

Tanken er at de miljøinvesteringer som er representert ved porteføljen av bedrifter for et grønt fond kan være en god ”markeds kopi” for offentlige miljøinvesteringer. Med andre ord kan vi, med litt godvilje, tolke avkastningen på de grønne fondene som et proxy for avkastningen på offentlige miljøinvesteringer,  $r_E$  (som definert i kapittel 2.2). Sammenlikner vi denne med avkastningen på referanseporteføljen kan vi få en indikasjon på hvordan risikoen for denne type investeringer verdsettes i markedet, i form av betaanslag.

## Betaestimering for norskbaserte grønne fonds

Det finnes en rekke grønne fonds i Norge. Vi har sett på avkastningen av følgende fire fonds:

### *Nordiske Fonds*

- *Skandia Grønt Norden*. Et fond med en klar miljøprofil. Fondets midler investeres i miljøvennlige og *miljønøytrale* produkter, tjenester og produksjonsprosesser. Halvparten av fondet vil kunne plasseres utenfor Norden. Miljøteknologi, energi, IT, finans og konsum er eksempler på bransjer fondet investerer i. Etablert 24.11.89.

### *Internasjonale Fonds (gjennom nordiske forvaltere)*

- *Skandia Miljøinvest*. Et internasjonalt aksjefond med en klar miljøprofil i sine investeringer. Fondene investerer i selskaper som har produkter og tjenester som benyttes for å løse miljøutfordringer. Etablert 1.1.1990.
- *Storebrand Global Miljø/Storebrand Environmental Value*. Fondet investerer i internasjonale aksjemarkeder m.h.t. miljø-, sosiale- og finansielle kriterier. Fondet har stor geografisk og bransjemessig spredning på sine investeringer. Etablert: 1996.
- *SEB Miljø*. Et fond forvaltet av svenske Skandinaviske Enskildabanken. Tilbys norske kunder. Oppstart 1993.

Det norske markedet aksjemarkedet er for lite til at disse fondene kun investerer der. Alle fire fond har derfor en mer eller mindre internasjonal portefølje. Få restriksjoner på kapitalbevegelser over landegrensar gjør det mulig å diversifisere

bort usystematisk risiko for Norge. Det er kun Skandia Miljøinvest som kun investerer i miljøaktive bedrifter, mens de tre andre har en klart grønn profil, men inkluderer også "low impact" bedrifter (eks. IT).

Både screeningkriteriene og utenlandsvektene i de forskjellige fondene har variert over tid. Vi har ikke forsøkt å spore tilbake disse<sup>7</sup>, men har tatt utgangspunkt i månedlige avkastningstall for de fire fondene, siden oppstart og de siste fire årene, og sammenliknet med ulike referanseporteføljer (se Tabell 4.1). Mer presist har vi gjort en enkel regresjonsanalyse mellom avkastningen på miljøfondet (avhengig variabel) og referanseporteføljen (uavhengig variabel). Det er vanlig enten å bruke data for månedlig avkastning for 5 år eller ukedavkastning for 2 år. Vi bruker månedsavkastning. Av dette får man estimert beta. Alle risikable internasjonale investeringer inkluderes i verdensporteføljen, mens de tre andre referanseindeksene er tatt med som illustrasjon.

*Tabell 4.1 Estimert betarisiko for et utvalg norskbaserte grønne fond de siste 4 år og siden oppstart, sammenliknet med Morgan Stanley Indekser for hhv. Norge, Norden, Europa og Verden.*

Fond	Estimert beta i forhold til type referanseportefølje (indeks)							
	Norge		Norden		Europa		Verden	
Estimeringsperiode, fra/til mnd.år og siden oppstart av fondene	juni.96 -okt.00	Oppstart	juni.96 -okt.00	Oppstart	juni.96 -okt.00	Oppstart	juni.96 -okt.00	Oppstart
Skandia Miljøinvest	0,31	0,39	0,30	0,36	0,39	0,53	0,35	0,46
Skandia Grønt Norden	0,58	0,57	0,70	0,59	0,73	0,73	0,61	0,68
SEB Miljøfond	0,27	0,31	0,47	0,47	0,62	0,65	0,68	0,73
Storebr. Global Miljø	0,42	0,42	0,57	0,57	0,79	0,79	0,93	0,93

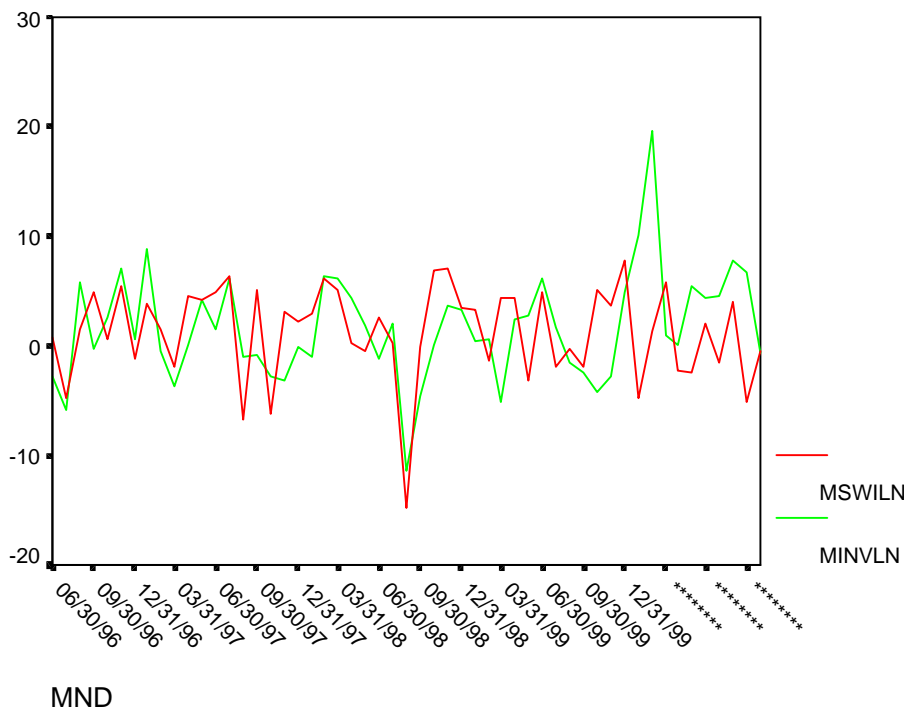
Kilde: Avkastningsdata innhentet fra Skandia Fondsforvaltning, Storebrand og SEB. Våre estimeringer.

Vi kan konsentrere oss om den venstre kolonnen for beta i tabellen. Estimaten for beta varierer sterkt for alle typer fond og referanseindekser, men er alltid mellom 0,3 og 0,95. Skandia Miljøinvest, det miljøaktive fondet, har en betaverdi som generelt ligger godt under de andre fondene sammenliknet med alle referanseindekser. Det er som en kunne forvente hvis en har tiltro til vår hypotese. Avkastningen på Skandia Miljøinvest svinger godt under halvparten og oftest ned mot 1/3, uansett referanseportefølje. Til sammenlikning kan vi nevne at indeksen for Norge har en beta godt over én sammenliknet med verdensporteføljen.

For illustrasjonens skyld tegner vi inn månedlig avkastning for Skandia Miljøinvest og Morgan Stanleys verdensindeks for de siste 4 år. Betaverdien i figuren er 0,35.

<sup>7</sup> Slik informasjon finnes ofte ikke engang hos fondsforvalterne.

Figur 4.1 Månedsvise avkastning for Skandia Miljøinvest sammenliknet med Morgan Stanleys World Indeks de siste 4 år. (beta = 0,35)



En analyse som vi har gjort er beheftet med mange svakheter. Det er som nevnt umulig å innhente informasjon tilstrekkelig til å for enhver tid og for ethvert fond ha en referanseportefølje som ikke er feilvektet. I tillegg er det, som vi nevnte i kapittel 3.3, ikke rett frem å oversette eller tolke hvordan miljøkarakteristika ved bedrifter, blir verdsatt i form av avkastning i markedene. Miljødimensjonen er ofte en av flere dimensjoner. Enkelte av fondene inkluderer jo i tillegg mer miljønøytrale bedrifter. Likevel er vårt eksempel mer ment som en illustrasjon, vi tross svakhetene, finner relevant.

