

concept

Kjell Arne Brekke

# Realopsjoner og fleksibilitet i store offentlige investeringsprosjekter

Concept rapport Nr 8

 **NTNU**  
Det skapende universitet



© Concept-programmet 2004

Concept rapport nr. 8

## **Realopsjoner og fleksibilitet i store offentlige investeringsprosjekter**

*Kjell Arne Brekke*

ISSN: 0803-9763 (papirversjon)

ISSN: 0804-5585 (nettversjon)

ISBN: 82-92506-18-7 (papirversjon)

ISBN: 82-92506-19-5 (nettversjon)

Sammendrag: Denne rapporten diskuterer hvordan teorien for realopsjoner kan benyttes til å tallfeste verdien av fleksibilitet i store offentlige investeringsprosjekter. Flexibiliteten kan gjelde valg av oppstartstidspunkt, dimensjonering, koplede prosjekter og fleksibel drift. Rapporten drøfter empiriske studier av hvordan ny informasjon benyttes. Flere studier indikerer at informasjon om nytte og kostnader har liten påvirkning på prioriteringene av ulike prosjekter. Ulike forklaringer på disse observasjonene belyses. Det konkluderes med at det er potensielt store realopsjonsverdier i offentlige investeringsprosjekter, men at det i de aller fleste tilfeller er liten grunn til å tro at disse verdiene kan realiseres. Verdien av realopsjoner er i alle tilfeller avhengig av at ny informasjon benyttes i beslutningene.

*Dato: 1.9.2005*

*Utgiver:*

*Concept-programmet*

*Institutt for bygg, anlegg og transport*

*Norges teknisk- naturvitenskapelige universitet*

*Høgskoleringen 7A*

*7491 NTNU – Trondheim*

*Tel. 73 59 46 40*

*Fax. 73 59 70 21*

*<http://www.concept.ntnu.no>*

Ansvaret for informasjonen i rapportene som produseres på oppdrag fra Concept-programmet ligger hos oppdragstaker. Synspunkter og konklusjoner står for forfatterens regning og er ikke nødvendigvis sammenfallende med Conceptprogrammets syn.

concept

Kjell Arne Brekke

Realopsjoner og  
fleksibilitet i store offentlige  
investeringsprosjekter

Concept rapport Nr 8





# Forord

Innføringen av kvalitetssikring i produksjonsprosesser førte i sin tid til at oppmerksomheten skiftet fra produktets tekniske egenskaper til brukerens behov. Nedstrøms kvalitetskontroll ble erstattet av oppstrøms kvalitetssikring. Dette viste seg helt grunnleggende for å sikre brukerens behovstilfredsstillelse og samtidig realisere produsentens overordnede mål om økt markedsandel og lønnsomhet.

Ved kvalitetssikring av store investeringsprosjekter står en overfor en tilsvarende situasjon. Problemene som oppstår i prosjektene får en dokumentert nedstøms når prosjektet evalueres. Da er det ofte for sent å gjøre noe med det. En ser ofte at utformingen av store prosjekter skulle vært bedre kvalitetssikret i forkant. Analysen av behov og forventet effekt er mangelfull og målene ikke tilstrekkelig avklart. Sviktende behovsvurdering kan medføre at prosjektet er mer eller mindre relevant i forhold til de problemer som skal løses. Uklar eller urealistisk målformulering kan påvirke styring og gjennomføring av prosjektet. Manglende effektvurdering på et tidlig stadium kan føre til at forventningene er urealistiske og at en under gjennomføringen støter på problemer som en kunne tatt hensyn til på et tidlig tidspunkt og unngått.

Formålet med denne studien er å bidra til å sikre at beslutningsunderlaget gir grunnlag for at det prosjektkonsept som under gitte forutsetninger vil gi best ressursutnytting, verdiskaping og samfunnsnytte blir valgt. Det er nokså selvsagt at vurderingen av behov og forventet effekt bør være noe av det første som skjer i tilretteleggingen for et nytt prosjekt.

Studien fokuserer på bruk og nytte av realopsjonsmetoden i prosjekters tidligfase. I et prosjekt får en ny informasjon etter hvert som prosjektet skrider frem. På planleggingstidspunktet må en ha laget seg handlingsregler som sier hva en gjør dersom ”det og det hender”. En sluttevaluering av et prosjekt må evaluere om slike handlingsregler har vært påkrevet og om de er blitt fulgt. Å opprette buffere eller avsetninger er en strategi for å møte usikkerheten. Hvor mye avsetninger som trengs i et prosjekt for å dekke fremtidige usikre begivenheter kan drøftes innenfor en slik ramme.

Fleksibilitet er en aktuell strategi for å møte usikkerheten. Realopsjonsmetoden gir svar på hvordan en kan regne verdien av fleksibilitet i prosjekter. Problemstillingen relateres til store prosjekter i situasjoner der det er lite hensiktsmessig å ta alle beslutninger på en gang. Situasjoner der en heller kan ta stegvise beslutninger og dermed få bedre underlag som fanger opp ny kunnskap. Dette vil særlig være aktuelt i store utbyggingsprogrammer som inneholder flere mer eller mindre

avhengige delprosjekter som dels bygger på hverandre og dels er gjensidig utelukkende.

Denne studien er en del av forskningsprosjektet ”Behovsvurdering, målformulering og effektvurdering i store investeringsprosjekter”, i regi av forskningsprogrammet Concept. Prosjektet er utført i samarbeid mellom Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Norsk institutt for by- og regionforskning, SINTEF avd. for teknologiledelse og Frischsenteret for samfunnsøkonomisk forskning, med forskningssjef Ole Jonny Klakegg ved NTNU som prosjektleder.

Det er planleggingen i den tidlige fasen av store statlige investeringsprosjekter som står i fokus i prosjektet. I rapportene er vekten lagt på begrepsavklaringer og råd om anbefalt praksis, basert på eksisterende forskning og erfaringsmateriale.

Forskningen er koplet opp mot Finansdepartementets regime for kvalitetssikring av store statlige prosjekter. Studien tar utgangspunkt i samfunnets perspektiv på nytte, ikke prosjektets perspektiv. Rådene skal gjelde på tvers av sektorene i staten, slik at de kan settes i verk som ledd i kvalitetssikring på tvers av departementer.

Rapporten er skrevet av Kjell Arne Brekke. Rapporten er en av fire delrapporter som bygger opp mot samlerapporten som er utgitt som Concept-rapport nr. 9.

Referansegruppe for prosjektet har vært professorene Arvid Strand, ved NIBR, Steinar Strøm, ved Universitetet i Oslo, og undertegnede.

Trondheim, august 2005

Knut Samset, Professor

Programansvarlig, Concept-programmet, NTNU

# Innhold

Forord .....	3
Innhold .....	5
Sammendrag .....	7
Summary .....	8
1 Innledning .....	9
2 Finansielle opsjoner .....	11
2.1 Risikonøytrale sannsynligheter og markedspris på risiko .....	12
2.2 Realopsjoner .....	14
3 Hvordan beregne opsjonsverdi .....	17
3.1 Noen enkle regneeksempler .....	17
3.2 Dimensjonering .....	19
3.3 Koblede prosjekter .....	20
3.4 Fleksibel drift .....	21
4 Forholdet til tradisjonell nytte-kostnadsanalyse .....	23
4.1 Positiv nåverdi er ikke nok .....	23
4.2 Argument for høyere nåverdi .....	23
4.3 Argument for høyere kostnader .....	24
5 Behov og effekt .....	25
6 Nyttig informasjon? .....	26
6.1 Verdien av informasjon .....	26
6.2 Blir informasjon brukt? .....	27
6.3 En forklaring basert på interessegrupper .....	30
7 Blir de rette prosjektene vedtatt? .....	32
8 Konklusjon .....	34
Referanser .....	36
A Risikonøytrale sannsynligheter .....	39

## Figuroversikt

Figur 1	<i>Opsjonsverdi, toperiodemodell.....</i>	17
Figur 2	<i>Nyttesiden (trafikkvolum) ved ulike tilstander/tidspunkt. ....</i>	18
Figur 3	<i>Nåverdi avhengig av tilstand og tidspunkt for oppstart av prosjektet.....</i>	19
Figur 4	<i>Verdien av prosjektet ved ulike tidspunkt og tilstander.....</i>	19
Figur 5	<i>Verdien av muligheten til en utvidelse (vekstoppsjon) .....</i>	20
Figur 6	<i>Reisende per år på ulike år/tilstander (beregnet etter Bergendal 2002)....</i>	20
Figur 7	<i>Oljepris ved ulike år og tilstander.....</i>	21
Figur 8	<i>Innsparinger ved fleksibel teknologi versus ren gassovn. ....</i>	22
Figur 9	<i>Forventede innsparinger, nåverdi ved ulike tidspunkt/tilstander.....</i>	22
Figur 10	<i>Forenklet eksempel med to mulige utfall.....</i>	39



---

# Sammendrag

*Kjell Arne Brække*

## **Realopsjoner og fleksibilitet i store offentlige investeringsprosjekter**

Concept rapport nr. 8

Denne rapporten diskuterer hvordan teorien for realopsjoner kan benyttes til å tallfeste verdien av fleksibilitet i store offentlige investeringsprosjekter. Flexibiliteten kan gjelde valg av oppstartstidspunkt, dimensjonering, koplede prosjekter og fleksibel drift.

Rapporten drøfter empiriske studier av hvordan ny informasjon benyttes. Flere studier indikerer at informasjon om nytte og kostnader har liten påvirkning på prioriteringene av ulike prosjekter. Ulike forklaringer på disse observasjonene belyses.

Det konkluderes med at det er potensielt store realopsjonsverdier i offentlige investeringsprosjekter, men at det i de aller fleste tilfeller er liten grunn til å tro at disse verdiene kan realiseres. Verdien av realopsjoner er i alle tilfeller avhengig av at ny informasjon benyttes i beslutningene.

# Summary

*Kjell Arne Brekke*

## **Real options and flexibility in major public investment projects**

Concept Report no. 8

This report discusses how the theory of real options can be used to quantify the value of flexibility in major public investment projects. Flexibility can be connected to choice of start-up timing, dimensions, loosely coupled projects and flexibility in operation.

The report also discuss empirical studies of how new information is used in decision making. Several studies indicate that information about benefits and cost has little influence on priority among alternative projects. Different explanations to these observations are presented.

The author concludes there is great potential for value in utilizing real options in public investment projects. However, in most cases there is little reason to believe that these values can be realized. The value of real options always depends on new information being used in decision making.

# 1 Innledning

Store investeringsprosjekter er svært komplekse prosjekt. Det tar lang tid å gjennomføre dem og resultatet vil vi leve med på enda lenger sikt. Kompleksiteten tilsier at planleggingen og gjennomføringen av prosjektet vil by på mange uforutsette utfordringer, og rammebetingelsene kan forandre seg sterkt underveis i prosjektet, og mange av forutsetningene prosjektvurderingen bygget på kan være utdatert når prosjektet til slutt står ferdig. Det er selvsagt ikke slik at alle forandringene kommer på ett tidspunkt og bare etter at prosjektet er slutført. Rammebetingelsene vil konstant være i forandring, og ny informasjon vil påløpe hele tiden mens prosjektet planlegges og gjennomføres. Hensikten med denne rapporten er å diskutere betydningen av at ny informasjon kommer hele tiden, og verdien av å tilpasse seg ny informasjon, og på forhånd å planlegge for en slik tilpasning.

Ved byggingen av det nye Rikshospitalet ble det gjort store og svært fordyrende endringer underveis, som resulterte i at Rikshospitalet ble langt dyrere enn opprinnelig planlagt. På den andre siden blir sluttproduktet framhevet som svært vellykket i en artikkel i *The Daily Telegraph*<sup>1</sup>. Lederen for den Engelske Commission for Architecture and the Built Environment, reiste sammen med avisens journalist og avisen hevder ”it was simply the best hospital he had ever seen”. Det ville kreve en nærmere analyse for å si om de endringene som ble gjort underveis var en fornuftig tilpasning til ny informasjon eller om de kunne ha vært forutsett langt tidligere slik at en kunne oppnådd det samme resultatet til lavere kostnader. Men eksempelet illustrerer at en ikke kan vurdere hvor vellykket et prosjekt er bare ut fra i hvilken grad en har holt seg til de opprinnelige planene.

Temaet for denne rapporten er verdien av muligheten til å endre kurs om det skulle dukke opp ny informasjon som tilsier det. Realopsjonsteorien gir et verktøy til å verdsette slik fleksibilitet, men kanskje viktigere er det begrepsmessige bidraget, at teorien representerer en måte å tenke rundt verdien av informasjon som har rekkevidde langt utover selve verdsettingen av fleksibilitet.

I et par klassiske arbeider analyserte Arrow og Fisher (1974) og Henry (1974a,b) betydningen av usikkerhet i forbindelse med irreversible investeringer. De argumenterte for at med usikkerhet om framtidig nytte og kostnader er et prosjekt først økonomisk lønnsomt om differansen mellom forventede nyttevirksomheter og forventede kostnader overstiger en positiv terskelverdi, og at denne terskelverdien er voksende i graden av usikkerhet. Dette kan betraktes som en forløper til realopsjonsteorien, men det var likevel først og fremst utviklingen modeller for verdsetting av finansielle opsjoner som la grunnlaget for utviklingen i teorien.

---

<sup>1</sup> *The Daily Telegraph*, 26/1 2004, ”Is this a cure for our sick hospitals?”.

