

Harald Minken  
Odd I Larsen  
John Håvard Braute  
Stein Berntsen  
Thorleif Sunde  
TØI rapport 1011/2009

**tøi** ..... Transportøkonomisk institutt  
Stiftelsen Norsk senter for samferdselsforskning



## Konseptvalgutredninger og samfunnsøkonomiske analyser





# Konseptvalgsutredninger og samfunnsøkonomiske analyser

Harald Minken, Odd I Larsen, John Håvard Braute, Stein Berntsen og Thorleif Sunde

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

---

**Tittel:** Konseptvalgsutredninger og samfunnsøkonomiske analyser

**Forfattere:** Harald Minken  
Odd I Larsen  
John Håvard Braute  
Stein Berntsen  
Thorleif Sunde

**Dato:** 04.2009

**TØI rapport:** 1011/2009

**Sider** 182

**ISBN Papir:**

**ISBN Elektronisk:** 978-82-480-0962-7

**ISSN** 0808-1190

**Finansieringskilde:** Jernbaneverket  
Statens vegvesen Vegdirektoratet

**Prosjekt:** 3460 - Konseptvalgutredninger og samfunnsøkonomisk analyse - forprosjekt

**Prosjektleder:** Harald Minken

**Kvalitetsansvarlig:** Hanne Samstad

**Emneord:** Nytte-kostnadsanalyse

**Sammendrag:**

På oppdrag av Statens vegvesen og Jernbaneverket har vi vurdert behovet for egne metoder og verktøy for samfunnsøkonomiske analyser på konseptvalgsstadiet. Vår hovedkonklusjon er at eksisterende modeller og beregningsverktøy er velegnet også for dette formålet. Det trengs imidlertid opplæring.

For øvrig kan det trenges videre modellutvikling for storbyområdene. Usikkerhetsanalyse og finansieringsanalyse må inngå i konseptvalgutredningen. Endelig trengs det avklaring av spørsmål om endelig rangering og anbefaling av alternativ, hvordan systematisk usikkerhet skal gjenspeiles i nyttekostnadsanalysen, og NTP-målenes plass i konseptvalgutredningen.

**Title:** Economic appraisal at the choice-of-concept stage in major transport projects

**Author(s):** Harald Minken  
Odd I Larsen  
John Håvard Braute  
Stein Berntsen  
Thorleif Sunde

**Date:** 04.2009

**TØI report:** 1011/2009

**Pages** 182

**ISBN Paper:**

**ISBN Electronic:** 978-82-480-0962-7

**ISSN** 0808-1190

**Financed by:** Norwegian National Rail Administration  
The Norwegian Public Roads Administration

**Project:**

**Project manager:** Harald Minken

**Quality manager:** Hanne Samstad

**Key words:** Cost-benefit analysis

**Summary:**

A new, early decision point, called Choice of Concept, has been introduced in Norwegian planning of large public projects. Commissioned by the Norwegian Public Roads Administration and the Norwegian Rail Authority, we have assessed the need for new methods and tools to perform Cost Benefit Analysis at this stage. Our main conclusion is that existing models and methods are well suited for this task also. Some model development connected to urban transport models is however called for. Also, users need to be made more aware of the possibilities of existing tools. Analyses of uncertainty and financing will have to be incorporated in the early appraisal. A few other of our proposals will have to be decided upon at the level of the Ministry.

Language of report: Norwegian

---

*Rapporten utgis kun i elektronisk utgave.*

*This report is available only in electronic version.*

---

Transportøkonomisk Institutt  
Gaustadalleen 21, 0349 Oslo  
Telefon 22 57 38 00 - [www.toi.no](http://www.toi.no)

Institute of Transport Economics  
Gaustadalleen 21, 0349 Oslo, Norway  
Telefon 22 57 38 00 - [www.toi.no](http://www.toi.no)

# Forord

Den samfunnsøkonomiske analysen og trafikkanalysen i en konseptvalg-utredning (KVU) vil ofte måtte klare seg med mindre detaljerte opplysninger om konseptene enn det som er vanlig i konsekvensanalyser ellers. Statens vegvesen og Jernbaneverket har derfor igangsatt et forprosjekt med hovedmål å vurdere og skissere en egnet metode for samfunnsøkonomiske analyser på dette tidlige stadiet i planprosessen. TØI fikk i oppdrag å gjennomføre forprosjektet i samarbeid med Møreforskning, ViaNova og Dovre Group.

Harald Minken, TØI, har ledet forprosjektet, med Odd I. Larsen, Møreforskning, John Håvard Braute, ViaNova og Thorleif Sunde og Stein Berntsen fra Dovre som prosjektmedarbeidere. Anne Kjerkreit, Statens vegvesen, og Hans Otto Hauger og Frode Hjelde, Jernbaneverket, har vært kontaktpersoner fra oppdragsgiverne og har bistått med kontakt til de ansvarlige for gjennomførte konseptvalgutredninger og materiale om utredningene. De har også kommet med nyttige kommentarer og innspill undervegs. Vi takker dem, de som svarte på vår spørreundersøkelse og alle andre som har vist stor interesse for prosjektet.

Rapporten er skrevet i fellesskap av prosjektmedarbeiderne. Sekretær Trude Rømming har bistått med avsluttende tekstbehandling.