Vi forsøker oss ikke på ett samlende anslag på beta som kan overføres til bruk i offentlige prosjektvurderinger, men nøyer oss her med å slå fast at en slik kort analyse vi har gjort gir en god indikasjon på at beta nok ligger (et stykke) lavere enn én for private bedrifter som har som hovedaktivitet å løse et eller annet miljøproblem. Dette resultatet gir noe støtte for å si at offentlige investeringer i løsning av tilsvarende type miljøproblemer også kan ha beta mindre enn én.

### 4.3 Investeringer i energisektoren

Etter flere år med investeringstørke er det igjen aktuelt med nye investeringer i norsk kraftsektor. Mål om omlegging av energisektoren med økt vekt på nye fornybare energikilder og etablering av ny infrastruktur (fjernvarme) blir nå fulgt opp med økte bevilgninger og med endringer i energiavgiftene.

De internasjonale rammevilkårene i energimarkedene og i miljøpolitikken er usikre. Oljepriser, liberalisering av europeiske kraft- og gassmarkeder samt utviklingen av internasjonale klimaavtaler er sentrale usikkerhetsfaktorer. Politikktutforming i Norge må på en eller annen måte ta hensyn til denne

usikkerheten. Vi forsøker i dette avsnittet å gi anslag for betaer for to typer energiinvesteringer, anslag som vil kunne gi en rettesnor for hvordan nytte- og kostnadsstrømmer fra energiinvesteringer bør diskonteres.

I motsetning til Lind (1982) som ser på forskning på og utvikling av fremtidige energiteknologier og den mulige forsikringseffekten av slik satsing (se kapittel 3.1), ser vi på investeringer i å ta i bruk energiteknologi som finnes i dag. Også slike investeringer kan, som vi skal se, fungere som forsikringer.

Aktuelle investeringsprosjekter i norsk energisektor slik som gasskraftverk innebærer utslipp av CO<sub>2</sub>. Fortsatt (i hvert fall inntil de siste oljeprisøkningene) installeres en del næringsbygg med oljefyringsanlegg og vannbåren varme. Slike anlegg gir også utslipp av CO<sub>2</sub>. Bruk av bioenergi i fjernvarmeanlegg gir ikke noe utslipp av CO<sub>2</sub> (ut over den CO<sub>2</sub> som uansett ville blitt frigitt fra biomassen under forråtnelsen), men slike anlegg trenger en ikke ubetydelig oljefyringskapasitet for å dekke topplast. Fjernvarmeanlegg kan også benytte varmpumpe som grunnlastkilde. Den er uten direkte utslipp, men trenger elektrisitet som primær energikilde. Ikke å investere i det hele tatt innebærer økt produksjon innenfor eksisterende kapasitet i det nordiske kraftmarkedet og utslipp av CO<sub>2</sub> fra kull- og i framtiden gasskraftverk, som vil utgjøre marginale verk. Siden en investering i varmpumper trenger kraft som energikilde betyr det at varmpumper indirekte gir opphav til CO<sub>2</sub>-utslipp. Vi kan beregne miljøkostnader for alle disse alternativene å møte økt etterspørsel på. Det er bl. a. gjort i Bowitz og Dang Trong (2000).

Vi skal i fortsettelsen beregne betaer for to typer investeringsprosjekter:

- fjernvarme basert på biomasse (olje spisslast)
- fjernvarme basert på elektrisk drevet varmpumpe (olje spisslast)

Vi gjør rede for en modell som knytter usikkerhet i prisene på sentrale energibærere til avkastningen for de to investeringene og for referanseporteføljen. Ved å gjøre modellsimuleringer får vi fram variasjon og samvariasjon i disse avkastningsratene som gir oss anslag på beta.

Eksemplet presentert i dette avsnittet er basert på et pågående arbeid ECON utfører for forskingsprogrammet SAMRAM under Norsk Forskningsråd. Vi gjør ikke rede for hele dette arbeidet her, men gjengir kort intuisjonen i noen foreløpige beregninger (se Bowitz og Lindhjem 2001 for en nærmere beskrivelse). Likningene i modellen som er brukt i den foreløpige beregningen er gjengitt i vedlegg 2.

## Modell

Den grunnleggende ideen i modellen er å rendyrke hvordan usikkerheten knyttet til fremtidig CO<sub>2</sub>-pris påvirker avkastningsratene for de to investeringsprosjektene og avkastningsraten for referanseporteføljen, uttrykt ved bruttonasjonalinntekt (BNI) delt på kapitalbeholdningen i Norge (kapitalavkastningsraten i økonomien). Det legges også inn selvstendig usikkerhet i fremtidig oljepris og BNI. Tanken er at variasjon i fremtidig kvotepris på CO<sub>2</sub> kan påvirke avkastningen på fjernvarmeinvesteringene og i økonomien for øvrig delvis motsatt gjennom variasjon i oljeprisen.

### *Avkastning i økonomien*

Vi ser på en toperiodemodell der en må bestemme seg for å investere i fjernvarmeanlegg eller ikke i dag, og avkastningen på investeringen er usikker i neste periode, dvs. vi følger det teoretiske rammeverket i kapittel 2. Vi kan tolke den fremtidige perioden innenfor et 20-års perspektiv.

Modellen postulerer en rekke sammenhenger mellom ulike prisvariable. Det er sentralt og rimelig å anta at med en høy fremtidig CO<sub>2</sub>-pris vil en kunne forvente en lav oljepris. Oljeprisen er svært viktig for avkastningen i norsk økonomi, så en kan anta en positiv sammenheng mellom oljepris og BNI. Kapitalavkastningsraten i økonomien defineres videre som BNI delt på kapitalbeholdning i 1999.

Usikkerheten ivaretas ved å legge til stokastiske restledd i relasjonene som bestemmer fremtidig kvotepris for CO<sub>2</sub> og BNI som funksjon av oljeprisen. Avkastningen i økonomien blir mindre dess større CO<sub>2</sub>-prisen blir, via en lavere oljepris som trekker BNI ned.

### *Avkastning for fjernvarmeanlegg basert på biomasse (olje spisslast)*

Avkastningen for investering i fjernvarmeanlegg bestemmes som fremtidige netto, inntektsstrømmer i en samfunnsmessig forstand delt på investeringsbeløp (se kapittel 2).

På inntektssiden for fjernvarmeanlegget er verdien av elektrisiteten produsert. Vi antar at all energien er til oppvarmingsformål. Elektrisitetsprisen er et godt anslag på denne verdien. Men, for å ta hensyn til alle samfunnsmessige kostnader (eksternaliteter), må en inkludere miljøkostnad ved marginal elektrisitetsproduksjon i det nordiske markedet (dvs. i fremtiden gass). Vi tolker denne miljøeffekten som kostnaden ved klimapåvirkning (uttrykt ved fremtidig kvotepris på CO<sub>2</sub>) ved å slippe ut CO<sub>2</sub>. Samfunnsøkonomisk verdi (=marginal betalingsvillighet for kwh elektrisitet produsert) er dermed markedsprisen for elektrisitet pluss verdien av den eksterne miljøkostnaden.

De variable kostnadene for fjernvarmeanlegget er svært avhengige av prisen på biobrensel som antas å utgjøre 70 prosent av brenselet. Prisen på biobrensel antar vi at avtar noe når oljeprisen går ned. Det resterende dekkes av fyringsolje og utslipp av CO<sub>2</sub> ved brenning av oljen. Brenning av biobrensel gir ingen nettoutslipp av CO<sub>2</sub>. I tillegg er kostnadene avhengig av tekniske parametre som beskriver energieffektiviteten i anlegget etc. De samlede variable kostnadene øker noe når CO<sub>2</sub>-prisen går opp. Men det er sentralt å legge merke til at nyttestrømmen øker mer enn kostnadene når CO<sub>2</sub>-prisen øker, noe som betyr at avkastningsraten for bioanlegget øker med framtidig CO<sub>2</sub>-pris.

### *Avkastning for fjernvarmeanlegg basert på elektrisk drevet varmepumpe (olje spisslast)*

Investering i fjernvarmeanlegg basert på elektrisk drevet varmepumpe har på tilsvarende måte som biobrenselanlegget samfunnsøkonomisk verdsetting av marginal elektrisitet til oppvarmingsformål som nyttestrøm.