Finansteoriens verdsetting av opsjoner var blitt mulig på 1970 tallet på grunn av store framskritt i analysen av stokastiske prosesser innen matematikk. Selv om ny matematikk var avgjørende for å kunne utvikle modeller med nok realisme til å være anvendelige i finansmarkedet, så er de underliggende ideene enkle. Med fare for å trivialisere teorien, vil jeg her fokusere på disse enkle underliggende ideene og bruke stiliserte regneeksempler.

Realopsjonsteorien er nært relatert til verdien av ny informasjon. Det vil derfor vise seg å være avgjørende for anvendeligheten av denne teorien at ny informasjon faktisk har avgjørende betydning for beslutningene som fattes etter at informasjonen er tilgjengelig. Flere studier tyder imidlertid på at bl.a. informasjon om kostnadsforhold har liten innflytelse på prosjektprioriteringer. For å vurdere anvendeligheten av teorien må vi derfor også diskutere noen av disse studiene.

## 2 Finansielle opsjoner

Før jeg presenterer selv realopsjonsteorien, kan det være nyttig med en kort avstikker innom verdsetting av finansopsjoner. Denne avstikkeren kan gjøre det lettere å skjønne tankegangen i realopsjonsteorien.

Opsjoner er en type verdipapirer, ofte kalt derivater, hvor verdien er knyttet til verdien av et underliggende finansobjekt, typisk en aksje. Det finnes flere typer opsjoner, kjøpsopsjoner gir eieren rett til å kjøpe det underliggende papiret til en gitt kontraktspris. Eksempelvis kan da en kjøpsopsjon være et verdipapir som gir eieren rett men ikke plikt til å kjøpe en Opticom aksje til 100 kroner (kontraktspris). Om kursen er 50 kroner er det ingen grunn til å utøve opsjonen, men om prisen på aksjen hadde vært 1500 kroner, kan en tjene 1400 kroner på å utøve opsjonen, dvs. kjøpe aksjen for 100 kroner for så å selge den igjen for 1500 kroner. En salgsopsjon er tilsvarende en kontrakt som gir innehaver rett (men ikke plikt) til å selge en bestemt aksje til en avtalt kontraktspris. Finansielle opsjoner er begrenset til en kontraktsperiode, avtalen kan f.eks. være at en har en opsjon på å kjøpe aksjen til kontraktsprisen i løpet av de neste tre månedene, eller bare ved utløp på en bestemt dato og klokkeslett.

Gjennombruddet for opsjonshandelen kom med Black and Scholes (1973) formel<sup>2</sup> for verdsetting av opsjoner som bare kan utøves på et fast kontraktstidspunkt. Det følger av denne formelen (uten at jeg skal bevise det her) at enhver opsjon vil ha en positiv verdi. Retten til å kunne kjøpe en aksje til 100 kroner er ikke veldig verdifull om kursen nå er 10 kroner, men den har likefullt en verdi da det er en viss sannsynlighet for at aksjekursen skal overstige 100 kroner innen utløpet av kontrakten. Denne sannsynligheten er større jo mer volatil<sup>3</sup> aksjen er, og følgelig er opsjonen mer verdifull jo mer volatil det underliggende verdipapiret er.

Et sentralt begrep i denne teorien er arbitrasje, som er navnet på en handel der en handler med essensielt sett samme vare til ulik pris, dvs. kjøper billig og selger dyrt. Det kan for eksempel vises at en kjøpsopsjon og en statsobligasjon pålydende kontraktsprisen gir den eksakt samme framtidige kontantstrøm som aksjen pluss en salgsopsjon, og disse to porteføljene må derfor ha samme pris. Om det ikke gjelder vil en kunne gjøre arbitrasje: den eksakt samme framtidige posisjonen har da to ulike priser, og en kan uten risiko tjene

<sup>2</sup> Anta at opsjonen utløper på tidspunkt  $T$ , og at kontraktsprisen er  $K$ . På et tidspunkt der aksjekursen er  $S$  er verdien  $C_t$  på opsjonen gitt ved

$$C_t = S\Phi\left(\frac{\ln(S/K) + (r + \sigma^2/2)T}{\sigma\sqrt{T}}\right) - Ke^{-rT}\Phi\left(\frac{\ln(S/K) + (r - \sigma^2/2)T}{\sigma\sqrt{T}}\right)$$

der  $r$  er renten på risikofrie papirer (obligasjoner)  $T$  er tiden til utløp av opsjonen,  $\sigma$  er volatiliteten til aksjen, mens  $\Phi$  er den kumulative normalfordelingen (forventning 0 og varians 1).

<sup>3</sup> Volatiliteten til en aksje er uttrykk for hvor sterkt den svinger, og måles ved standardavviket i den årlige avkastningen.

på å selge den dyre og kjøpe den billige. I praksis vil prisen på ekvivalente porteføljer være like, på noen hundredels ører nær. Flere meglere har automatiske handlere, programmer som er programmert til å handle om slike likheter ikke gjelder. Fraværet av slike arbitrasjemuligheter (ingen gratis lunsj) er den sentrale forutsetningen i beregningen av opsjonsverdier, Når vi kommer til investeringer er slike arbitrasjemuligheter ikke like åpenbare, noe vi skal komme litt tilbake til.

En type opsjoner som er mer relevant for investeringer er såkalte amerikanske opsjoner. Disse opsjonene kan utløses når innehaveren måtte ønske det, i løpet av kontraktperioden, og altså ikke bare ved kontraktutløp. En kjøpsopsjon vil da gi innehaveren rett til å kjøpe en bestemt aksje til en fast kontraktspris  $K$ . Den som sitter på opsjonen, må da finne ut når det er optimalt å utøve denne opsjonen. Om aksjekursen er  $S_t$  på det tidspunktet opsjonen utøves, vil eieren få en fortjeneste på

$$S_t - K$$

Om kontraktsprisen er 100 kroner og aksjen står i 110 kroner, så vil han tjene 10 kroner per opsjon han utøver. Aksjeprisen kan imidlertid vokse og om han venter til aksjekursen er 120 kroner, vil fortjenesten per opsjon være dobbelt så stor, men på den andre siden kan det bli så lenge å vente at forventet nåverdi likevel er lavere. En må her finne en optimal avveining mellom hvor lenge en må regne med å vente, og hvor høy aksjekurs en vil kreve før en utøver opsjonen. Den optimale avveiningen avhenger her av utbyttebetalinger og volatilitet i den underliggende aksjen. Dersom det blir utbetalt store utbytter, vil mindre verdier bli akkumulert i selskapet og kursen vokser saktere. Samtidig er sannsynligheten for en kursøkning fra for eksempel 110 kroner til 120 kroner større dersom aksjen er volatil, dvs. dersom det er store svingninger i aksjekursen. Men det vi helt sikkert kan si er at det lønner seg ikke å utøve opsjonen før den underliggende kursen med god margin overstiger kontraktsprisen. For eksempel blir opsjonen uten verdi om den utøves når aksjekurs er lik kontraktspris.

Tilsvarende kan en definere en amerikansk salgsoptjon, som gir innehaveren rett til å selge en bestemt aksje til en bestemt pris. Her vil en vente til aksjekursen er lavere enn kontraktsprisen før en utøver opsjonen. Da kan en kjøpe billig den aksjen en så kan selge videre til den høyere kontraktsprisen.

## 2.1 Risikonøytrale sannsynligheter og markedspris på risiko

Diskonteringsraten har stor betydning for vurderingen av lønnsomheten i et hvert investeringsprosjekt. Grunnen til at vi diskonterer framtidige inntekter er at alternative plasseringer gir en avkastning, som gjenspeiler avkastningen på alternativ binding av ressursene. Om avkastningen på ettårige statsobligasjoner<sup>4</sup> er 3,5 % vil 100 millioner i dag svare til 103,5 millioner med sikkerhet om ett år. Grunnen til dette er at 100 millioner i dag kunne plasseres i ettårige statsobligasjoner som gir en utbetaling på 103,5 millioner om

<sup>4</sup> Kostnadsberegningutvalget (NOU #16, 1998) anslår gjennomsnittsavkastningen på langsiktige obligasjoner til 3,5 %, men denne vil variere over tid.

ett år. Men om de framtidige inntektene er usikre må vi sammenligne med tilsvarende usikre plasseringer. Om vi investerer i svært usikre aksjer vil vi kunne oppnå forventet avkastning på 15-20 %. Framtidige inntekter med tilsvarende risikoprofil skal da diskonteres med tilsvarende høye rentesatser.

Den store variasjonen i korrekt diskonteringsrate fra 3-4 % opptil minst 15-20 % avhengig av risiko, gjenspeiler markedsprisen på risiko. Den ekstra avkastningen på risikable aksjer gjenspeiler den prisen markedet krever for å være villig til å akseptere risikoen. Prisen på risiko er langt høyere enn det en kan forklare med risikoaversjon, dvs. graden av risikoaversjon som trengs for å forklare prisen er langt høyere enn hva en ellers observerer av villighet til å ta risiko. Den høye prisen på risiko er et av finansteoriens store paradokser. På tross av iherdige forsøk på å forklare fenomenet, konkluderer Kocherlakota (1996) med at den høye markedsprisen på risiko fortsatt er et paradoks.

Med avkastningsrater som varierer mellom 3-4 % og 15-20 % avhengig av risiko, er det selvsagt av avgjørende betydning for verdsetting av opsjoner at en velger riktig avkastningsrate. Det viser seg at risikoprofilen til en opsjon er kompleks, og volatiliteten vil avhenge av forholdet mellom kontraktspris og pris på underliggende aksjer. En teknikk som unngår slike problemer er imidlertid å bruke *risikonøytrale sannsynligheter*.

Å forklare ideen med risikonøytrale sannsynligheter krever litt mer tekniske argumenter, så jeg har plassert det i et eget appendiks, jeg skal her nøye meg med den viktigste intuisjonen.

For det første er det svært komplisert å risikojustere diskonteringsraten for opsjoner, da den ikke er konstant. Om vi betrakter en opsjon på å kjøpe en aksje til 100 kroner om 3 måneder, og aksjen i dag står i 10 øre, så kan en praktisk talt utelukke at opsjonen vil ha en verdi når kontraktsperioden utløper. Verdien nå vil ligge nær 0, og vil ikke endre seg stort om den underliggende aksjekursen svinger, enten den faller til 1 øre, eller stiger til 5 kroner. Verdien på opsjonen er da lite volatil. Om kursen på aksjen derimot ligger rundt 100 kroner så vil svingninger i aksjekursen slå mye sterkere ut i verdien på opsjonen. Om aksjekursen da skulle dobles, så vil verdien på opsjonen mer enn dobles. I dette tilfellet blir opsjonen veldig volatil. Verdien av opsjonen nå er nåverdien av den framtidige utbetalingen, men diskonteringsraten vi skal bruke avhenger av hvor volatil opsjonen er, men denne volatiliteten avhenger igjen av den underliggende aksjekursen. Å finne den riktige diskonteringsraten er da svært komplisert, da det ikke er snakk om en rate men den kan være sterkt avhengig av hvilket tidspunkt vi ser på og hva kursen på den underliggende aksjen er. I praksis vil dette være nesten umulig å gjennomføre.

Det viser seg imidlertid at det finnes en enklere løsning som gir samme resultat, men som er mye lettere å gjennomføre. I stedet for å justere diskonteringsraten kan vi endre sannsynlighetsfordelingen for den underliggende aksjen. For å gi et hint om intuisjonen, la oss tenke oss et verdipapir som gir en forventet utbetaling på 110 kroner om ett år, men hvor utbetalingen er usikker. Avkastningen på andre verdipapir med tilsvarende usikkerhet er 10%. Verdien i dag er da 100 kroner. Et slik framtidig usikker betaling har da samme verdi som et verdipapir med forventet utbetaling på 104 kroner, men hvor en kan benytte en risikofri diskonteringsrate på 4%. Et alternativ til å justere diskonteringsraten, er derfor å justere forventet avkastning, som betyr en endring i sannsynlighetsfordelingen til den underliggende aksjen. Nedjusteringen er her ca 6% eller forskjellen mellom den risikofrie og den risikojusterte diskonteringsraten. Det viser seg at denne prosedyren vil generere riktige markedspriser også for opsjoner. Om den underliggende aksjen har forventet årlig avkastning på 6% vil vi da regne opsjonsprisen *som om* den underliggende aksjen har en

lavere forventet årlig avkastning (men samme volatilitet) og samtidig bruke den risikofrie renten, vi snakker altså om en endring i sannsynlighetsfordelingen for den underliggende aksjen slik at vi kan benytte risikofri diskontering, derav navnet ”risikonøytrale sannsynligheter”. Nedjusteringen av forventet avkastning svarer til forskjellen i risikostjustert avkastningskrav (gitt usikkerheten<sup>5</sup> til aksjen) og risikofri diskontering.

I det følgende vil jeg i alle eksempler anta at de angitte sannsynlighetene er risikonøytrale, altså at nåverdiene kan neddiskonteres med en risikofri rente. Jeg vil imidlertid ikke gå inn på hvordan slike risikonøytrale sannsynligheter kunne utledes i de konkrete eksemplene, for å unngå å gjøre framstillingen altfor teknisk<sup>6</sup>.