De variable kostnadene har en noe annen sammensetning enn for biobrenselanlegget. Som for biobrenselanlegget har varmepumpeanlegget oljekjele for

dekning av topplast (30 prosent av brenselet), men hoveddelen av kostnaden utgjøres av innkjøp av elektrisitet til å drive varmpumpen. De variable kostnadene har to elementer som øker kostnadene når CO<sub>2</sub>-prisen går opp, nemlig økt elpris og verdi av CO<sub>2</sub>-utslipp. Lavere pris på fyringsolje trekker ned. Samlet sett øker kostnadene med økt CO<sub>2</sub>-pris. Som for varmpumpeanlegget gir høy CO<sub>2</sub>-pris høyere avkastning, men med relativt sett lavere økning i avkastningen enn for biobrenselsanlegget.

#### *Betaanslag fra foreløpig modellsimulering*

Vi har gitt en oversikt over hovedtrekkene i modellen i de foregående avsnitt. Hensikten har ikke vært å forklare modellen i detalj (se evt. vedlegg 2), men heller å legge vekt på intuisjonen om hva som kan tenkes å skje med avkastningsratene for fjernvarmeanleggene og BNI hhv., når det særlig er usikkerhet knyttet til hvor høyt verdsatt CO<sub>2</sub>-utslipp vil bli i fremtiden. Vi antar også at det er usikkerhet knyttet til oljeprisen og BNI som ikke skyldes variasjon i CO<sub>2</sub>-prisen.

Allerede på bakgrunn av oversikten over hvordan avkastningsratene bestemmes er det mulig å se et mønster i hvordan ratene samvarierer. La oss anta at CO<sub>2</sub>-prisen blir høy i fremtiden. Da vet vi av modellen at oljeprisen blir lav og avkastningen i nasjonaløkonomien, målt ved kapitalavkastningsraten, blir lav.

For biobrenselsanlegget øker avkastningen fordi den samfunnsmessige verdsettingen av varmen produsert øker mer enn det kostnadene går opp med som følge av høyere biobrenselpris og verdsetting av CO<sub>2</sub>-utslippene. For varmpumpeanlegget øker på tilsvarende måte verdien av varme produsert, mens kostnaden øker noe pga. at elprisen i drift av varmpumpen er høyere og utslippene av CO<sub>2</sub> fra oljekjelen er verdsatt høyere.

Disse resonnementene gir indikasjoner på at investeringer i fjernvarmeanlegg kan virke som forsikringer, dvs. har negative betaer.

En kan simulere hvordan avkastningsratene varierer ved å trekke et stort antall stokastiske restledd i likningene for CO<sub>2</sub>-pris, oljepris og BNI, og så regne avkastningsrater og betaer for de to fjernvarmeanleggene. Vi har antatt at restleddene er normalfordelte med en forventning lik 0. For å se hvor sensitive betaverdiene er for økt usikkerhet, har vi sett på lite, middels eller stort standardavvik for restleddene. Vi rapporterer fra noen foreløpige simuleringer i Tabell 4.2.

Det første vi kan merke oss i tabellen er at alle betaverdier er negative, dvs. at investeringer i fjernvarmeanlegg bærer preg av å være forsikringer. Tallene gir indikasjoner på at den risikofrie renten er en øvre grense for hvilken diskonteringsrente som bør benyttes i nytte-kostnadsanalyser av fjernvarmeanlegg basert på biobrensel og varmpumpe. Det ser ikke ut til at om en øker eller reduserer usikkerheten CO<sub>2</sub>-pris, oljepris og BNI relativt sett like mye, har noe å si for betaverdiene. Endrer en imidlertid forholdet mellom grad av usikkerhet, blir betaverdiene forskjellige.

*Tabell 4.2 Betaverdier for investeringer i hhv. fjernvarmeanlegg basert på biobrensel og varmepumpe for kombinasjoner av liten, middels og stor usikkerhet i CO<sub>2</sub>-pris, oljepris og BNI.*

Usikkerhet	Betaverdier fjernvarmeanlegg	
	Biobrensel (olje topplast)	Varmepumpe (olje topplast)
Høyt (H) (37.5, 6, 45), middels (M) (25, 4, 30), og lavt (L) (12.5, 2, 15) st.avvik for hhv CO <sub>2</sub> -pris, oljepris og BNI		
H, H, H	-0.06	-0.04
M, M, M	-0.06	-0.04
L, L, L	-0.06	-0.04
M, L, L	-0.08	-0.05
M, M, H	-0.12	-0.09

Kilde: ECONs egne modellsimuleringer i programpakken SPSS.

Note: Måleenhetene for standardavvik er som følger: CO<sub>2</sub>-pris (kr/tonn), oljepris (\$/fat), BNI (mrd kroner).

Betaverdiene for biobrenselsanlegget er generelt noe lavere enn for varmepumpeanlegget. Dette kan forklares med at hoveddelen på kostnadssiden for biobrenselsanlegget, innkjøp av biobrensel, går ned når CO<sub>2</sub>-prisen går opp (via lavere oljepris), mens elektrisiteten til å drive varmepumpen blir dyrere. Begge avkastningsrater er derfor høye når CO<sub>2</sub>-prisen er høy, i motsetning til avkastningen for referanseporteføljen representert ved kapitalavkastningsraten i økonomien.

Vi understreker at modellberegningene over er høyst foreløpige og usikre. Vi har kun tatt hensyn til de viktigste sammenhengene for å rendyrke virkningen av CO<sub>2</sub>-pris, oljepris, BNI og avkastning fjernvarmeanlegg. Bestemmelsen av de ulike prisvariablene kan gjøres mer realistisk, men da også med nødvendighet mer komplisert. For eksempel er det kanskje naturlig å anta at prisen på elektrisitet er høyere når folk har god råd og BNI er høy. Dette er et element som kan trekke motsatt av vår konklusjon. Likevel mener vi at vi ved å rendyrke effekten av usikkerhet i fremtidig CO<sub>2</sub>-pris på avkastningen for to typer energiinvesteringer i forhold til referanseporteføljen, har fått fram at det er helt sentralt å se på bidraget til total usikkerhet når en investerer, ikke investeringers usikkerhet hver for seg.

## 4.4 Forebyggende klimatiltak

Klimaet endrer seg enten endringene skyldes menneskeskapt påvirkninger eller ikke. Selv omfattende klimatiltak i global skala kan gjøre lite for å modifisere klimaendringene de nærmeste 50 årene. Men, eventuelle tiltak må gjøres i dag for å kunne bremse forandringene mot slutten av dette og ut i neste århundre.

Typisk for klimatiltak som reduserer utslipp av drivhusgasser er nettopp at kostnaden først og fremst kommer i dag mens en usikker avkastning kommer svært langt frem i tid. Ved bruk av diskonteringssetser som for andre investeringsprosjekter i økonomien forsvinner nyttestrømmen i diskonteringen og de fleste forebyggende klimatiltak blir ulønnsomme.

Likevel er det en utbredt oppfatning i Norge og mange andre land at en bør trappe opp både ensidig og internasjonalt koordinert innsats for å redusere utslipp av drivhusgasser. Denne oppfatningen gir uttrykk for at det er et misforhold mellom økonomisk praksis og hva politikere og folk flest mener er riktig.

En grunn til dette misforholdet er oppfatningen at man bør redusere utslipp i dag som en forsikring mot at klimaproblemet i fremtiden viser seg å bli svært alvorlig eller av katastrofale dimensjoner. Norges innsats, for å ha noen virkning på klimaet, må sees i sammenheng med den internasjonalt koordinerte innsatsen. Siden klimaproblemet kan vise seg å ha vidtrekkende betydning for verdensøkonomien og dermed for Norge som en liten og svært åpen økonomi, er det fornuftig å se avkastningen på norske klimainvesteringer i sammenheng med verdensøkonomien forøvrig, ofte målt ved verdens-BNP.

Vi skal i dette avsnittet gi et eksempel på hvordan avkastningen på klimatiltak kan tenkes å variere i forhold til verdens-BNP, og gi anslag på betaverdier for klimainvesteringer i en mye brukt økonomisk klimaskademodell, kalt DICE-modellen (Nordhaus 1994).