## 2.2 Realopsjoner

Vi kan nå betrakte en investeringsmulighet som en kjøpsopsjon. En av de tidligste anvendelsene var utvinning av naturressurser, la oss si olje. Anvendeligheten av realopsjoner strekker seg langt videre enn bare til utvinning av naturressurser, men dette er et velegnet eksempel til å belyse noen sentrale poenger. Ved å investere et beløp  $K$  i en produksjonsplattform, kan den som eier utvinningsrettighetene få et operativt oljefelt, som har en verdi  $S_t$  om produksjonen starter på tidspunkt  $t$ . Verdien på starttidspunktet vil blant annet avhenge av framtidige forventede oljepriser.

Et eksempel kan illustrere verdiene som er inkludert her. Betrakt et tenkt prosjekt med en investeringskostnad på 10 milliarder kroner. Studier av oljeprisene over en 127 års periode (Pindyck, 1999) viser at en rimelig god første tilnærming til prisprosessen er å anta at de årlige endringene i logaritmen av prisen er uavhengige og normalfordelt<sup>7</sup>, som vil svare til at oljeprisen på mange måter vil oppføre seg som en aksjekurs. Anta nå at prosjektet er slik at det akkurat vil være lønnsomt ved en oljepris på 15 \$/fat. Ved en oljepris på 15\$ per fat er imidlertid inntekter akkurat lik kostnader og brøken nytte/kostnad er lik 1, som er det tradisjonelle kriteriet for når det lønner seg å foreta en investering. Men om vi bygger feltet når oljeprisen er 15\$ per fat vil oljen i bakken ikke ha noen verdi; de forventede inntekten vil akkurat svare til kostnadene ved utbygging. Det finnes imidlertid alternative utvinningsstrategier som gjør at oljen i bakken har en verdi.

Med den gitte oljeprisprosessen er den optimale strategien å vente til oljeprisen når en terskelverdi som er høyere enn 15\$. Med Pindyck’s anslag på volatilitet og prisvekst blir

<sup>5</sup> Merk at en aksjeeier har andre usikre objekter enn bare denne aksjen. Usikkerheten til porteføljen avhenger ikke bare av volatiliteten til hver aksje, men av korrelasjonen mellom dem. Usikkerheten til en aksje er derfor definert ved bidraget til usikkerheten i en veldiversifisert portefølje, som viser seg å være avhengig av kovariansen med markedsporteføljen. Usikkerheten til aksjen er derfor ikke det samme som volatiliteten.

<sup>6</sup> Merk imidlertid at bruken av slike risikonøytrale sannsynligheter forutsetter at de underliggende verdipapirene handles i et marked hvor det ikke er muligheter for arbitrasje. Når vi snakker om offentlige investeringsprosjekter er det ikke noen underliggende verdipapirer, i stedet kan det være snakk om den samfunnsøkonomiske nytten som kan være knyttet til for eksempel volumveksten i trafikk. Da det ikke handles i slik volumvekst, vil denne forutsetningen normalt ikke være oppfylt. Det finnes teorier for verdsetting av opsjoner også i situasjoner der de underliggende verdiene ikke handles i et marked, men det ligger langt utenfor rammen av denne rapporten, og de justeringene det vil kreve vil heller ikke ha avgjørende betydning for konklusjonene i rapporten.

<sup>7</sup> Mer spesifikt, om prisen på dag  $t$  er  $P_t$  så er  $\ln(P_{t+1}) - \ln(P_t) = u_t$  der  $365u_t$  er normalfordelt med forventning lik årlig vekstrate og standardavvik lik volatiliteten.



denne terskelverdien nærmere 30\$ per fat. Verdien av feltet blir med denne strategien 2-3 milliarder kroner, mens om feltet bygges ved en nytte/kostnad brøk lik 1, så er verdien lik null. Andre forutsetninger om oljeprisprosessen kan gi andre svar. Pindyck (1999) finner at en bedre modell for oljeprisen er at prisen tenderer tilbake til et likevektsnivå på lengre sikt, og en med en slik prosess er det trolig optimalt å bygge ut ved en lavere oljepris, men Pindyck konkludere med at forskjellen er beskjedent. Schwartz og Smith (2000) estimerer en modell med kortsiktige svingninger og en underliggende mer stabil prosess, men jeg har ikke sett noen anslag på hvor stor betydning det vil ha for den optimale strategien. Men uansett modell er konklusjonen at det ikke er optimalt å bygge ut før prisen (eventuelt korrigert for kortsiktige svingninger) med god margin overstiger det prisnivået hvor prosjektet har nåverdi lik 0.

I dette tilfellet er den generelle konklusjonen temmelig åpenbar. Oljen i Nordsjøen representerer en enorm økonomisk ressurs for Norge. Grovt sagt er verdien av denne oljen lik salgsverdien på markedet, minus kostnadene ved å utvinne den. Om vi utvinner et felt slik at utvinningskostnadene er like store som salgsverdien av oljen, blir nettoresultatet lik null, og olje har ikke bidratt noe til statskassa. Før vi setter i gang utbygging har et slikt felt likevel en stor verdi. Den som eier feltet har en rett – men ingen plikt – til å bygge det ut. Med en positiv sannsynlighet kommer det en dag da de forventede inntektene langt vil overstige kostnadene, og nettopp denne framtidige muligheten er det som gjør feltet verdifullt, selv på et tidspunkt da  $S_t < K$ , og feltet ville være et tapsprosjekt om det startes umiddelbart.

Straks en setter i gang utbyggingen vil bildet være et annet. Det er dyrt å ha store installasjoner stående ubenyttet, og med mindre prisen skulle falle veldig kraftig vil det ikke være et lønnsomt alternativ å la installasjonene stå ubrukt. En har da mistet en vesentlig fleksibilitet i valget av starttidspunkt. Hovedpoenget er her at så lenge utbyggingen ikke er satt i gang har en mulighet, men ikke en plikt, til å sette i gang på et eller annet tidspunkt. Men når en har startet utbyggingen er denne fleksibiliteten borte, en kan ikke lenger velge starttidspunkt eller om en skal gjennomføre prosjektet. Se Bjerkholt og Brekke (1988) for en nærmere diskusjon av de ulike opsjonene i sammenheng med utbygginger av oljefelt.

For å se sammenhengen med fleksibilitet, la oss som et tankeeksperiment tenke oss et prosjekt hvor beslutningene ikke var irreversible. La oss da tenke oss at produksjonsplattformen kunne leies for en måned om gangen, og at kostnadene ved å slepe den ut til feltet var neglisjerbare. Anta også at reservene med olje var så store at feltet ikke vil bli tomt i overskuelig framtid, og at en ikke trenger tenke på om det lønner seg å spare på reservene. I dette tilfellet vil det overhodet ikke finnes noen grunn til å vente på ny informasjon. Dersom prisen nå er så høy at det lønner seg å utvinne, så bør vi da utvinne. Faller prisen om en måned, så kan vi velge å la være å leie den plattformen da, men leie den tilbake neste måned om prisen skulle ha steget igjen. Den informasjonen vi har om en måned vil vi bruke da, men den påvirker ikke lønnsomheten av utvinningsbeslutningene denne måneden.

Forskjellen på disse to prosjektene, er at all valgfrihet er bevart i det siste tankeeksperimentet. I praksis vil imidlertid beslutningene tatt i starten har konsekvenser for de disposisjonene en gjør senere, og om feltet er bygget ut vil det neppe være lønnsomt å stoppe produksjonen for en periode. Men i det tenkte eksperimentet hvor en kan løpende justere produksjonen helt fritt, så er det altså ingen grunn til å vente på ny informasjon. Når investeringen er irreversibel derimot, har vi mistet muligheten til å

tilpasse oss til ny informasjon, straks den irreversible beslutningen er tatt. Opsjonsverdien er verdien av å bevare denne fleksibiliteten.

For oljefeltet dreier opsjonsverdien seg om verdien av en mulighet – men ikke plikt – til å sette i gang utvinningen av feltet. Men realopsjoner gjelder langt videre enn for oljefelter, og mye mer enn bare om og når en skal sette i gang et prosjekt. Jeg skal komme tilbake til anvendelser som angår store prosjekter, men det kan likevel være nyttig med noen eksempler med et litt bredere perspektiv først.

Utviklingen av en ny flymodell koster mange milliarder dollar, men samtidig vil det være katastrofalt for en stor flyprodusent om den neste modellen bommet på markedet. Om Boeing for eksempel satser på raske modeller som reduserer reisetiden, mens konkurransen tvinger flyselskapene til å fokusere på brennstofføkonomi, kan konkurrerende flyprodusenter raskt ta over betydelige markedsandeler. Av denne grunn velger Boeing å utvikle mange flymodeller parallelt, i den hensikt å forkaste alle modeller unntatt en. Om de bare satset på utviklingen av en modell ville de ikke ha noen valg av hva som skulle være den neste modell de skulle sette i produksjon. Ved samtidig å utvikle en alternativ modell skaffer deg seg en mulighet – men ikke en plikt – til å velge denne alternative modellen i stedet. Jo flere modeller de utvikler, desto større valgmulighet har de på et framtidig tidspunkt når de skal velge hvilken av modellene som skal settes i produksjon. En trenger ikke realopsjonsteori for å formulere en slik strategi, men ved å benytte realopsjonsteori kan Boeing anslå verdien av å utvikle en alternativ modell som grunnlag for å vurdere lønnsomheten av strategien og ta stilling til hvor mange alternative modeller de skal utvikle. (Mun 2002, s 27.)

Hva er verdien av leteaktiviteten på sokkelen? Letingen genererer ingen inntekter, men om en finner olje eller gass har en skaffet seg en opsjon til i neste omgang å gjøre videre lønnsomme investeringer. Forskning og produktutvikling i selskaper vil ha samme karakter. Farmasiindustrien bruker enorme beløp på å teste ut ulike stoffer som i de fleste tilfeller ikke vil ha den ønskede effekt, men kanskje finner de noen som gjennom videre omfattende investeringer kan utvikles til lønnsomme medikamenter. I alle tilfellene er hovedverdien en vekst-opsjon, en mulighet til utvide satsingene med flere lønnsomme investeringer.

Varmekraftverk kan bygges med forbrenningsovner som bare tar kull, bare gass eller bare olje, men de kan også bygges med forbrenningsovner som kan bruke alle typene brensel. Med en teknologi som kan bruke alle typer brensel, har kraftverket en mulighet – men ikke en plikt – til å skifte brensel om de skulle ønske det. De kan da produsere elektrisitet med det brensel som til enhver tid er billigst. En trenger ikke realopsjonsteori for å se at det er en fordel å kunne bruke det brensel som til enhver tid er billigst, men realopsjonsteorien gir oss en mulighet til å beregne hvor mye en slik fleksibilitet er verd. (se Brekke og Schieldrop, 2000).

Andre eksempler på opsjoner er opsjonen til å legge ned (Bjerkholt og Brekke, 1988; Dixit og Pindyck 1992) eller muligheten for å kunne skru av og på produksjonen (Brekke og Øksendal, 1994). Disse opsjonene har nok mest relevans for utvinning av naturressurser, så jeg skal ikke gå nærmere inn på dem her.

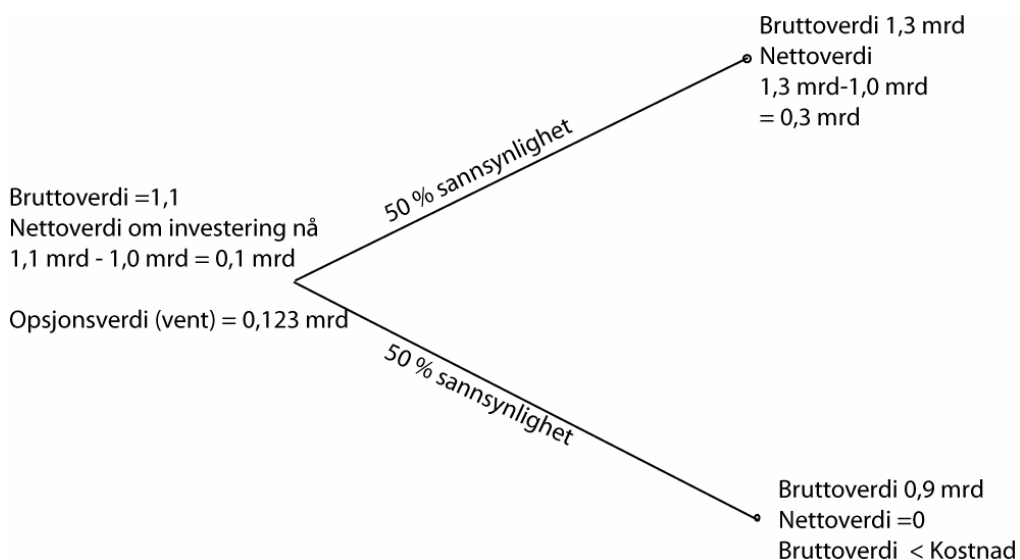
## 3 Hvordan beregne opsjonsverdi

Men hvordan kan vi så beregne verdien av opsjoner? Hovedideen bak realopsjoner kan illustreres med noen enkle eksempler.

### 3.1 Noen enkle regneeksempler

Vi ser da på et tenkt prosjekt og for å få fram hovedpoenget, skal jeg gjøre det svært stilisert i starten. Vi tenker oss at prosjektet er så klart spesifisert at den eneste beslutningen som gjenstår er om vi skal gjennomføre prosjektet eller ikke. Jeg antar også at det bare finnes to beslutningstidspunkter, nå eller om fem år. Også problemene med å regne miljøverdier og andre verdier om i kroner vil jeg i denne omgang se bort fra, og anta at nytteverdien av prosjektet er veldefinert men usikker. Derimot antar jeg at kostnadene er sikre. Det er vesentlig for metoden at nytte og kostnader lar seg tallfeste<sup>8</sup>, men ingen av de øvrige forutsetningene er essensielle, men de gjør det mulig å presentere tankegangen ved et enkelt regnestykke uten avansert matematikk.

La oss si at nytteverdien av prosjektet er usikker, men at forventningsverdien i utgangspunktet er 1,1 milliarder kroner, og at kostnadene er 1 milliard. Dette gir et nytte kostnadsforhold på 1,1 som er større enn en, og slik sett ser prosjektet ut til å være lønnsomt og en kunne anbefale at det settes i gang. Men siden nytteverdien er usikker kan det tenkes at den vil forandre seg i løpet av fem år. Jeg fortsetter med stiliserte forutsetninger og antar at forventet nytteverdi om 5 år er enten 900 millioner eller 1,3 milliarder med lik sannsynlighet (se Figur 1). Sett fra i dag er forventet verdi om fem år lik  $0,5 \cdot 0,9 \text{ mrd} + 0,5 \cdot 1,3 \text{ mrd} = 1,1 \text{ milliarder}$ , altså det samme som i dag, men poenget er at om fem år vil vi vite om den er 900 millioner eller 1,3 milliarder. Jeg antar videre at kostnadene vil være de samme om fem år, altså en milliard.



Figur 1 Opsjonsverdi, toperiodemodell. Se forklaring i tekst

<sup>8</sup> Det kan tenkes tilpasninger av metoden når vesentlige komponenter ikke lar seg tallfeste.

Et alternativ til å gjennomføre prosjektet nå er å vente i fem år og se. Dersom verdien øker til 1,3 milliarder vil verdi minus kostnader bli 0,3 milliarder. Dersom verdien derimot faller til 900 millioner, blir den mindre enn kostnadene og det vil være lønnsomt ikke å gjennomføre prosjektet. Om vi hadde gjennomført prosjektet ville det gitt et tap på 100 millioner, men vi har bare en rett og ingen plikt til å gjennomføre prosjektet, så alternativt kan vi skrinlegge prosjektet som gir en høyere nettoverdi lik 0 milliarder. Forventet nåverdi om fem år er da  $0,5 * 0 \text{ mrd} + 0,5 * 0,3 \text{ mrd} = 150 \text{ millioner}$ , 50 millioner mer enn om vi hadde gjennomført prosjektet med det samme. Med en rente på 4 % i året over 5 år, vil nåverdien være  $150 \text{ millioner} / 1,276 = 123 \text{ millioner}$ . Da dette er større enn verdien på 100 millioner vi realiserer ved å starte prosjektet umiddelbart, konkluderer vi med at det er lønnsomt å vente.

For å knytte det nærmere til den typen prosjekter som typisk vil falle inn under kvalitetssikringsregimet, kan vi tenke oss et prosjekt knyttet til transport-infrastruktur. Som Flyvbjerg m.fl. (2003) påpeker er det ikke bare kostnadssiden på slike prosjekter som er usikker, men også etterspørselen, som da gjerne avhenger av den generelle volumveksten for den aktuelle typen transport. Vil jernbanetrafikken øke eller avta de nærmeste tiårene, og hvor store endringer vil vi se innen biltrafikken? Særlig på jernbaneprosjekter finner Flyvbjerg at prognosene gjerne er altfor optimistiske og standardavviket er betydelig. La oss da tenke oss en jernbaneinvestering med kostnad 1 milliard, og der nyttesiden er proporsjonal med volumveksten i trafikken. Vi tenker oss at over en femårsperiode vil trafikken øke enten med 10 % eller falle med 10 %, med lik sannsynlighet. I utgangspunktet er prosjektet akkurat lønnsomt etter standard nyttekostnadsanalyser. Sannsynlighetene er risikonøytrale, så vi kan benytte en diskonteringsrate på 4 %.

Nyttesiden av prosjektet vil nå være representert ved følgende tabell.

Figur 2 *Nyttesiden (trafikkvolum) ved ulike tilstander/tidspunkt.*

2005	2010	2015	2020	2025	2030
1	1,1	1,21	1,33	1,46	1,61
	0,9	0,99	1,09	1,20	1,32
		0,81	0,89	0,98	1,08
			0,73	0,80	0,88
				0,66	0,72
					0,59

I utgangspunktet er altså nyttesiden av prosjektet en milliard. Men fem år senere vil det være 1,1 milliarder eller 0,9 milliarder avhengig av trafikktviklingen. Om vi beveger oss rett fram i tabellen svarer det til 10 % volumvekst. Alternativt kan en gå en linje ned i tabellen, som representerer et fall på 10 % i volum. De gitte antagelsene betyr at vi bare kan gå horisontalt eller ned ett trinn i tabellen som angitt ved piler et par plasser.

Antar vi at kostnadsanslagene ikke endrer seg over tid, så vil kostnadene alltid være en milliard. Nåverdien til prosjektet om det settes i gang, vil da være inntektssiden minus en milliard, og gitt ved følgende tabell.

Figur 3 *Nåverdi avhengig av tilstand og tidspunkt for oppstart av prosjektet*

2005	2010	2015	2020	2025	2030
0	0,1	0,21	0,33	0,46	0,61
	-0,11	-0,01	0,09	0,20	0,32
		-0,19	-0,11	-0,02	0,08
			-0,27	-0,20	-0,12
				-0,34	-0,28
					-0,41

For å forklare tabellen, ser vi på situasjonen i 2020, etter at trafikken har vokst en periode og falt i to perioder. Dette punktet i tabellen er markert med understreking og kursiv. I dette tilfellet vil trafikken være 89 % av det opprinnelige anslaget, og nyttesiden vil bli anslått til 0,89 milliarder. Om prosjektet settes i gang på dette tidspunktet vil det representere et tap på 0,11 milliarder.

Men selv om det ville vært et tapsprosjekt om det ble satt i gang med det samme, så betyr ikke det at opsjonen til å gjennomføre prosjektet er uten verdi. La oss se nærmere på verdien av opsjonen i 2020 etter en oppgang og to nedganger, som er gitt i Tabell 3. Denne er lik 13 millioner etter tabellen nedenfor. Ovenfor så vi at om vi hadde satt i gang utbygging på dette tidspunktet, så ville verdien vært -0,11 milliarder. Men ved å vente ser vi fra Tabell 3 at verdien blir enten 32 millioner eller 0 millioner, begge med lik sannsynlighet. Nåverdien blir da  $(32 \cdot 50 \% + 0 \cdot 50 \%) / 1.276 = 13$  millioner. (Merk at vi ser på femårsperioder, og med 4 % årlig rente gir det en diskonteringsrente på 27,6 % over fem år.) Siden dette er høyere enn verdien av å starte umiddelbart er det altså optimalt å vente. I andre situasjoner vil det gi en lavere nåverdi om vi venter enn om vi setter i gang investeringen med det samme, og det er da optimalt å starte investeringen umiddelbart. I Tabell 3 er disse tilstandene angitt med fete typer. Merk at opsjonsverdien aldri blir negativ, da en jo ikke har noen plikt til å investere.

Figur 4 *Verdien av prosjektet ved ulike tidspunkt og tilstander.*

2005	2010	2015	2020	2025	2030
0,051	0,104	0,210	0,331	0,464	0,610
	0,020	0,044	0,095	0,198	0,318
		0,005	0,013	0,032	0,078
			0	0	0
				0	0
					0

## 3.2 Dimensjonering

En kan lett gjøre tilsvarende regnestykker på mange ulike områder. Som et eksempel kan vi beregne verdien av å overdimensjonere et prosjekt. Et sykehus kan bygges større enn det i utgangspunktet er behov for. I første omgang kan en utnytte det ekstra arealet til å ha færre pasienter per rom, men jeg antar da at nytten av en slik anvendelse ikke forsvarer kostnadene. Det kan imidlertid tenkes at det senere engang vil være behov for å investere i en ny avdeling eller utvide en eksisterende avdeling. La oss si at det konkret er snakk om en ny avdeling som, gitt at bygningene står der, vil kreve en investering på 150 millioner kroner. I utgangspunktet er nettonytten bare vurdert til 100 millioner kroner, så det er ikke optimalt å investere i avdelingen nå.

Anta så at framtidig nytte av en ny avdeling er usikker, og den kan vokse med 20 % eller avta med 16,7 %, begge med lik sannsynlighet for hver femårs periode. Vi antar også at denne prosessen representerer risikonøytrale sannsynligheter, slik at en diskonteringsrate på 4 % kan benyttes. Selv om en slik utvidelse i utgangspunktet er ulønnsom, så vil opsjonen i utgangspunktet være verd over 3 millioner. Verdien i de ulike tilstandene kan settes opp i en tilsvarende tabell som ovenfor, der fete typer indikerer de tilstandene der det er optimalt å foreta utvidelsen, der altså nåverdien av å foreta utvidelsen nå er høyere enn nåverdien om vi venter.

Figur 5 *Verdien av muligheten til en utvidelse (vekstoppsjon)*

År 0	5	10	15	20	25	30	35
3,37	6,99	14,30	28,86	<b>57,36</b>	<b>98,83</b>	<b>148,60</b>	<b>208,32</b>
	1,22	2,71	5,93	12,85	27,42	<b>57,36</b>	<b>98,83</b>
		0,27	0,65	1,58	3,85	9,37	<b>22,80</b>
			0	0	0	0	0
				0	0	0	0
					0	0	0
						0	0
							0

### 3.3 Koblede prosjekter

Bergendahl (2002) benytter en realopsjonsanalyse på et jernbaneprosjekt i Malmö. Prosjektet er sammensatt av mange ulike strekninger som bygges ut som en helhet. Slik prosjektet er designet kan ikke investeringene taes i bruk før hele prosjektet er fullført, men alternative løsninger ville gjort det mulig å foreta utbyggigen etappevis og benytte de fullførte investeringene selv før neste etappe settes i gang. En slik trinnvis løsning ville gjort det mulig å få mer informasjon om trafikkgrunnlaget før en beslutter om en vil gå videre med neste etappe. For å verdsette den fleksibiliteten en slik løsning ville gitt, tar han i bruk realopsjoner.

Det vil falle utenfor rammene å gå gjennom detaljene i beregningene her, men framgangsmåten er lik det vi har sett ovenfor. To ulike institusjoner har laget prognoser for trafikkveksten; Intraplan spår en 3,1 % årlig tilvekst, mens Banverket spår 1,3 % årlig tilvekst. Med dette utgangspunkt lager han et tre lik de vi har sett i tabellene ovenfor, der den årlige vekstraten er 1,005 % eller 3,0 %. Om utgangspunktet er 70000 reisende per år, blir volumet reisende de ulike årene gitt ved følgende tre:

Figur 6 *Reisende per år på ulike år/ tilstander (beregnet etter Bergendahl 2002)*

2000	2005	2010	2015	2020
70 000	81149	94074	109058	126428
	73589	85310	98897	114649
		77362	89684	103968
			81328	94282
				85498

Volumet i 2020, vil altså ligge mellom 126 000 og 85 000. Med dette utgangspunktet kan han beregne forventet overskudd fra en ekstra investering. Ved å sammenligne forventet nåverdi med investeringskostnad kan han på samme måten som over, komme fram til opsjonsverdier og optimale investeringstidspunkt. Det vil føre for langt å gjengi alle beregningene her, detaljene finnes i Bergendahl (2002).

### 3.4 Fleksibel drift

I eksemplene ovenfor har vi bevart fleksibiliteten ved å utsette en irreversibel beslutning. En mer direkte form for fleksibilitet er når en gjør ekstra investeringer som skaffer en flere valgmuligheter i alle framtidige valg. Brekke og Schieldrop (2000) ser på valget mellom ulike brensel i varmekraftverk. Ved ekstra investeringer kan verkene bygges slik at de både kan fyres med olje og med gass. Anta at gass i utgangspunktet er billigst, og at olje ligger 10 % over i pris. Alternativet er da enten å bygge et rent gasskraftverk, eller å bygge ett som kan bruke begge typene brensel. Anta så at risikonøytrale sannsynligheter gir at oljeprisen kan øke med 5 % eller falle til 1/1,05 av nivået året før, begge deler med lik sannsynlighet, mens gassprisen antas å være uendret. (En mer realistisk antagelse er at begge prisene er usikre, men jeg holder meg til det enkleste eksemplet her.) Vi antar videre at forbrenningsovnen bare har en levetid på 10 år, også for å forenkle framstillingen. Oljepris-prosessen kan da framstilles ved følgende tabell, hvor det er lik sannsynlighet for å bevege seg horisontalt til høyre, og å gå ett trinn ned fra ett år til et annet.

Figur 7 *Oljepris ved ulike år og tilstander.*

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,1	1,16	1,21	1,27	1,34	1,40	1,47	1,55	1,63	1,71	1,79
	1,05	1,10	1,16	1,21	1,27	1,34	1,40	1,47	1,55	1,63
		1,00	1,05	1,10	1,16	1,21	1,27	1,34	1,40	1,47
			0,95	1,00	1,05	1,10	1,16	1,21	1,27	1,34
				0,91	0,95	1,00	1,05	1,10	1,16	1,21
					0,86	0,91	0,95	1,00	1,05	1,10
						0,82	0,86	0,91	0,95	1,00
							0,78	0,82	0,86	0,91
								0,75	0,78	0,82
									0,71	0,75
										0,68

Om vi nå ser på innsparingene ved å velge det billigste alternativet, versus bare å bruke gass, så er innsparingene relativt til gass gitt i Tabell 7. Merk at den fleksible teknologien vil alltid bruke det billigste brennstoffet, så innsparingen er aldri negativ. Når gass er det billigste alternativet er imidlertid innsparingen null, da begge teknologier vil bruke samme brensel.