### **Klimatiltak som forsikring**

Anta at man i dag må bestemme seg for om man skal investere i CO<sub>2</sub>-reduserende tiltak eller ikke. En slik investering har usikker avkastning, bl.a. fordi man ikke vet hvor alvorlige virkninger klimaendringer vil kunne få i fremtiden, dvs. hvor alvorlig klimaproblemet vil kunne vise seg å bli. Det er stor usikkerhet knyttet til både de naturvitenskapelige sammenhengene mellom utslipp av klimagasser og endring i klimaet (global oppvarming) og mulige virkninger for mennesker og økosystemer av klimaendring. Vi skal i dette eksemplet konsentrere oss om *en* type usikkerhet, den som er knyttet til hvor alvorlig skaden av klimaproblemet vil bli om noen tiår. Vi tolker dette som at det er usikkerhet omkring formen på funksjonen som knytter temperatur(økning) til materiell og ikke-materiell skade i kroner. Vi kommer tilbake til denne funksjonen nedenfor.

Anta videre, for enkelhets skyld, at det er to mulige fremtidige utfall, det ene at en bestemt klimaforandring ikke gir noen vidtrekkende og alvorlig skade, og det andre at klimaforandringen gir stor skade. "Skade" defineres ofte som reduksjon i verdens-BNP i forhold til en situasjon uten klimaendringer. I det første utfallet er skaden liten og verdensøkonomien lite påvirket, dvs. at verdens-BNP bare er litt lavere enn det ellers ville vært uten klimaendring. I det andre utfallet er skaden stor og verdens-BNP blir trukket mye ned. Som vi har vært inne på tidligere er BNP et uttrykk for avkastningen for all formue som er investert.

Klimatiltak (for eksempel et CO<sub>2</sub>-fritt gasskraftverk) bidrar (sammen med andre klimatiltak) til å dempe temperaturøkningen, noe som reduserer klimaskaden og dermed øker BNP. BNP blir lavere enn det ville vært uten klimaproblemet (siden det koster noe å redusere utslipp), men høyere enn hvis ingenting hadde blitt gjort. Et klimatiltak som planlegges gjennomført i dag kaster lite av seg i det tilfellet hvor det viser seg at klimaproblemet ikke er så alvorlig. Det skyldes at klimaendringen i dette utfallet viser seg å ha liten negativ effekt for BNP, og dermed at en sparer lite i unngått skade ved å gjennomføre klimatiltaket.



Hvis klimaendringer viser seg å gi stor skade ved å redusere BNP mye i fremtiden, vil et klimatiltak som bremser temperaturøkning gi stor gevinst i form av å trekke BNP relativt mye opp i forhold til om klimatiltak ikke ble gjennomført. Med andre ord har tiltak som demper temperaturøkning i verden stor virkning (i spart BNP-skade) hvis det viser seg at temperaturendringer virkelig gir alvorlige materielle og ikke-materielle skader.

Vi har foreløpig kun nevnt gevinsten ved klimatiltak. Det er også en kostnad forbundet med å redusere utslipp av drivhusgasser. En del av totalkostnaden er den opprinnelige investeringskostnaden. Denne er den samme i dag uansett hvor alvorlig klimaproblemet viser seg å være i morgen. Til totalkostnaden regner en også den kostnaden en får over tid ved at BNP blir lavere enn hvis en ikke hadde investert i klimatiltak (men i andre prosjekter). Det er naturlig å anta at kostnadene ved klimatiltak er mindre følsomme for hvor alvorlig klimaskadene viser seg å være.

Tankerekken over er et argument for at klimatiltak er en type forsikring for framtiden. Avkastningen for tiltakene svinger motsatt av avkastningen for alle andre investeringer (BNP), og har dermed negativ beta. Hvis uhellet er ute og klimaproblemet viser seg å bli alvorlig og dermed at verdens-BNP påvirkes mye, har en forsikret seg på den måten at klimatiltakene gir mye igjen.

Ved å gå inn i ulike typer integrerte økonomiske og naturvitenskapelige modeller av materielle og ikke-materielle klimaskader kan en finne støtte for denne intuisjonen. Vi skal i neste underavsnitt illustrere kort betaanslag for klimatiltak i den såkalte-DICE modellen.

## **Betaanslag i DICE-modellen**

### *Kort forklaring av modellen*

DICE<sup>8</sup>-modellen er en av de første forsøkene på å knytte sammen naturvitenskapelige og økonomiske modeller for å analysere klimaproblemet (Nordhaus 1994). Den ble utviklet av William Nordhaus ved Yale Universitetet i USA på slutten av 1980-tallet og er blitt mye brukt for å vurdere hvor mye menneskeheten bør redusere utslipp av klimagasser de neste 100-200 år ved å avveie kostnader ved utslippsreduksjon og skader ved klimaendringer. Modellen tar utgangspunkt i kjente naturvitenskapelige studier av sammenhengen mellom menneskelige utslipp av klimagasser, opphopning i atmosfæren, strålingspådriv (forcing) og temperaturøkninger. Nordhaus knytter så den naturvitenskapelige kunnskapen sammen med økonomisk kunnskap om hvilke aktiviteter som genererer utslipp, kostnader ved å redusere utslipp, materielle- og ikke-materielle skader som følge av temperaturøkning, og generelle modeller for hvordan verdensøkonomien virker. DICE er svært aggregert og ser på verdensøkonomien under ett uten å skille mellom ulike regionale virkninger.

---

<sup>8</sup> Dynamic Integrated model of Climate and Economy.

### *Verdensproduksjonen*

Modellen beskriver verdensproduksjonen (verdens-BNP) på vanlig måte som en funksjon av kapital, menneskelig arbeidskraft og teknologi. Nytt i denne sammenhengen er at BNP trekkes ned av skader fra temperaturøkning og av kostnader forbundet med å redusere utslipp:

$$Q = \Omega Q^*$$

der

$Q$  er verdensproduktfunksjonen (verdens-BNP);

$Q^* = AK^\gamma L^{1-\gamma}$  er potensielt BNP (BNP uten klimaskader og kostnader ved å redusere utslipp).  $A$ ,  $K$ ,  $L$  er teknologi, kapital, arbeidskraft som øker over tid.  $\gamma$  er en parameter som uttrykker kapitalens grenseelastisitet, dvs. hvor mange prosent produksjonen øker med når en setter én prosent mer kapital inn i produksjonen. Det antas at en når en øker innsatsen av kapital og arbeidskraft med én prosent, øker produksjonen også med én prosent.

$$\Omega = \frac{1 - b_1 \mu^{b_2}}{1 + \theta_1 T^{\theta_2}}$$

er en justeringsfaktor som er mindre enn én og dermed trekker BNP ned p.g.a. klimaskader og kostnader ved å redusere utslipp.  $\Omega$  fremkommer ved å trekke kostnader ved å redusere utslipp fra én i teller og skade ved temperaturøkning i nevner. Høyere skade og renskostnader gir lavere  $\Omega$ . Vi skal i det følgende ikke gå nærmere inn på renskostnadene som funksjon av andel reduserte CO<sub>2</sub>-utslipp,  $\mu$ , (hvis form bestemmes av parametrene  $b_1$  og  $b_2$ ). For å forenkle antar vi at vi befinner oss i en utgangssituasjon hvor innsatsen for redusert CO<sub>2</sub> er 0. Dette er ikke en gal beskrivelse av virkeligheten.

### *Klimaskaden*

Vi skal gå nærmere inn på hvordan skaden fremkommer. Nordhaus bruker økonomiske studier for å finne uttrykk for materielle og ikke-materielle klimaskader i pengeverdi som funksjon av temperaturøkning siden preindustriell tid:

$$D = Q^* \theta_1 T^{\theta_2}$$

$D$  er skaden,  $T$  er temperaturøkning siden preindustriell tid,  $\theta_1$  er en parameter som representerer graden av skade og  $\theta_2$  representerer formen på skadefunksjonen. Skaden er uttrykt som en del av potensielt BNP. Det er stor usikkerhet omkring skadefunksjonen. Det er naturlig å anta at skaden øker med temperaturøkning og de fleste studier viser at funksjonen sannsynligvis er konveks, dvs. at jo større temperaturøkningen er, dess større skade gir en ytterligere, marginal økning i veksttakten i temperaturen. Men denne måten å formulere skadefunksjonen er en grov forenkling og det er stor usikkerhet om parameterverdiene.

### *Usikkerhet om fremtidig klimaskade*

Vi ønsker å knytte vårt intuitive resonnement i forrige underavsnitt til DICE-modellen og anslag for beta.

Anta at myndighetene vurderer å investere i klimaforebyggende tiltak. Tiltaket demper temperaturøkningen noe i fremtiden, og vi tolker avkastningen ved tiltaket som den skaden i BNP en sparer ved en slik marginal demping av veksten i temperaturøkningen. Med andre ord er avkastningen av tiltaket nedgangen i skade ( $D$ ) når temperaturveksten ( $T$ ) går ned marginalt, dvs. den deriverte av skade-funksjonen:

$$\frac{dD}{dT} = Q^* \theta_2 \theta_1 T^{\theta_2 - 1} > 0$$

Anta så, som vi diskuterte tidligere i avsnittet, at det er usikkerhet knyttet til fremtidig skade av temperaturendringer. En måte å uttrykke usikkerheten i hvor alvorlig klimaproblemet kan vise seg å bli i fremtiden er å anta at parameteren  $\theta_1$  er usikker. Hvis  $\theta_1$  blir stor i fremtiden, blir også den marginale skaden som uttrykt i likningen over, generelt stor. Omvendt, er den marginale skaden liten hvis  $\theta_1$  viser seg å bli liten. Investering i klimatiltak som demper temperaturveksten kaster derfor mer av seg dess større  $\theta_1$  er, siden det er mer og mer skade en unngår ved å gjennomføre tiltak.

Også nivået på verdens-BNP er, som vi har sett, avhengig av hvor stor  $\theta_1$  viser seg å bli. Siden  $\theta_1$  inngår i nevneren i justeringsfaktoren for verdens-BNP,  $\Omega$ , vil verdens-BNP generelt være mindre dess større  $\theta_1$  er (jf. likningen for  $Q$  ovenfor). Med andre ord trekker klimaskaden verdens-BNP mer ned når  $\theta_1$  er stor. Siden verdens-BNP kan tolkes som avkastning for alle investeringer i verdensøkonomien, ser vi at når verdens-BNP er lavt p.g.a. stor klimaskade, er også den marginale skaden en sparer ved tiltak stor, og omvendt. Modellen gir altså en negativ samvariasjon mellom avkastningen for investeringer i reduserte CO<sub>2</sub>-utslipp og referanseporteføljen. Det gjenstår å forsøke seg på tallanslag for denne negative samvariasjonen.

### *Betaanslag*

Når  $Q$  er avkastningen på referanseporteføljen og  $dD/dT$  er avkastningen på et CO<sub>2</sub>-reduserende tiltak, bestemmes beta for klimatiltak ved formelen (som er den samme som ble gjort rede for i kapittel 2):

$$\beta = \frac{\text{Kov}(\frac{dD}{dT}, Q)}{\text{Var}(Q)} = \frac{\text{Kov}(Q^* \theta_2 \theta_1 T^{\theta_2 - 1}, \frac{Q^*}{1 + \theta_1 T^{\theta_2}})}{\text{Var}(\frac{Q^*}{1 + \theta_1 T^{\theta_2}})} = \frac{\text{Kov}(\theta_2 \theta_1 T^{\theta_2 - 1}, \frac{1}{1 + \theta_1 T^{\theta_2}})}{\text{Var}(\frac{1}{1 + \theta_1 T^{\theta_2}})}$$

$Q^*$  kan antas konstant og kan derfor settes utenfor varians- og kovariansformlene, og forkortes bort.  $\theta_1$  er den eneste stokastiske variabelen i uttrykket.  $\beta$  kan tenkes å variere for ulike  $T$ , dvs. for hvilken temperaturendring en antar har funnet sted siden preindustriell tid, når tiltaket gjennomføres.

For å komme fram til tallanslag på beta må en bruke anslag for parametrene  $\theta_1$  og  $\theta_2$  som inngår i DICE-modellen og som er med og bestemmer variansen og kovariansen i uttrykket over. Nordhaus gjør dette basert på naturvitenskapelige og økonomiske studier, samt intervjuer med klimaekspertter for skadefunksjonen. Siden parametrene også er svært usikre gir Nordhaus et beste estimat, og angir standardavvik til de ulike parametrene.

Vi holder fast ved vår tolkning av usikkerhet ved fremtidig skade av temperaturøkninger. I stedet for å anta to mulige fremtidige tilstander, dvs. en høy og en lav verdi for  $\theta_1$ , kan vi anta at  $\theta_1$  følger en uniform fordeling med yttergrenser innenfor Nordhaus anslåtte intervall (0.007, 0.027). Med uniform fordeling menes at en anslår alle de mulige utfallene som like sannsynlige. Ved å trekke  $\theta_1$ -verdier fra denne fordelingen kan vi simulere hvordan  $Q$  og  $dD/dT$  varierer og samvarierer for ulike utgangsverdier på temperaturendringen ( $T$ ) siden preindustriell tid. Vi bruker Nordhaus' beste estimat for  $\theta_2$  på 2, mens vi beregner betaer for  $T$  er mellom 0.2 og 3.2 grader C.

*Tabell 4.3 Estimering av beta for CO<sub>2</sub>-reduserende tiltak i DICE-modellen for ulike temperaturendringer (T), når det er usikkerhet om formen på klimaskadefunksjonen.*

Temperaturøkning siden preindustriell tid ( $T$ )	Betaestimater	Kommentar til $T$
0.2	-10.0	Nordhaus' estimat for temperaturøkning i 1965
0.5	-4	
0.6-1.35	(-3.4,-1.6)	Anslag for $T$ basert på IPCC (2001) <sup>9</sup>
1.38	-1.5	Nordhaus' estimat for temperaturøkning i 2025 ved optimal utslippsbane
1.5	-1.4	
2	-1.1	
2.5	-1.0	Nordhaus' estimat for temperaturøkning i 2075 ved optimal utslippsbane
3.2	-0.9	Nordhaus' estimat for temperaturøkning i 2105 ved optimal utslippsbane

Kilde ECONs egne modellsimuleringer i SPSS basert på DICE presentert i Nordhaus (1994).

Det første vi kan merke oss er at alle betaestimaterne i tabellen er negative, noe som støtter den intuisjonen vi har gjort rede for over. Negative betaer betyr at klimainvesteringer virker som forsikringer mot framtidig, usikker klimaskade. Fortegnet på beta er viktigere her enn de absolutte størrelsene, og en må ta hensyn til at anslagene er svært usikre og basert på et forenklet utsnitt av DICE-modellen. Estimaterne vil også variere noe fra simulering til simulering pga. den tilfeldige trekningen fra gang til gang.

Betaverdiene blir mindre dess større  $T$  er. Det vil si at jo mindre temperaturendringen (og skaden) er i utgangspunktet, dess større er forsikringseffekten av å

<sup>9</sup> IPCC (2001)

dempe fremtidige klimaskader. Dette skyldes at standardavviket til verdens-BNP øker mer enn standardavviket for marginal klimaskade når  $T$  øker.

Det er ikke enighet i den vitenskapelig litteraturen om hvor stor temperaturendringen har vært siden før den industrielle revolusjon. IPCC anslår i sin siste rapport (IPCC 2001) at temperaturøkningen i det 20. århundret har vært ca 0.6 (+/-0.2) grader Celsius. Videre anses det som sannsynlig at temperaturøkningen vil ligge mellom 0.1 og 0.2 grader C i de neste tiår. Hvis vi antar en temperaturøkning per tiår fram mot 2050 på 0.15 og tar utgangspunkt i anslaget på 0.6 for det siste århundret, vil investeringer i klimaforebyggende tiltak de neste 50 år bli gjort innenfor et temperaturøkningintervall på 0.6 og 1.35 grader C. Det gir betaer i intervallet  $-3.4$  og  $-1.6$  for investeringer i denne perioden.