Figur 8 *Innsparinger ved fleksibel teknologi versus ren gassovn.*

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0,002	0	0	0	0	0	0	0	0
			0,050	0,002	0	0	0	0	0	0
				0,095	0,050	0,002	0	0	0	0
					0,138	0,095	0,050	0,002	0	0
						0,179	0,138	0,095	0,050	0,002
							0,218	0,179	0,138	0,095
								0,256	0,218	0,179
									0,291	0,255
										0,325

De forventede innsparingene er da den forventede nåverdien av disse innsparingene, og med 4 % årlig diskontering blir det som gitt i Tabell 8.

Figur 9 *Forventede innsparinger, nåverdi ved ulike tidspunkt/tilstander.*

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,088	0,032	0,008	0,001	0	0	0	0	0	0	0
	0,151	0,057	0,016	0,003	0	0	0	0	0	0
		0,258	0,103	0,031	0,006	0	0	0	0	0
			0,428	0,183	0,059	0,012	0	0	0	0
				0,605	0,316	0,111	0,024	0,001	0	0
					0,745	0,441	0,204	0,049	0,001	0
						0,821	0,516	0,271	0,097	0,002
							0,819	0,514	0,270	0,095
								0,735	0,427	0,179
									0,570	0,255
										0,325

Valget mellom en fleksibel og en fast teknologi må gjøres på investeringstidspunktet. Det eneste tallet vi til slutt er interessert i fra Tabell 8, er derfor verdien i år null, altså hva er forventede innsparinger på investeringstidspunktet dersom vi velger den fleksible teknologien framfor den rene gassteknologien. Vi ser at den fleksible løsningen representerer en forventet innsparing på 8,8 % av de årlige brenselskostnadene en ville hatt med bare gass. Om dette overstiger de ekstra investeringskostnadene, så vil en slik investering i fleksibilitet lønne seg.



## 4 Forholdet til tradisjonell nytte-kostnadsanalyse

Realopsjonsteorien bygger på mange måter på tradisjonelle nytte-kostnadsanalyser. Alle beregningene ovenfor forutsetter at vi på ethvert tidspunkt kan beregne forventet nåverdi av prosjektet. Den viktigste forskjellen til den tradisjonelle nytte-kostnadsanalysen er at realopsjonsteorien tar hensyn til usikkerheten i anslagene, og ikke minst informasjonsstrukturen, det at en kan få ny informasjon over tid. I dette avsnittet skal jeg forsøke å oppsummere hvilke endringer det fører til sammenlignet med en tradisjonell nytte-kostnadsanalyse.

### 4.1 Positiv nåverdi er ikke nok

I henhold til en standard investeringsanalyse er et prosjekt lønnsomt dersom nåverdien er positiv. For statlige investeringer kunne det i prinsippet tenkes at det var flere lønnsomme prosjekter enn det var budsjettmessig dekning for. I det tilfellet skulle en velge de prosjektene som har den høyeste nåverdi (nytte-kostnader) per statlig budsjettkrone. I henhold til realopsjonsteorien, derimot, kreves det en strengt positiv nåverdi for at en utbygging skal være lønnsom. Grunnen til at en positiv nåverdi ikke er tilstrekkelig er at med usikkerhet kan det tenkes at nåverdien på det samme prosjektet hadde blitt enda høyere om en ventet.

En annen måte å se forskjellen på er hvilke alternative løsninger en vurderer. I den tradisjonelle analysen er det to alternativer (gitt at trasèvalg osv. er fastsatt):

- Gjennomfør prosjektet
- Skrinlegg prosjektet

Realopsjonsteorien innfører også et, eller egentlig mange flere, alternativ:

- Ikke gjennomfør prosjektet nå, men gjennomfør prosjektet på et framtidig tidspunkt betinget på ny informasjon som har kommet.

I henhold til realopsjonsteorien skal en gjennomføre prosjektet når nåverdien er lik opsjonsverdien, og opsjonsverdien er alltid positiv. Men det er ikke bare selve prosjektet som har opsjonsverdi. Gjennomføringen av prosjektet kan skape nye opsjoner/muligheter og ta bort andre, og dette vil påvirke anslagene både på kostnader og nytte.

### 4.2 Argument for høyere nåverdi

Selv om realopsjonsteorien vil anbefale å utsette mange prosjekter som er lønnsomme etter tradisjonell investeringsteori og nytte-kostnadsanalyse, så betyr det ikke at realopsjonsteorien utvetydig vil tilsi at færre prosjekter skal gjennomføres. Teorien tilsier også at flere poster skal legges til å nyttesiden av prosjekter, dette er ulike opsjonsverdier.

Et typisk eksempel er vekststasjoner. Vi nevnte flere ovenfor, men et eksempel som er mer relevant for vurdering av offentlige prosjekter er Svavarsson (2002). Han tar utgangspunkt i noen veiprosjekter hvor kostnadene i alle tilfellene overstiger nytten, men argumenterer for at det finnes vekststasjoner i tilknytning til prosjektene, for eksempel ved at en kan bygge tilknytningsveier som knytter de nye veistrekingene bedre sammen med eksisterende veier. Selv om slike ytterligere investeringer ikke i utgangspunktet er lønnsomme, så representerer opsjonene en verdi som i alle prosjektene Svavarsson så på førte til at nyttesiden oversteg kostnadene. Men som påpekt ovenfor betyr det ikke nødvendigvis at umiddelbar gjennomføring av prosjektene er lønnsomt.

### 4.3 Argument for høyere kostnader

Opsjonsverdier kan også bli plussset på på kostnadssiden. Utbyggingen av Alta-elva gjorde inngrep som ikke kan gjøres om senere. Så lenge naturen sto der urørt hadde mange mulighet – men ingen plikt – til å oppsøke og nyte denne naturopplevelsen. Denne opsjonen ble borte straks vassdraget var bygget ut<sup>9</sup>. Tilsvarende opsjonsverdier er gjerne – i kroner – den viktigste posten i miljøkostnadene til store prosjekter. Den er også en kontroversiell post da den er svært vanskelig å måle, men det er lagt ned en betydelig innsats innen forskningen på betinget verdsetting på å finne pålitelige måter å måle slike opsjonsverdier. Her er det ikke bare en opsjonsverdi som skal fastsettes, men summen av verdien hver enkelt av oss setter på denne muligheten. Og selv om den har liten verdi for den enkelte, så blir summen fort et svært stort beløp.

I forbindelse med rettsoppgjøret etter Exxon-Valdez ulykken ble amerikanere spurt om verdien av den ødelagte naturen. Gjennomsnittsamerikaneren oppga en betalingsvillighet på ca 10\$ for den ødelagte naturen (hva de ville vært villige til å betale for å få den tilbake til utgangspunktet). Denne betalingsvilligheten skal bl.a. gjenspeile den potensielle naturopplevelsen (altså den tapte opsjonen på å besøke det naturområdet som nå var skadet). Med over 250 millioner innbyggere, ble den totale verdien 2,5 milliarder dollar. Noen mindre poster kom i tillegg, så Exxon ble saksøkt av staten for 3 milliarder dollar, men det endelige forliket ble vesentlig lavere. En vesentlig del av denne verdien er en opsjonsverdi, men betalingsvilligheten gjenspeiler også det som kalles eksistensverdien, verdien for den enkelte av å vite at naturen på stedet var urørt.

---

<sup>9</sup> Tilsvarende opsjonsverdier kan komme til på nyttesiden, for eksempel får en nå muligheten til å oppsøke dammen, som for noen kan være et større trekkplaster enn den urørte naturen. Typisk vil imidlertid de relevante opsjonsverdien i forbindelse med et naturinngrep i hovedsak komme som tillegg på kostnadssiden.

## 5 Behov og effekt

I Concept-programmet, som denne rapporten inngår i, har det underliggende skjemaet for mye av diskusjonene har vært: Behov - mål - effekt. Tanken er her at utgangspunktet for prosjektet er behov som foreligger før planleggingsfasen begynner. Målene bør så i størst mulig grad gjenspeile disse behovene. Prosjektet blir så sett som vellykket dersom effekten av prosjektet svarer til behovene som forelå i utgangspunktet.

Realopsjonstankegangen passer ikke helt inn i dette skjemaet. Kontrasten illustreres karest med vekstposjoner og andre posjoner som legges til på nyttesiden av prosjektet. Dette er nytten av senere å kunne gjøre investeringer som møter behov som ennå ikke foreligger. Ved mange private investeringsprosjekter er disse nytteverdiene betydelige poster på nyttesiden, og kanskje hovedargumentet for å gå inn med en investering i første omgang.

Når Boeing bruker mangfoldige milliarder på å utvikle flere flymodeller samtidig er det vanskelig å forklare dette med et klart definert behov før utviklingen startet. Snarere kan en tenke seg mange behov. Kanskje vil flyselskapene om noen år etterspørre fly med lavere støy, eller større hastighet, eller kanskje bedre drivstofføkonomi. Kanskje vil de satse på mange avganger og middels store fly, eller presse prisene med få avganger med svært store fly. Men Boeing kan ikke vente i flere år før de ser hvilke behov flyselskapene da har, og om de utvikler modeller som svarer på behovene i markedet i dag, så er det slett ikke sikkert at de modellene vil svare på behovene som foreligger når utviklingsarbeidet er ferdig. Nettopp fordi behovene er uklare når prosjektet starter, velger de en løsning hvor de betaler mangfoldige milliarder dollar for opsjonen til å velge modell, og dermed hvilke behov de vil dekke, først når produksjonen skal settes i gang.

Kan Boeings strategi forstås i behov – mål - effekt skjemaet? En kan kanskje si at Boeing har behov for fleksibilitet, at de har behov for å kunne velge modell først når den settes i produksjon? Men det er ikke klart for meg at det er en hensiktsmessig måte å se problemstillingen. Et slikt ”behov” for fleksibilitet vil alltid være til stede i ethvert prosjekt. Et behov som alltid eksisterer er et dårlig utgangspunkt for styring av spesifikke prosjekter. I hvilken grad effekten av prosjektet er å dekke dette behovet virker også som et lite hensiktsmessig effektmål.

## 6 Nyttig informasjon?

Som et svar på mange budsjettoverskridelser i store offentlige prosjekt, har Finansdepartementet opprettet et system for kvalitetssikring av grunnlagsinformasjonen, der hensikten er å sikre et bedre beslutningsgrunnlag. Altså må en vente at en kvalitetssikringsrapport gir ny eller mer presis informasjon om lønnsomheten av prosjektet. Hvor mye og hvor god informasjonen er, avhenger bl.a. av hvor mye ressurser en setter inn på dette stadiet. En får ikke bare ny informasjon ved å vente, men også ved aktivt å søke den, eventuelt til en kostnad. Spørsmålet er så om den ekstra informasjonen er verd kostnadene.

### 6.1 Verdien av informasjon

Mer informasjon trenger ikke alltid ha noen verdi, og i sammenheng med realopsjoner har ny informasjon bare en verdi dersom framtidige beslutninger avhenger av den. Det enkle eksempelet i Figur 1 ovenfor kan illustrere dette poenget. I første periode har investeringen en nettoverdi på 0,1 milliarder, men som vi så blir verdien enda høyere om vi avventer mer informasjon. I regnestykket er sannsynligheten for at vi får negative nyheter 50 % og i dette tilfellet vil prosjektet ha negativ verdi, og det beste er ikke å gjennomføre det. Det er nettopp fordi vi ikke gjennomfører prosjektet når det har negativ verdi at det lønner seg å vente på ny informasjon.

La oss regne på det tilfellet der investeringen gjennomføres uansett hvilke nyheter vi får. Forventet verdi blir da  $0,5 * 0,3$  milliarder +  $0,5 * (-0,1)$  milliarder = 0,1 milliarder. I dette tilfellet blir nettoverdien 100 millioner enten vi venter eller ikke,<sup>10</sup> og 100 millioner på et senere tidspunkt er mindre verdt enn å få dem nå på grunn av renter. Grunnen til at det ikke lenger lønner seg å vente, er at vi ikke bruker informasjonen vi får. Selv når den nye informasjonen er negativ gjennomføres investeringen. Med andre ord, den framtidige beslutningen avhenger ikke av hvilken informasjon vi får, og da har informasjonen heller ingen verdi.

Dersom informasjonen blir brukt, men i liten grad, vil det også påvirke verdien av informasjonen og hvorvidt det er verd å vente på den. La oss fortsatt holde oss til det enkle eksempelet, men anta nå at prosjektet i andre periode blir gjennomført med 50 % sannsynlighet dersom en får negative nyheter, men helt sikkert om vi får positive nyheter. Informasjonen blir da klart brukt, men ikke fullt ut. Forventet verdi i andre periode er da  $0,5 * 0,3$  milliarder +  $0,5 * (50 \% * (-0,1))$  milliarder = 0,125 milliarder. Nåverdien med 4 % diskontering (som svarer til 27,6 % over en 5 års periode) er da 125 millioner/1,276 < 100 millioner, som betyr at det ikke lenger lønner seg å utsette prosjektet. Det lønner seg altså ikke lenger å vente på mer informasjon når vi likevel i liten grad utnytter den informasjonen.

<sup>10</sup> Dette er ingen tilfeldighet. Tallene er valgt slik at det ikke er antatt noen underliggende vekst i verdiene, opsjonsverdiene oppstår derfor utelukkende ved at en har muligheten til å tilpasse seg ny informasjon dersom en venter.

For å få et grovt anslag på betydningen av at informasjonen blir brukt i en mer realistisk sammenheng, la oss betrakte et oljefelt, der nåverdien av inntektene i utgangspunktet er 10 % over investeringskostnadene. Grunnen til dette valget er at den store usikkerheten knyttet til oljeprisen tilsier at opsjonsverdiene er særlig store i dette tilfellet. Om standardavviket i verdiveksten er 20 % per år, som samsvarer med funnene til Pindyck (1999), så vil opsjonsverdien av investeringsmulighetene være ca 36 % av investeringskostnadene. Om investeringen er på 10 milliarder, svarer dette til at feltet er verd 1 milliard om det bygges umiddelbart men 3,6 milliarder ved optimalt valg av investeringstidspunkt.

Beregningen av denne opsjonsverdien forutsetter at en på ethvert tidspunkt velger mellom å utsette prosjektet eller investere nå, og at en alltid velger det mest lønnsomme alternativet. La oss i stedet si at på hvert tidspunkt vil valget mellom å utsette eller investere nå bare til en viss grad gjenspeile lønnsomheten. Mer spesifikt antar jeg at sannsynlighetene for å investere nå og for å utsette det begge er proporsjonale med nåverdien av de ulike alternativene. Sannsynlighetene er også skalert slik at prosjektet helt sikkert ikke bygges om forventede inntekter faller til null. Men en slik politikk kan vi på tilsvarende måte som ovenfor beregne verdien av prosjektet, som vi da finner blir 1,1 milliarder, mens verdien ved å investere umiddelbart var 1,0 milliarder. Det er altså svært lite å hente ved å utsette prosjektet, særlig om vi sammenligner med verdien på 3,6 milliarder som ville blitt realisert om vi hadde brukt tilgjengelig informasjon fullt ut hele tiden. Jeg valgte her et eksempel hvor opsjonsverdien var ekstra store, men selv disse verdiene forsvinner om informasjonen i liten grad brukes. Spørsmålet er så om forutsetningene jeg i dette regnestykket har gjort om sammenhengen mellom lønnsomhet og beslutninger, om de forutsetningene er rimelige.

Regnestykket ovenfor basert på en forutsetning som impliserer at om verdien av å bygge prosjektet nå er like stor som opsjonsverdien så startes investeringen med 50 % sannsynlighet. En dobling av nyttesiden uten av opsjonsverdien endres ville føre til at sannsynligheten for at prosjektet startes øker til 67 %. Er det en rimelig antagelse? Som vi skal se nedenfor tyder studier på at kostnader og nytte har langt mindre påvirkning på beslutningene enn det vi her har forutsatt. Det er imidlertid vanskelig å sammenligne tallene, da modellen her er dynamisk mens analysene nedenfor studerer prioriteringer på ett bestemt tidspunkt.

## 6.2 Blir informasjon brukt?

Flere studier (Elvik, 1993, Odeck 1991 og 1996, Jansson og Nilsson 1989, Nilsson 1991) av beslutninger i vegsektoren har vist at det er liten, om i det hele tatt noen, sammenheng mellom anslag på nytte/kostnad og rangeringen av prosjekter. Heldigvis ser det ikke ut til å være fult så ille som at informasjonen overhodet ikke benyttes.

I prosessen som leder fram til Norsk veg og vegtrafikkplan skal alle veikontorene legge fram en prioritert liste over prosjekter. Fridstrøm og Elvik (1996) studerer så hva som forklarer disse prioriteringene. De benytter statistiske metoder som tillater dem å bruke praktisk talt all tilgjengelig informasjon fra nasjonal vegplan for om mulig å finne noen sammenheng mellom underlagsinformasjonen og rangeringen. De konkluderer med at:

*“Using a (near) maximum of available information from the National Road Plan, we find, unlike previous studies, that economic cost and benefit do have a statistically significant impact on the ranking. In absolute term, however, their impact is rather small, and in no way decisive.*

*Cost is revealed to be about twice as important as benefit. Among the benefit components, road user benefits (reduced vehicle operating costs, travel time savings and improved axle load tolerance) are the most decisive, while road owner savings in the form of reduced maintenance or ferry operating costs appear to have a surprising negative effect on ranking. Safety and noise abatement benefits have no significant effect.” (s. ..)*

Graver vi dypt nok i dataene kan vi altså finne spor som tyder på at grunnlagsinformasjonen ikke blir totalt ignorert, men konklusjonen er fortsatt at denne informasjonen ikke har avgjørende betydning for rangeringen. Betydningen av informasjonen kan illustreres med en tenkt rangering av to prosjekter, der begge prosjektene i utgangspunktet har like stor sannsynlighet for å bli rangert først<sup>11</sup>. Om nyttesiden av det ene prosjektet oppjusteres til det 10-doble, så øker sannsynlighetene for at dette prosjektet skal rangeres først, fra 50 % til 57,8 %. Tilsvarende om kostnadene for det ene prosjektet dobles, så faller sannsynligheten for at det skal rangeres først fra 50 % til 44,9 %.

Selv om den kvantifiserte grunnlagsinformasjonen i vegplanen ser ut til å ha liten betydning for rangeringene, så er det verd å merke at det foregår en omfattende innhenting av annen informasjon, som vi må anta har et formål. Representantene i samferdselskomiteen reiser landet rundt på befaring, og snakker bl.a. med lokale politikere og næringslivsfolk. Denne aktiviteten hadde neppe vært så omfattende om ikke representantene følte at den informasjonen dette ga dem var viktig for prioriteringen. Dette kan tyde på at de ikke kvantifiserbare inntrykkene en får fra en slik befaring er viktigere enn de tallfestede størrelsene som ligger i grunnlagsmaterialet. Særlig oppfatningen blant lokale politikere ser ut til å være viktig for prioriteringene. En av Høyres representanter i samferdselskomiteen på stortinget i perioden 1989-1993 uttrykte følgende: ”Forbaska mange Høyrefolk er formenn i aksjonsgrupper for veger på lokalplanet. Vi prøver å behandle dem pent, men må samtidig si at vi har begrensede rammer. Det er ikke helt enkelt” (Nyborg og Spangen, 1996, s. 11)

I kontrast til denne studien finner Carlsen m.fl. (1993) at bakgrunnsinformasjonen forklarer en betydelig del (88 % av variasjonen) av prioriteringene i Samlet plan for vassdragene. Det er interessante forskjeller i bakgrunnsvariablene i disse to tilfellene. I tilfellet med samlet plan ble det gitt karakterer fra -4 til +4 på en rekke forhold ved de ulike prosjektene. I denne prosessen var både eksperter og ulike interessenter involvert. Gitt denne karakterskalaen utarbeidet så Miljøverndepartementet en rangering, som deretter ble behandlet i stortinget. De ulike interessegruppene har altså hatt stor innflytelse på de karakterskalaene som utgjør bakgrunnsinformasjonen. Stortingsbehandlingen av planen førte til noen endringer i prioriteringene, disse endringene bidro til å redusere forklaringskraften til bakgrunnsvariablene.

Disse studiene kan tyde på at funnene fra samferdselssektoren ikke er representative. En av grunnene til dette kan være at rammene i samferdselssektoren er svært sjenerøse, en oppfatning som medlemmene av samferdselskomiteen delte. Nyborg og Spangen (1996) intervjuet stortingspolitikere om prioriteringene i denne planen. De skriver:

---

<sup>11</sup> Vi snakker om sannsynligheten for at et prosjekt A rangeres foran prosjekt B når rangeringen av prosjektene avgjøres av størrelser og forhold som ikke er observerbare for økonometrikere. Når valget avhenger av noe som er uobserverbart for økonometrikere vil det se ut som en stokastisk beslutning, selv om det ikke er det fra beslutningstaker sitt synspunkt.

*”Under intervjuene stilte vi spørsmål om hvilke prosjekter komiteen satt opp mot hverandre i vurderingen av Norsk veg- og vegtrafikkplan. Flere av informantene fortalte at prosjektene ikke ble satt opp mot hverandre eller ikke kan buske hvordan dette ble gjort. I intervjusituasjonen var det flere som stusset på spørsmålet, og det virket som de synes problemstillingen var fremmed.*

*En grunn til det kan være at komiteen ikke har vært nødt til å prioritere mellom prosjektene, fordi det har vært plass til de fleste ønsker innenfor rammen. ... i den grad de har tatt opp økninger eller kutt i bevilgningene, [har det] dreid seg om å ”støtte prioriteringer” eller komme med forslag til økninger, ikke å foreslå kutt.” (s. 26).*

Praktisk talt alle prosjekter fra vegkontorene sin liste blir før eller senere finansiert, så prioriteringene til vegkontorene kan snarere være uttrykk for oppfatninger om hvilke kommuner og distrikter som står for tur i denne runde. Til sammenligning er trolig prioriteringene i Samla Plan mer reelle.

En annen forklaring på forskjellene mellom samferdselssektoren og Samla Plan, kan også skyldes karakteren av bakgrunnsinformasjonen for Samla Plan. Mens anslag på kostnader for et prosjekt ikke normalt skal utarbeides gjennom en politisk prosess, så er grunnlagsinformasjonen i samlet plan gitt i form av en karakterskala som har vært gjenstand for en omfattende politisk behandling. Interessenter som ønsker bestemte prosjekter opp eller nedprioritert vil da kunne øve innflytelse på prioriteringen gjennom å påvirke karakterene som blir gitt til de ulike prosjektene. Dersom den reelle prioriteringen i realiteten ble gjort under utarbeidingen av karakterene, så er det ikke overraskende at disse karakterene i stor grad forklarer den endelige prioriteringen av vassdrag.

Informasjon som ikke endrer beslutningene har heller ingen verdi, og det er derfor avgjørende for anvendeligheten av realopsjonstankegangen at informasjon som kommer har påvirkning på prioriteringene. Dersom studiene fra samferdselssektoren er representative for hvilken innflytelse kostnadstall har for prioriteringen av prosjekter, så er det neppe realistisk å realisere betydelige opsjonsgevinster knyttet til offentlige investeringsprosjekter. Men før vi diskuterer det spørsmålet videre er det naturlig å spørre hva som eventuelt kan være årsaken til at bakgrunnsinformasjonen i liten grad påvirker prioriteringene.

En mulig grunn til at bakgrunnsinformasjonen i liten grad blir brukt kan være at kvaliteten er dårlig. Ikke bare er kostnadsanslagene altfor optimistiske, men det er også stor spredning i hvor godt de treffer. Noen få ganger blir kostnadene overvurdert, mens andre ganger blir faktiske kostnader det dobbelte av anslaget eller enda mer. Det kan være at beslutningstakerne mener denne informasjonen er så upålitelig at de legger lite vekt på den. Nyborg og Spangen (1998) (se også Nyborg, 1998) intervjuet alle medlemmer i samferdselskomiteén som behandlet veiplanen 1994-97 om deres bruk av nytte-kostnadsanalyser. Begge politikerne fra SV var negative til nyttekostnadsanalyser av prinsipielle grunner. Politikere fra høyresiden var mye mer positive til analysene, men mente at de ikke kunne danne grunnlaget for prioriteringer alene, da mange relevante aspekter ikke var tatt med i beregningene. Men ingen brukte kvaliteten på nytte og kostnadsanslagene som grunnlag for ikke å legge vekt på nyttekostnadsanalysene. Dette tyder på at kvaliteten på kost-nytte anslagene ikke er hovedgrunnen til at informasjonen ikke blir brukt.

Det finnes ikke noe objektivt svar på hva som er de rette prosjektene. Nytte-kostnadsanalyse bygger på en forutsetning om at det finnes en objektiv rangering, der en forutsetter at fordelingsproblemer kan håndteres med andre virkemidler. For eksempel vil

fattige personer bare kunne oppgi en begrenset betalingsvillighet selv for goder som er viktige for dem, mens rikere personer har mer å betale med og derfor høyere betalingsvillighet. Om det ikke korrigeres for slike forhold, vil nyttekostnadsanalyser derfor legge større vekt på interessene til de rike enn til de fattige. Men om dette var den eneste skjevheten ville både rike og fattige tjene på at en rangerte prosjekter ut fra en nytte-kostnadsbetraktning og samtidig overførte penger direkte fra rike til fattige. Dessuten kan det hevdes at det å vektlegge de fattiges interesser sterkere ved prioriteringer av store investeringer er et langt mindre treffsikkert virkemiddel en progressiv beskatning og overføringer, om en ønsker i større grad å møte de fattiges behov.

De grunnleggende problemene knyttet til nytte-kostnadsanalyser er velkjent; det er vanskelig å måle verdien av uhandgripelige verdier (se Diamond og Hausmann (1994) og Hanemann (1994) for to ulike sider av den diskusjonen), det er grunnleggende fordelingsproblemer (Brekke, 1997). Det er ingen prinsipielle problemer med å vektlegge noen grupperingers (for eksempel fattige) interesser sterkere enn andres i en nyttekostnadsanalyse. Problemet er at det ikke finnes noe objektivt svar på hvordan ulike grupperinger skal vektlegges. Til syvende å sist bunner problemene i at det er kjent at en ikke på en rimelig og logisk konsistent måte kan lage en preferanseordning som skal representere samfunnets preferanser som en aggregering av individuelle preferanser (Arrow, 1951).