På grunn av den sterke forsikringseffekten som kommer til uttrykk i størrelsen og fortegnet på beta, vil en for mange av betaestimaterne komme ut med negative diskonteringsrenter for klimainvesteringer hvis en setter inn beta i kapitalverdi-likningen fra kapittel 2. Det er ikke noe ulogisk i at en får negative diskonteringsrenter. Et slikt resultat bare understreker at hvis enkelte typer investeringer bidrar sterkt til å redusere samlet risiko bør enn oppjustere (ikke nedjustere) netto, fremtidig inntektsstrøm i nytte-kostnadsanalysen for å belønne denne egenskapen ved investeringen.



## Referanser

- Alberini, A., Maureen Cropper, Tsu-Tan Fu, Alan Krupnick, Jin-Tan Liu, Daigee Shaw og Winston Harrington (1997): «Valuing health effects of air pollution in developing countries: The case of Taiwan», *Journal of Environmental Economics and Management*, 34, 107–126.
- Amundsen, E. S. og J. Bjørndalen (1994) Risiko i kraftforsyningen – en kort innføring. SNF-rapport 11/94.
- Andersen, J. C. og H. Trosdahl (1996) Avkastningskrav i norsk næringsliv, NHH.
- Arrow, K. J. and R. C. Lind (1970) Uncertainty and the evaluation of public investment decisions, *American Economic Review* vol. 60 (June): 364-378.
- Arrow, Kenneth J. (1997): “Invaluable Goods”, *Journal of Economic Literature*, June 1997.
- Arrow, Kenneth og Robert C. Lind (1994): “Risk and Uncertainty”, i Layard, Richard og Stephen Glaister: *Cost-Benefit Analysis*, Cambridge MA.
- Baxter, M. and U. J. Jermann (1997) The International Diversification Puzzle Is Worse Than You Think, *The American Economic Review* 87(1):170-180.
- Bjørndalen, J. (1994) Risiko i kraftsektoren – implikasjoner for energiverk. SNF-rapport 12/94.
- Bolstad, G.-E., A. Ledang og K. Sandanger (1998) Miljøutslipp og økonomiske prestasjoner. En undersøkelse av sammenhengen mellom selskapers miljøskadelige utslipp og deres økonomiske avkastning og risiko. Upublisert hovedoppgave. Bedriftsøkonomisk Institutt.
- Bowitz, E og M. D. Trong (2000) The social cost of district heating in a sparsely populated country. Working Paper 1/2000. ECON
- Bowitz, E. og H. Lindhjem (2001) Energy, environmental costs and uncertainty. Working Paper. ECON.
- Bøhren, Ø. og D. Michaelsen (1994) *Finansiell Økonomi: Teori og Praksis*, Skarvet Forlag.
- Bøhren, Øyvind (1984): “Simulering –Bruk og misbruk ved lønnsomhetsvurdering av usikre oljeprosjekter”, SNF-rapport nr. 3’84, Bergen.
- Bøhren, Øyvind og Steinar Ekern (1987): “Usikkerhet i oljeprosjekter. Relevante og irrelevante risikohensyn”, *Beta nr. 1/87*.
- Cambell, J. Y. (2000) Asset Pricing at the Millenium, *Journal of Finance* 55(4):1515-1567.

- Canner, N., N. G. Mankiw, and D. Weil (1997) An Asset Allocation Puzzle, *The American Economic Review* 87(1):181-191.
- Carson, R. m. fl.(1992), *A Contingent Valuation Study of Lost Passive Use Values Resulting from the Exxon Valdez Oil Spill*. Report to the Attorney General of Alaska, Natural Resource Damage Assessment, Inc, La Jolla, CA.
- Carson, R.T., N.E. Flores and N.F. Meade (1996): Contingent valuation: controversies and evidence, mimeo, University of California San Diego.
- ECON (1997): *Miljøpriser på lang sikt*. ECON-rapport 104/97. Også tilgjengelig fra SFT.
- ECON (1997a): “Verdsetting av miljøeffekter langt fram i tid”, rapport 11/97, Oslo.
- Energy Policy 23(4-5) 1995: Special Issue: Integrated Assessments of Mitigation, Impacts and Adaptation to Climate Change
- Feldman, S. J. , P. A. Soyka and P. Ameer (1996) Does improving a firm’s environmental performance result in a higher stock price? ICF Kaiser International, Inc.
- Finansdepartementet (1999) Behandling av diskonteringsrente, risiko, kalkulasjonspriser og skattekostnad i samfunnsøkonomiske analyser, Rundskriv R-14/99.
- Finansdepartementet (2000) Veiledning i samfunnsøkonomiske analyser
- Flores, N. E. og Carson, R. T. (1997): «The Relationship between the Income Elasticities of Demand and Willingness to Pay», *Journal of Environmental Economics and Management* 33, 287-295.
- Hagen, K. P. og A. Sandmo (1983) Kalkulasjonsrente og prosjektvurdering, Universitetsforlaget, Oslo.
- Halleraker, Morten (1995): “Behandling av risiko i nytte-kostnadsanalyser – en prinsipputredning”, SNF-rapport 41/95, Bergen.
- IPCC (2001) WGI Third Assessment Report. Summary for Policymakers. Internet edition.
- IPCC (1996): *Climate Change 1995 - Economic and Social Dimensions. Contribution of Working Group III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Johnsen, T. (1996) Avkastningskrav ved vurdering av lønnsomheten i statlig eiet forretningsvirksomhet, SNF-Rapport 90.
- Johnsen, T. (1992) Prosjektvurdering og risiko. I K. P. Hagen, S. Ekern, T. Johnsen og U. Pedersen: Det offentlige som investor. SNF-rapport nr. 92/92.



- Johnsen, T. og F. Gjesdal (1999) Kravsetting, lønnsomhetsmåling og verdivurdering, Cappelen Akademiske Forslag, Oslo.
- Klassen og McLaughlin (1996) The impact of environmental management on firm performance, Management Science, Vol 42.
- Kriström, B. og Riera, P. (1996): «Is the Income Elasticity of Environmental Improvements Less Than One?», *Environmental and Resource Economics* 7, 45-55.
- Lind, Robert C. red. (1982): *Discounting for Time and Risk in Energy Policy*, Published for the Resources for the Future by the John Hopkins Press, Baltimore and London.
- Lund, Diderik (1993): "Samfunnsøkonomisk vurdering av usikkerhet", *Norsk Økonomisk Tidsskrift*, 107 (1993).
- Manne, Alan S. and Richard G. Richles (1992): *Buying Greenhouse Insurance*, Cambridge, MA.
- Mobråten, E. (1998) Fastsettelse av avkastningskrav ved investeringsprosjekter, Utredning, NHH.
- Nordhaus, W. (1994) *Managing the Global Commons*. MIT Press.
- NOU (1988:21) Norsk Økonomi i Forandring. Perspektiver for nasjonalformue og økonomisk politikk i 1990-årene. Oslo: Finansdepartementet..
- NOU (1997) Nytt-kostnadsanalyser: Prinsipper for lønnsomhetsvurderinger i offentlig sektor. NOU 27/1997.
- NOU (1998) Nytt-kostnadsanalyser: Veiledning i bruk av lønnsomhetsvurderinger i offentlig sektor. NOU 16/1998.
- NOU (2000) Skattlegging av petroleumsvirksomhet, NOU 2000:18.
- Pearce, David W. and Jeremy J. Warford (1993): *World without End*, Oxford University Press.
- Pindyck, R.S. (1991): "Irreversibility, Uncertainty and Investment". *Journal of Economic Literature* vol. XXIX number 3, pp. 1110-1148. September 1991.
- Powel, Mark R. and James D. Wilson (1997): "Risk Assessment for Natural Resource Conservation Programs", *Resources for the Future*, Discussion Paper 97-49, Washington, D.C.
- Reed, William R. and Jane J. Ye (1994): "Cost-Benefit Analysis Applied to Wilderness Preservation – Option Value, Uncertainty and Ditonnicity"; *Natural Resource Modelling* 8/4.
- Repetto, R. og D. Austin (2000) *Pur Profit: The Financial Implications of Environmental Performance*. World Resources Institute, Washington D.C.