En kunne tenke seg at grunnen til at anslag på nytte og kostnader tillegges liten vekt er at politikerne er uenige i den implisitte vektleggingen av ulike interesser. Fridstrøm og Elvik analyserer dette ved å se om de kan øke forklaringskraften ved alternative vektinger av den detaljerte informasjonen som ligger til grunn for anslagene på nytte og kostnader. De finner imidlertid at dette ikke øker forklaringskraften i særlig grad.

### 6.3 En forklaring basert på interessegrupper

Buchanon (1954) argumenterte i en kommentar til Arrow (1951) at ideen om en rangering som skulle representere samfunnets syn var meningsløs. Han mente at samfunnet ikke har verdier, preferanser og gjør valg, bare individer gjør valg og har preferanser. Samfunnet består av politikere, velgere, organisasjoner osv, alle med sine egne verdier og preferanser. Sluttresultatet følger av alle de individuelle valgene. Dette perspektivet ble videreutviklet i Buchanon og Tullock (1962), som la grunnlaget for Public Choice teorien, hvor f.eks. politikeres valg blir forklart som rasjonelle valg og hvor de vil ha egeninteresser i for eksempel å bli gjenvalgt. En forklaring i denne tradisjonen på at prosjektrangeringene i liten grad bygger på underliggende prosjektinformasjon, kan finnes langs en tankegang basert på Mancur Olsons (1965) klassiker, *The logic of collective action*. Mer imidlertid at dette er min tolkning, og at Olson, etter det jeg kjenner til, ikke har anvendt teoriene sine på å forklare prioriteringer av offentlige prosjekter.

Tenk på samfunnet som bestående av mange småsamfunn, og at ethvert prosjekt vil være til nytte for innbyggerne i ett lokalsamfunn, men av mer begrenset nytte for innbyggerne i andre lokalsamfunn. Typisk vil da prosjektet ha stor betydning for noen ganske få, kanskje opptil noen tusen personer, mens for statlige prosjekter vil kostnadene bli båret av alle, altså noen millioner innbyggere. Selv et prosjekt som koster en milliard vil koste den enkelte noen få hundrede kroner. Kostnadene er for små til å engasjere noen til å jobbe politisk mot prosjektet, dessuten argumenterer Olson for at store grupperinger har mye vanskeligere for å samle seg om en felles sak, bl.a. på grunn av gratispassasjerproblemer. For den mindre gruppen er det mye lettere å organisere en kamp for felles interesser, og



det er mer som står på spill. Politikere vil derfor ikke kunne stå imot det lokale presset for et prosjekt, mens de vil finne færre støttespillere for forsvare fellesskapets interesser. Lokalsamfunnets del av kostnadene er for små til å ha noen betydning for det lokale engasjementet, og det har da heller ingen betydning for om prosjektet blir vedtatt eller ikke. Vi skulle da ikke forvente noen korrelasjon med nyttekostnadsforholdet og sannsynligheten for at et prosjekt blir vedtatt.

I Nyborg og Spangen (1996) sine intervjuer med stortingspolitikere kom det fram at det var to forhold som ble tillagt stor vekt i stortingspolitikernes sine prioriteringer, det ene var lokale oppfatninger og det andre var virkningene av prosjektet for næringslivet. Dette er helt i tråd med Olson sine analyser, som skulle tilsi at de mindre grupperingene vil ha mye større gjennomslag enn store grupper og samfunnet som helhet.

Olson sine analyser ble senere utvidet av andre, Stigler (1971) og Peltzman (1976) utvidet modellen ved å modellere hvordan stemmetallet til ulike partier avhenger av hvilken politikk de ulike partiene fører. De følger Olson ved å anta at om en går mot et prosjekt som en mindre gruppe tjener på, så vil det koste dyrt i tapte stemmer innen den gruppen, mens de sparte kostnadene for større grupper vil gi seg mindre utslag i stemmer. Også mye empirisk forskning har vært gjort for å teste slike teorier, hvor den empiriske litteraturen i stor grad underbygger hovedelementene i teorien. For en oversikt se Mueller (1989), men det faller utenfor rammene av denne rapporten å gå videre med oversikt over denne litteraturen her.

Hva er implikasjonene av Olsons perspektiv? Om prosjektene i stor grad drives gjennom av lokale interessenter eller andre mindre interessegrupper som har særlig fordel av prosjektet, så kan det forklare at kostnader eller forholdet mellom nytte og kostnader har liten betydning. Kostnadene er det i hovedsak noen andre enn de sentrale interessentene som betaler, og nytten for dem er åpenbar uten noen nærmere analyse. Men om prioriteringene skjer på denne måten vil det neppe gi den beste anvendelsen av samfunnets ressurser. For å få bedre anvendelse av ressursene om denne beskrivelsen er treffende, så kreves det ikke mer kvalitetssikret grunnlagsmateriale, men reformer i måten beslutningene fattes, for eksempel ved at en langt større del av kostnadene bæres lokalt. Men slike anbefalinger vil kreve en mer omfattende empiriske testing av ulike teorier for hvordan prioriteringene foregår.

## 7 Blir de rette prosjektene vedtatt?

Selv om det ligger litt på siden av temaet for denne rapporten, er det nærliggende å påpeke noen viktige implikasjoner av funnene ovenfor. Det har vært mye oppmerksomhet knyttet til kostnadsoverskridelser i store offentlige investeringsprosjekter, og det har også vært spekulert i at grunnlagsinformasjonen for mange prosjekter er bevisst sminket for å gjøre det lettere å få prosjektet vedtatt. Store overskridelser er også noe av bakgrunnen for dagens kvalitetssikringsregime. Funnene ovenfor gir imidlertid, dersom de er representative, et interessant perspektiv på denne diskusjonen.

Flyvbjerg m.fl. (2003) viser at gjennomsnittlige kostnadsoverskridelser for et stort utvalg av megaprojekter er 28 %. For jernbaneprosjekter er trafikkanslagene sentrale for å anslå nyttesiden, og de ble i gjennomsnitt 39 % lavere enn anslått. Det er interessant å se disse resultatene i lys av Fridstrøm og Elviks (1996) modell og empiriske funn. Om vi da ser på to prosjekt, A og B, der den sanne bakgrunnsinformasjonen tilsier at begge har like stor sannsynlighet for å bli rangert først (av de to). Om nå prosjekt A rapporterer tallene riktig, mens B gir overoptimistiske anslag og overvurderer nyttesiden med 63 % (faktisk nytte 39 % lavere enn anslag) og undervurderer kostnadene med 22 %, (28 % kostnadsoverskridelser) så vil sannsynligheten for at B rangeres foran A øke fra 50 % til 52,6 %. Det finnes altså strategiske grunner til å lyve på kostnadsanslagene og nytteeffekten, men det er ikke veldig effektivt, i alle fall ikke innen samferdselssektoren.

Dersom grunnlagstallene for både A og B er like optimistiske vil sannsynligheten for at B rangeres først ikke endres da nytte og kostnader er like skjeve i begge tilfellene. Om alle prosjektervurderinger er akkurat like optimistiske ville det også være mulig å tilpasse en beslutningsregel basert på nyttekostnadsanalyser til graden av optimisme. Om vi nå først ser bort fra usikkerheten og antar at alle prosjekter ble akkurat 28 % dyrere enn anslått og at nytten i alle tilfellene ble akkurat 39 % lavere enn anslått, ser vi at

$$\frac{\text{Faktisk Nytte}}{\text{Faktiske kostnader}} = \frac{0,61}{1,28} \frac{\text{Anslått nytte}}{\text{Anslåtte kostnader}} = 0,477 \frac{\text{Anslått nytte}}{\text{Anslåtte kostnader}}$$

Prosjekter med faktisk nytte/kostnad større eller lik 1, vil da være karakterisert ved at anslått nytte/kostnad skal være større eller lik 2,1. Ingen nye utredninger, institusjoner eller forskning er nødvendig for å implementere en høyere terskelverdi. Tilsvarende vil gjelde for andre beslutningsregler, og om skjevhetene er så systematiske som Flyvbjerg finner, er det grunn til å tro at enhver erfaren politiker vil være kjent med at en kan forvente slike skjevheter. Dokumenterte generelle skjevheter i nytte og kostnadsanslag impliserer derfor ikke skjevheter i rangeringen av prosjektene, med mindre en finner at skjevhetene er større i noen typer prosjekter enn i andre. Men det utelukker det selvsagt heller ikke; om informasjonen ”sminkes” i stor skala er det grunn til å mistenke at noen prosjekter er vesentlig mer sminket enn andre, og at det dermed også blir skjevheter i faktiske prioriteringer. Funnene til Flyvbjerg m.fl. tegner dessuten et lite flatterende bilde

av den offentlige informasjonen som er tilgjengelig for store offentlige investeringsprosjekter. Et bilde som er moderne demokratier lite verdig.

Men om bakgrunnsinformasjonen har liten betydning, for eksempel fordi pådriverne bak prosjektene ikke er de som skal betale kostnadene, så kan det tyde på sminkingen av informasjonen har en begrenset effekt. Men ikke minst peker det på et langt mer grunnleggende problem med hvordan prosjekter prioriteres.

## 8 Konklusjon

Jeg håper gjennomgangen ovenfor har overbevist leseren om at det kan være betydelige opsjonsverdier knyttet til store investeringsprosjekter. Det er som vi har sett mange ulike slags opsjoner og størrelsen på opsjonsverdiene varierer med graden av usikkerhet og andre parametere i prosjektene, så det er vanskelig å si noe generelt. Om vi bare avgrensner oss til tidspunktet for igangsetting av prosjektet så fant vi, i det enkle regneksemplet ovenfor med usikker utvikling i trafikkvolumet, en opsjonsverdi på 5% av de totale kostnadene. Med større usikkerhet om trafikkutviklingen, eller om vi legger til andre usikre størrelser, så kan opsjonsverdien som andel av totale kostnader bli vesentlig større. Om en også legger til andre opsjoner, som vekstoppsjoner eller ulike former for fleksibilitet enten i driften eller gjennomføringen av koblede prosjekter, så kan det bidra til at de totale opsjonsverdiene blir enda større som en andel av kostnadene. Når bare veiplanen for 1994-1997 forvaltet 14 milliarder kroner, følger det at det er opsjonsverdier på mange milliarder er involvert.

Vi har også sett at opsjonsverdien avhenger av at ny informasjon om kostnader og nyttevirksomheter utnyttes fullt ut. Flere analyser tyder på at dette i liten grad er tilfellet. I vegsektoren ser det ut til at selv en mangedobling av kostnader eller av anslagene på nyttesiden bare har marginal betydning for rangeringen av prosjekter. Om dette er tilfelle er det neppe lønnsomt å utsette lønnsomme prosjekter i påvente av mer informasjon om nytte og kostnader. På den andre siden finner analyser av prioriteringene i Samla Plan for vassdrag at prioriteringene i stor grad forklares av en bakgrunnsinformasjon som er gitt i form av karakterskalaer som har vært gjenstand for politisk behandling. Dette kan skyldes at prioriteringene i vegsektoren ikke er representative for betydningen av bakgrunnsinformasjon, eller det kan gjenspeile at viktige interessenter har fått sine interesser ivaretatt gjennom karakterskalaene. At den politiske behandlingen i stortingset svekket forklaringskraften støtter den siste tolkningen. Jeg vil derfor konkludere med at bakgrunnsinformasjon ser ut til å ha så liten betydning at en generelt større bruk av realopsjonsteori neppe vil bedre offentlige investeringer i Norge i nevneverdig grad; vi kan se langt etter milliarder i opsjonsverdier så lenge ny informasjon i liten grad blir brukt.

Om det ikke er grunnlag for større bruk av realopsjoner på en generell basis, kan det være noe å hente på mer avgrensede områder. Fleksibilitet er langt mer enn bare et spørsmål om når et lønnsomt prosjekt skal igangsettes. I regneksempelene har jeg sett på fleksibilitet i forbindelse med dimensjonering, i forbindelse med koblede prosjekter og fleksibilitet i driftsfasen. Betydningen av ny informasjon om nytter og kostnader vil være ulik i de ulike sammenhengene. Fleksibilitet i driftsfasen vil forvaltes av ledelsen for den relevante bedriften/institusjonen, og beslutningene kan da i mindre grad være et uttrykk for en interessekonflikt mellom ulike grupper. En nærliggende hypotese er da at ny informasjon om kostnadsforhold vil få større betydning i denne sammenheng enn den ser ut til å ha for prioriteringen av prosjekter i vegsektoren. I sammenhenger hvor det er en beslutningstaker vil verdien av ny informasjon forventes å være større. I tilfeller med stor usikkerhet og hvor enkelte beslutninger sterkt begrenser framtidige valgmuligheter, så er det da sterkt tilrådelig å søke å tallfeste opsjonsverdier som da kan være betydelige.

---

Anvendeligheten av realopsjonsteorien i store offentlige investeringsprosjekter er altså stekt avhengig av i hvilken grad ny informasjon påvirker prioriteringene, men på dette området er det empiriske grunnlaget tynt. De empiriske analysene gir ingen helt klare svar på hvordan bakgrunnsinformasjonen brukes. Jeg har skissert hvordan Olsons teorier kunne forklare den svake sammenhengen mellom kostnadsanslag og prioriteringer, men jeg kjenner ikke til noen empirisk testing på norske data av en slik modell eller andre alternative forklaringsmodeller. De empiriske funnene som foreligger tyder imidlertid på at det er stort behov for mer kunnskap om hvordan prioriteringene foretaes og hva det er som er avgjørende for disse prioriteringene. Noen av funnene kan tyde på at både realopsjonsteorier så vel som ulike kvalitetssikringsregimer bare blir kosmetiske forbedringer i et regime som krever langt mer fundamentale endringer.

## Referanser

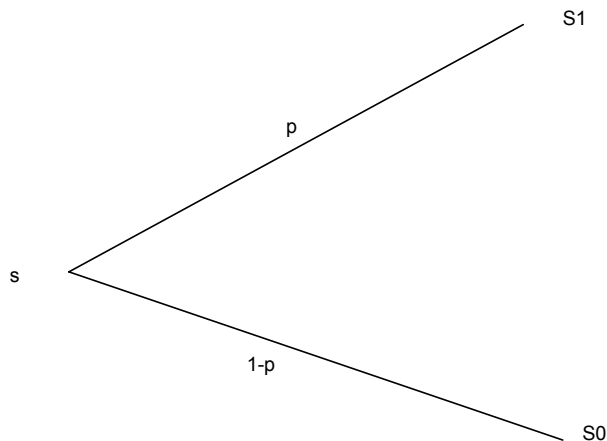
- Arrow, Kenneth John 1951, *Social Choice and Individual Values*. New York: John Wiley and Sons.
- Arrow, Kenneth John and Anthony Fisher, 1974, "Environmental Preservation, Uncertainty and Irreversibility", *Quarterly Journal of Economics*, 88, 312-319.
- Bergson, A. 1938, A reformulation of certain aspects of Welfare Economics, *Quarterly Journal of Economics*, 52, 314-344.
- Bjerkholt, Olav og Kjell Arne Brekke, 1988, Optimal Starting and Stopping Rules for Resource Depletion when Price is Exogenous and Stochastic, Statistics Norway: Discussion Paper, No 40.
- Black, Fisher and Myron Scholes, 1973, "The Pricing of Options and Corporate Liabilities" *Journal of Political Economy*, 81, 637-659.
- Brekke, Kjell Arne, 1997, The Numéraire Matters in Cost-Benefit Analysis, *Journal of Public Economics*, 64, 117-123.
- Brekke, Kjell Arne og Bernt Øksendal, 1994, Optimal Switching in an Economic Activity under Uncertainty", *SIAM Journal of Optimization*, **32**, pp 1021-1036.
- Brekke, Kjell Arne og Bjarne Schieldrop 2000, "Investment in Flexible Technologies under Uncertainty", in Brennan and Trigeorgis (eds) *Project Flexibility, Agency, and Competition*. New York: Oxford University Press.
- Buchanan, J.M 1954, Social Choice, Democracy, and Free Markets, *Journal of Political Economy*, 62, 114-23
- Buchanan, J.M. and G. Tullock 1962, *The Calculus of Consent*, Ann Arbor: University of Michigan Press.
- Carlsen, A. J., J. Strand, et al. 1993, "Implicit Environmental Costs in Hydroelectric Development: An analysis of the Norwegian Master Plan for Water Resources." *Journal of Environmental Economics and Management* 25: 201-211.
- Diamond, P.A. and J.A. Hausman, 1994, Contingent Valuation: Is some number better than no number? *Journal of Economic Perspectives*. 8, 45-64.
- Dixit, Avinash K. og Robert S. Pindyck, 1992: *Investment under Uncertainty*, Princeton: Princeton University Press.
- Elvik, Rune, 1993, Hvor rasjonell er trafikksikkerhetspolitikken? Rapport 175, Transportøkonomisk institutt, Oslo.

- Flyvbjerg, Bent, Nils Bruzelius and Werner Rothengatter, 2003. *Megaprojects and Risk; An anatomy of ambition*, Cambridge University Press
- Fridstrøm, Lasse og Rune Elvik, 1997, The barely revealed preferences behind road investment priorities, *Public Choice*, 92, 145-168.
- Hanemann, W. M. 1994, Valuing the Environment through Contingent Valuation, *Journal of Economic Perspectives*, 8, 19-43.
- Harsanyi, J. C. 1955, Cardinal Welfare, Individualistic Ethics and Interpersonal Comparison of Utility, *Journal of Political Economy*, 63, 309-321.
- Henry, Claude, 1974a "Option Values in the Economy of Irreplaceable Assets", *Review of Economic Studies*, 41, 89-104.
- Henry, Claude, 1974b: "Investment Decisions under Uncertainty: The Irreversibility Effect", *American Economic Review*, 64, 1006-1012.
- Hicks, U.K. 1947, *Public Finance*, London: Nisbet.
- Jansson, J.O. og J.-E. Nilsson 1989, Spelar samhällsøkonomiska kalkyler någon verklig roll i vägvesendet? *Ekonomisk Debatt*, No 2, 85-95.
- Kocherlakota, Narayana R. 1996, "The Equity Premium: It's Still a Puzzle", *Journal of Economic Literature*, 34(1), pp. 42-71.
- Mun, Jonathan, 2002: *Real Options Analysis; Tools and Techniques for Valuing Strategic Investments and Decisions*, Hoboken: John Wiley & Sons.
- Nilsson, J.-E. 1991, Investment decisions in a public bureaucracy: A case study of Swedish road planning practices. *Journal of Transport Economics and Policy*, 10, 163-175.
- Norges Offentlige Utredninger, NOU 1998: 16, Nytte-kostnadsanalyser. Veiledning i bruk av lønnsomhetsvurderinger i offentlig sektor. Statens Forvaltningstjeneste.
- Nyborg, K. 2002, Miljø og nyttekostnadsanalyse: Noen prinsipielle vurderinger, Frischsenteret: Rapport 5/2002.
- Nyborg, Karine og Inger Spangen, 1996: "Politiske beslutninger om investeringer i veger; Intervjuer med medlemmene i Stortingets samferdselskomite, TØI notat 1026/1996.
- Odeck, James, 1991, Om nytte-kostnadsanalysenes plass i beslutningsprosessen i vegsektoren. *Sosialøkonomen*, Nr. 3, 10-15
- Odeck, James, 1996, Ranking of regional road investments in Norway: Does socioeconomic analysis matter? *Transportation* 23, 123-140.
- Olson, Mancur Jr. 1965, *The Logic of Collective Action; Public goods and the theory of groups*, Cambridge: Harvard University Press.
- Olson, Mancur Jr. 1982, *The Rise and Decline of Nations*,

- Peltzman, S. 1976, Towards a More General Theory of Regulation? *Journal of Law and Economics*, 19, 211-240.
- Pindyck, Robert 1999, "The Long-Run Evolution of Energy Prices", *The Energy Journal*, 20, 1-27.
- Rawls, J.A. 1971, *A Theory of Justice*, Mass: Belknap Press.
- Sagoff, Mark. 1988, *The Economy of the Earth; Philosophy, Law and the Environment*, Cambridge University Press
- Samuleson, P.A. 1947, *Foundation of Economics Analysis*, Cambridge: Harvard University Press
- Sen, A. K. 1970, *Collective Choice and Social Welfare*, San Francisco: Holden Day.
- Stigler, G.J. 1971, The theory of Economic Regulations, *Bell Journal of Economics and Management Science*, 2, 137-146.
- Svavarsson, D. 2002, Road Investment Valuation - a Real Options Approach. Working Paper, Department of Business Administration, School of Economics and Commercial Law at GU., Göteborg



## A Risikonøytrale sannsynligheter



Figur 10 Forenklet eksempel med to mulige utfall

Vi tenker oss to tidspunkter, nå og ved kontraktsinnløsning. Den underliggende aksjen står i dag i en kurs  $s$  men kan enten vokse til en kurs  $S1$  med sannsynlighet  $p$  eller avta til en kurs  $S0$  med den resterende sannsynlighet. I praksis vil det selvsagt være mange flere mulige kurser og mange flere tidspunkter, og den generelle teorien dekker selvsagt de situasjonene, men jeg skal her som sagt forklare prinsipper så enkelt så mulig så derfor denne stiliserte forutsetningen.

Anta nå en stund at en kan handle i en spesiell type verdipapirer, ett verdipapir som gir en utbetaling på en krone ved kontraktstidspunktet om kursen er  $S1$ . La  $Q1$  være markedsprisen på et slikt verdipapir. Tilsvarende er  $Q0$  markedsprisen på et verdipapir som gir en utbetaling på en krone dersom kursen blir  $S0$ . Om du kjøper ett av hvert av disse verdipapirene får du en utbetaling på en krone uansett hvilken tilstand som materialiserer seg, det er altså det samme som en sikker utbetaling på en krone. En sikker utbetaling på en krone kan du også få ved å kjøpe en statsobligasjon pålydende en krone med utbetaling på kontraktstidspunktet. Om den risikofrie renten er  $r$  så blir verdien av en slik obligasjon  $1/(1+r)$ . Siden de to verdipapirene gir samme utbetaling som en slik obligasjon, så må de ha samme pris, om det ikke skal være muligheter for arbitrasje. Det følger da at

$$Q1 + Q2 = 1/(1+r)$$

La nå  $q1=Q1(1+r)$  og  $q0=Q0(1+r)$ . Det følger da at  $q1+q2=1$ , som om det var sannsynligheter, og det er nettopp sannsynligheter vi skal betrakte det som. Vi bytter da ut sannsynligheten  $p$  med  $q1$  som vi forenkler og kaller  $q$  og  $1-p$  med  $q0$  som da også er lik  $1-q$ .

Hva blir nå verdien av et verdipapir som gir en utbetaling på  $x1$  kroner om tilstanden blir  $S1$ , og  $x0$  kroner om det blir  $S0$ . Et slikt verdipapir er ekvivalent med en portefølje med

$x_1$  enheter av verdipapiret som gir utbetaling en krone ved  $S_1$ , og  $x_0$  enheter av det som gir utbetaling ved  $S_0$ . Prisen på en slik portefølje er

$$x_1 Q_1 + x_0 Q_0 = (q x_1 + (1-q)x_0) / (1+r) = E^*(x) / (1+r)$$

der  $E^*$  betegner forventningsverdi i henhold til de nye sannsynlighetene. Verdien av verdipapiret er altså forventet verdi med de nye sannsynlighetene, neddiskontert med den risikofrie renten. Ingen ytterligere risikjustering er nødvendig! Dette er grunnen til at sannsynlighetene  $q$  betegnes risikonøytrale sannsynligheter.

Men hvordan finner vi så disse sannsynlighetene i praksis? En generell diskusjon av det spørsmålet faller utenfor rammene her, så jeg nøyer meg med en antydning. Anta at den framtidige nytten  $B_t$  i år  $t$  fra prosjektet er usikker, og at den kan beskrives av ved ligningen

$$\ln B_{t+1} = \ln B_t + a + u_t$$

der  $u_t$  er en stokastisk variabel. Betrakt så en aksje med samme risiko (avhengig av hvordan  $u_t$  samvarierer med markedsporteføljen) for at markedet skal være villig til å sitte på den aksjen må den gi en avkastning som kompenserer for risikoen. La den avkastningen markedet krever være  $b$ . Det er imidlertid to måter en aksje kan gi avkastning på, enten gjennom utbytte til eierne eller kursstigning. La  $\delta$  være utbytteraten som må betales for at kursstigningen skal være lik  $a$ . Det viser seg da at å regne med risikonøytrale sannsynligheter svarer til å bytte ut den faktiske prosessen med

$$\ln B_{t+1} = \ln B_t + (r - \delta) + u_t$$

der  $r$  er den risikofrie renten.

I stedet for å neddiskontere framtidige inntekter sterkere på grunn av usikkerheten, sier dette at en heller skal nedjustere forventet volumvekstrate i trafikkprognosene, og deretter neddiskontere som om det ikke var noen usikkerhet.



[www.concept.ntnu.no](http://www.concept.ntnu.no)

Forskningsprogrammet Concept skal utvikle kunnskap som sikrer bedre ressursutnyttning og effekt av store statlige investeringer. Programmet driver følgeforskning knyttet til de største statlige investeringsprosjektene over en rekke år. En skal trekke erfaringer fra disse som kan bedre utformingen og kvalitetssikringen av nye investeringsprosjekter før de settes i gang.

Concept er lokalisert ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet i Trondheim (NTNU), ved institutt for bygg, anlegg og transport. Programmet samarbeider med ledende norske og internasjonale fagmiljøer og universiteter, og er finansiert av Finansdepartementet.

*The Concept research program aims to develop know-how to help make more efficient use of resources and improve the effect of major public investments. The Program is designed to follow up on the largest public projects over a period of several years, and help improve design and quality assurance of future public projects before they are formally approved.*

*The program is based at The Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Department of civil and transport engineering. It cooperates with key Norwegian and international professional institutions and universities, and is financed by the Norwegian Ministry of Finance.*

**Address:**

The Concept Research Program  
Høgskoleringen 7A  
NO-7491 NTNU  
Trondheim  
NORWAY

Tel.: +47 73 59 46 40

Fax.: +47 73 59 70 21

ISSN: 0803-9763

ISBN: 82-92506-18-7

 **NTNU**  
Det skapende universitet