- Røed Larsen, E. (2001) Evidence on demand for nature services from equipment and lodging, Part of PhD thesis, University of California, Berkeley. Early draft, generally not for quotation.
- Salomon Smith Barney (1999) The industry cost of equity.
- Salomon Smith Barney (2000) Cost of capital in the oil and gas industry – preliminary discussion. Draft.
- Sandmo, A. (1972) Discount rates for public investment under uncertainty, *International Economic Review* vol. 13 (June).
- Sandmo, A. and J. H. Dreze (1971) Discount rates for public investments in closed and open economies, *Economica* vol. 38 (November): 395-412.
- Simon, N.B., M.L. Cropper, A. Alberini and S. Arora (1999): Valuing mortality reductions in India. A study of compensating wage differentials, mimeo, World Bank.
- Smith, V. K. og Huang, J.-C. (1995): «Can markets value air quality? A meta analysis of hedonic property value models», *Journal of Political Economy*, 103, 1, 209-227.
- Stortingsmelding Nr. 29 (1997) Klimameldingen.
- Synnestvedt, T. (1999) Sammenhengen mellom bedrifters miljøprofil og lønnsomhet. Teoretiske betraktninger og empiriske resultater, Notat, Handelshøyskolen BI.
- Synnestvedt, T. (1998) Miljøinformasjon og finansmarkedsrespons, Delrapport 5, Handelshøyskolen BI.
- Synnestvedt, T. (1998) Miljøprofil, lønnsomhet og risiko, Notat, Handelshøyskolen BI.
- Synnestvedt, T. (1999) Finansnæringens miljøtilpasning – Et rammeverk for analyse, Notat, Handelshøyskolen BI.
- The Economist (2000) Great Expectations, July 15<sup>th</sup>, p90.
- Varian, H. R. (1992) *Microeconomic Analysis*, Third Edition. Norton International Student Edition.
- Vennemo, H. (1996) The Case Against Discounting the Environment, Working Paper, Econ Centre for Economic Analysis.
- Veum, K. (1995) Et risikojustert avkastningskrav for kraftforsyningen. Hovedoppgave Sosialøkonomisk Institutt, Universitetet i Oslo.

# Vedlegg 1: Utledning av KAPM-likningen

Landets myndigheter har valget mellom konsum nå,  $c$ , eller å investere deler av formuen innenfor kategoriene,  $E, R, C, H, P, AI$ , til usikker avkastning  $r_i$  eller  $A0$  til sikker avkastning  $r_{A0}$ , og deretter forbruke en større formue i sin helhet i neste periode,  $C$ . Dvs.

$$(1) C = (W-c)(1+r_w/100)=I_0(1+r_w/100)$$

Myndighetene kan dele opp det de velger totalt å investere,  $I_0$ , på en portefølje av prosjekter innefor de syv hovedkategorier i nasjonalformuen. Porteføljen av investeringer kan betegnes ved et sett av vektorer, dvs. andelen av totalinvesteringen som investeres i hver av objektene;  $(w_E, w_R, w_C, w_H, w_P, w_{A0}, w_{AI})$ . Disse vektene summerer seg til én, og man kommer fram til totalavkastningen på porteføljen,  $r_w$ , ved å veie de ulike avkastningsrater før man summerer.

## Optimeringsproblemet

En risikoavers investor (som en stat må kunne antas å være) vil ønske å minimere variansen, dvs. risikoen, til porteføljeavkastningen for hvert nivå på forventet avkastning (eller ekvivalent, maksimere forventet avkastning for hvert gitte nivå på variansen). Dette er en nødvendig betingelse for å maksimere nytte av konsum over to perioder. Dvs. de variansminimerende vektorer velges for gitt forventet avkastning<sup>10</sup>.

$$\text{Min } \text{Var}(r_w) = \text{Var}\left(\sum_i w_i r_i\right) = \sum_i \sum_j w_i w_j \sigma_{ij} \quad , \text{m.h.p. } w_i$$

Under beskrankningene:

$$\sum_i w_i \bar{r}_i = \bar{r}_w \quad , \text{tilordnet lagrangemultiplikator } \lambda$$

$$\sum_i w_i = 1 \quad , \text{tilordnet lagrangemultiplikator } \mu$$

Danner Lagrangefunksjonen:

$$L(w_i, \lambda, \mu; \sigma_{ij}, \bar{r}_i, \bar{r}_w) = \sum_i w_i w_j \sigma_{ij} - \lambda \left( \sum_i w_i \bar{r}_i - \bar{r}_w \right) - \mu \left( \sum_i w_i - 1 \right)$$

Dette problemet gir førsteordensbetingelser:

$$(2) \frac{\partial L}{\partial w_i} = 2 \sum_j w_j \sigma_{ij} - \lambda \bar{r}_i - \mu = 0 \quad , i = E, R, C, H, P, AI, A0$$

---

<sup>10</sup>  $\sigma_{ij}$  er kovariansen mellom avkastning  $i$  og  $j$ .

Tolkningen av (2) er at i optimum er det en vinner i redusert varians i porteføljen ved å endre  $w_i$  marginalt, dvs. å investere noe mer i kategori  $i$ , lik det en taper i form av redusert forventet avkastning. Med andre ord kan en ikke omfordele totalinvesteringen for å øke forventet avkastning, uten at en må betale for det med økt risiko. Den optimale portefølje er derfor effisient.

La  $(w_E^e, w_R^e, w_C^e, w_H^e, w_P^e, w_{A1}^e)$  være en effisient portefølje av *bare risikable investeringer*, dvs. en portefølje som er slik at forventet avkastning ikke kan økes uten at variansen også må gå opp. I en slik portefølje er den usystematiske risikoen diversifisert bort slik at bare den systematiske risikoen er igjen. Det finnes mange slike effisiente porteføljer av risikable investeringer, men som vi skal se, bare *en* når porteføljen også inneholder det risikofrie alternativet.

Anta at vi kan sette sammen en "blandingsportefølje" av formuesobjektene som er lik den effisiente porteføljen, kall den  $w_e$ . Da er en portefølje som investerer alt i  $w_e$  og ingenting i de andre formuesobjektene en effisient portefølje. Det betyr at en slik portefølje,  $(w_e = 1; w_j = 0, \forall j)$ , må tilfredsstille førsteordensbetingelsen (2) for alle  $i$ . Den *ite* førsteordensbetingelsen blir da:

$$(3) \quad 2\sigma_{ie} - \lambda \bar{r}_i - \mu = 0 \quad , \text{ siden } w_j = 0 \text{ for } j \neq e$$

To spesialtilfeller når  $i = A0$  (den sikre investeringen) og  $i = e$ :

$$-\lambda r_{A0} - \mu = 0 \quad , \text{ siden } \sigma_{A0e} = 0 \text{ fordi } r_{A0} \text{ er ikke-stokastisk.}$$

$$2\sigma_{ee} - \lambda \bar{r}_e - \mu = 0$$

Løser en disse to likningene for de to lagrangemultiplikatorene får en

$$\lambda = \frac{2\sigma_{ee}}{\bar{r}_e - r_{A0}}$$

$$\mu = -\lambda r_{A0} = \frac{2\sigma_{ee} r_{A0}}{\bar{r}_e - r_{A0}}$$

Uttrykkene for  $\mu$  og  $\lambda$ , settes så inn i (3) og en kan løse for forventet avkastning for investering  $i$

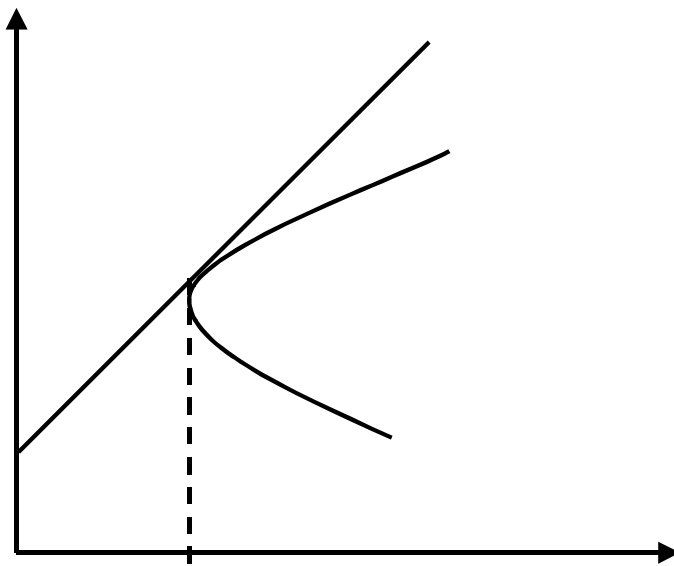
$$(4) \quad \bar{r}_i = r_{A0} + \frac{\sigma_{ie}}{\sigma_{ee}} (\bar{r}_e - r_{A0})$$

(4) sier at forventet avkastning for enhver investering er lik den sikre avkastningen pluss en risikopremie som er avhengig av investeringens kovarians med avkastningen på en effisient portefølje inneholdende bare risikable investeringer. (4) må gjelde for *enhver* effisient portefølje av risikable investeringer.

For å gi (4) empirisk innhold, må vi kunne identifisere en bestemt effisient portefølje,  $e$ . Strukturen av effisiente porteføljer kan tegnes grafisk. Sammenhengen mellom forventet avkastning (x-akse) og standardavvik (y-akse)

er gitt i figuren under. Den buete linjen avgrensner alle effisiente porteføljer av risikable investeringer og tilsvarer Figur V 1. Den rette linjen, kapitalmarkedslinjen, trekkes fra punktet på 2.aksen for den sikre avkastningen,  $r_{A0}$  og tangerer mulighetsområdet. Tangeringen bestemmer vektene  $w_i$  entydig, og dermed porteføljen, kall den  $m$ . Langs den rette linjen kan alle kombinasjoner av den sikre investeringen og porteføljen  $m$  velges ved å variere andelen av totalinvesteringen som skal plasseres i sikker vs. usikker investering (portefølje  $m$ ). Hvor stor del av totalinvesteringen som skal gjøres i den risikable  $m$  (dvs. hvor på den rette linjen en ønsker å tilpasse seg) er avhengig av myndighetenes preferanser.

Figur V 1 Den effisiente porteføljen bestemmes entydig der kapitalmarkedslinjen (lineær) tangerer mulighetsområdet for de effisiente porteføljer.



Den entydig bestemte, effisiente porteføljen kan settes inn i (4):

$$(5) \bar{r}_i = r_{A0} + \beta_i (\bar{r}_m - r_{A0}),$$

der  $\beta_i = \frac{\sigma_{im}}{\sigma_{mm}}$ , den teoretiske regresjonskoeffisienten mellom  $r_i$  og  $r_m$ .

Variansen til en investerings avkastning er irrelevant; bare kovariansen med den effisiente referanseporteføljen betyr noe. Det er den systematiske risikoen uttrykt ved beta som er relevant; all usystematisk risiko er diversifisert bort i en effisient portefølje. Den relevante teoretiske konstruksjonen for  $m$  er porteføljen av alle risikable investeringer i et land innenfor kategoriene naturkapital, naturressurser, forbrukskapital, menneskelig kapital, produksjonskapital og netto fordringer på utlandet.



## Vedlegg 2: Modell for avkastning av energiinvesteringer

Modellsimuleringene i kapittel 4.3 er basert på følgende modell for avkastning av investering i fjernvarmeanlegg med varmpumpe og bioenergi og for referanseporteføljen.

### Avkastning i økonomien: BNI/Kapitalbeholdning

Kapitalavkastningsraten i økonomien bestemmes i følgende rekursive modell:

$u = RV.NORMAL(0,x)$ ;  $u$  er et stokastisk, normalfordelt restledd i prisen på CO<sub>2</sub> med forventning 0 og standardavvik på  $x$  kr.

$pco2 = 100 + u$ ; fremtidig kvotepris på CO<sub>2</sub> har forventning på 100 kr/tonn, men varierer pga. det stokastiske restleddet.

$volje = RV.NORMAL(0,y)$ ; stokastisk, normalfordelt restledd i oljeprisen med forventning 0 og standardavvik på  $y$  dollar.

$polje = 22 - 0.012 * (pco2-100) + volje$ ; likningen for råoljeprisen i dollar. Internasjonal oljepris har forventet verdi på er 22 dollar/fat og avtar med 1.2 dollar per 100 NOK/tonn CO<sub>2</sub>

$pgas = 4.8*(0.1+0.9*(polje/22))$ ; gassprisen måles i NOK øre/kWh og grunnprisen (4.8 øre/kWh) er et anslag på prisen for gass levert til et kraftverk (CCGT) i 2000. Gassprisen endres omtrent i takt med oljeprisen.

$pel1 = 11+(pgas/0.58)$ ; elprisen nordisk engros ekskl. CO<sub>2</sub>-kostnad er en positiv funksjon av gassprisen. Elprisen er lik 11 øre + kostnader forbundet med gassinnkjøp. Energieffektiviteten i et moderne gasskraftverk er antatt å være 58 prosent.

$pelco2 = 0.3*0.1*pco2$ ; CO<sub>2</sub>-kostnad ved marginal elektrisitetsproduksjon i øre/kwh. Det er antatt at 1 kWh genererer 0,3 kg CO<sub>2</sub>. Estimater er basert på utslipp fra gasskraftverk, som antas å være marginal kapasitet i det nordiske kraftmarkedet i fremtiden.

$pel2 = pel1+pelco2$ ; samfunnsøkonomisk pris på elektrisk energi.

$pelend = pel2+20$ ; elpris ekskl skatt for sluttlevering dvs. inkl. nettleie på 20 øre/kwh.

$v = RV.NORMAL(0,z)$ ;  $v$  er et stokastisk, normalfordelt restledd i BNI med forventning 0 og standardavvik  $z$ .

$BNI = 1200+82*(polje/22)+v$ ; BNI antas å bli bestemt av forventet avkastning i fastlandsøkonomien (= ca 1200 milliarder). Nasjonalbudsjettet beregnet permanent inntekt fra nasjonalformuen til 82 milliarder som antas her å være

proporsjonal med oljepris. Permanent inntekt er et mål på langsiktige konsummuligheter som forårsaket av høy olje- og gassproduksjon.

$rm = bni/3510$ ; definerer avkastningsraten, dvs. BNI delt på norsk kapitalbeholdning i mill kr i 1999.

### **Avkastning for investering i fjernvarme basert på biomasse**

$p_{bio} = 10 + 0.09 * (polje - 22)$ ; 10 er basisprisen for biomasse. Prisen på biomasse antas å øke med 0,2 prosent når oljeprisen går opp én prosent.

$p_{fyr} = 18.2 * (polje / 22)$ ; Antar at prisen på fyringsolje er proporsjonal med oljeprisen. Basis er 18,2 øre per kWh tilført energi.

$vc_{bio} = p_{bio} * 0.7 * (1/0.8) + (1 - 0.7) * (1/0.85) * (p_{fyr} + 0.316 * p_{co2} * (100/1000))$ ; De variable kostnadene for biobrenselanlegget er lik prisen på biomasse multiplisert med andel biomasse i anlegget (0,7) justert for energieffektiviteten i anlegget (0,8). I tillegg kommer kostnaden ved å bruke 30 prosent oljefyring inkl. utslipp av CO<sub>2</sub>. Måles i øre/kWh.

$r_{bio} = (pel_{end} - vc_{bio}) / 142$ ; definerer avkastningsraten for fjernvarmeanlegg bioenergi

### **Avkastning for investering i fjernvarme basert på elektrisk drevet varmepumpe**

$el_{pvp} = pel_2 + 10$ ; Elpris for varmepumpeanlegget. 10 øre er nettleie for fjernvarmeverket mot 20 øre for husholdningskunden.

$vc_{vp} = 0.7 * (el_{pvp} / 3) + (1 - 0.7) * (1/0.85) * (p_{fyr} + 0.316 * p_{co2} * (100/1000))$ ; Variable kostnader for varmepumpen består av innkjøp av elektrisitet til å drive varmepumpen multiplisert med andel elektrisitet og virkningsgraden for varmepumpen. I tillegg, som for biobrenselanlegget, kommer kostnader ved oljefyring justert for energieffektivitet i kjelen og andel CO<sub>2</sub> –utslipp fra kjelen. Måles i øre/kWh.

$r_{vp} = (pel_{end} - vc_{vp}) / 180$ ; definerer avkastningsraten for investering i fjernvarme varmepumpe