Oslo, april 2009  
Transportøkonomisk institutt

*Lasse Fridstrøm*  
instituttssjef

*Kjell Werner Johansen*  
avdelingsleder



# Innhold

## Sammendrag

## Summary

<b>1 KVV og KS1 i samferdselssektoren.....</b>	<b>1</b>
1.1 KS1-ordningen.....	1
1.2 KS1 i samferdsel.....	2
<b>2 Prosjektet .....</b>	<b>3</b>
2.1 Oppdraget .....	3
2.2 Vår tilnærming og organisering av rapporten.....	3
<b>3 Metoder og verktøybruk i gjennom-førte konseptvalgutredninger på samferdselsområdet .....</b>	<b>5</b>
3.1 Innledning .....	5
3.2 Sammenfatning av spørreundersøkelsen .....	5
3.3 Metodevalg i gjennomførte KS1 .....	12
<b>4 Systematisk metode ved prioritering mellom konseptalternativer .....</b>	<b>18</b>
4.1 Innledning .....	18
4.2 Problemstillingen.....	19
4.3 Vårt utgangspunkt.....	19
4.4 Prosjektutløsende behov og overordede mål .....	20
4.5 En hovedkilde til krav: De nasjonale transportpolitiske målene .....	21
4.6 Kilder til krav.....	24
4.7 Indikatorer .....	25
4.8 Konsekvensmatrisen .....	29
4.9 Framgangsmåter .....	30
4.10 Konklusjon.....	36
<b>5 Konseptbegrepet i konseptvalgutredninger.....</b>	<b>37</b>
5.1 Generelt om konseptbegrepet .....	37
5.2 Spesielt om konseptvalg i forbindelse med KVV .....	38
5.3 Anbefalinger .....	40
<b>6 Minstekrav til nyttekostnadsanalyse i KVV.....</b>	<b>41</b>
6.1 Behandling av nytte og kostnad i de 12 KVV-ene .....	41
6.2 Grovvurdering av nytte og kostnader .....	42
6.3 Minstekrav til data for en grovvurdering av nytte og kostnader .....	43
<b>7 Bruk av EFFEKT .....</b>	<b>48</b>
7.1 Innledning .....	48
7.2 Når kan vi bruke EFFEKT?.....	48
7.3 Hvordan kan vi bruke EFFEKT på forenklet måte?.....	50
7.4 Minimum databehov .....	53

<b>8</b>	<b>Bruk av transportmodell</b>	<b>58</b>
8.1	Når kan vi bruke eksisterende transportmodeller?	58
8.2	Akseptable forenklinger	64
8.3	Minimums databehov	65
<b>9</b>	<b>Utredningsbehovet i tilknytning til bypakker</b>	<b>66</b>
9.1	Finansieringsanalyse	66
9.2	Beslutningssituasjonen	69
9.3	Handlingsrommet	70
9.4	Utredningsbehovet	70
9.5	Konklusjon	72
<b>10</b>	<b>Behandlingen av usikkerhet</b>	<b>74</b>
10.1	Betydningen av å ta hensyn til usikkerhet i KVVU	74
10.2	Krav om usikkerhetsanalyse	75
10.3	Metodikk for usikkerhetsanalyse	76
10.4	Behandling av systematisk risiko	79
10.5	Konklusjon	84
<b>11</b>	<b>Eksempler</b>	<b>85</b>
11.1	Oppdraget	85
11.2	Grovvurdering av nytte og kostnader – Lavik-Skei	85
11.3	Karaktersetting – Langangen-Grimstad	89
<b>12</b>	<b>Konklusjoner</b>	<b>92</b>
12.1	Kort svar på hovedproblemstillingene	92
12.2	Behov for endringer i opplegg av konseptvalgs-utredningen	93
12.3	Behov for verktøyutvikling	94
12.4	Behov for veiledning og opplæring	95
12.5	Behov for avklaringer	95
12.6	Videreføring i hovedprosjekt?	95
	<b>Litteraturliste</b>	<b>97</b>

**VEDLEGG:**



**Sammendrag:**

# Konseptvalgsutredninger og samfunnsøkonomiske analyser

*Etter en ny ordning (KS1-ordningen) skal valget av prinsipiell løsning (konseptvalget) i alle store statlige prosjekter regjeringsbehandles før videre planlegging kan starte. I samferdselssektoren kalles grunnlagsdokumentet for denne beslutningen en konseptvalgsutredning. I denne rapporten vurderer vi behovet for nye verktøy og metoder for å foreta samfunnsøkonomiske analyser i slike utredninger.*

KS1-ordningen ble innført i 2005 og har til hensikt å sikre at konseptvalget i store statlige prosjekter undergis reell politisk styring. Som underlag for den politiske behandlingen av konseptvalget skal det utarbeides fire dokumenter: En behovsanalyse, et overordnet strategidokument, et overordnet kravdokument og en alternativanalyse. Samferdselsdepartementet og Finansdepartementet har fastsatt retningslinjer for KS1 i samferdselssektoren, datert 10. februar 2007. I samferdselssektoren kalles de fire dokumentene under ett for en *konseptvalgsutredning (KVU)*. Det er gjennomført rundt 13 KVU-er til nå, de fleste av Statens vegvesen, men også et par av Jernbaneverket og én i felleskap.

Det er usikkerhet rundt hvordan den samfunnsøkonomiske analysen og trafikkanalysen bør gjøres i KVU, der en har mindre detaljerte opplysninger om de aktuelle konseptene. Statens vegvesen og Jernbaneverket har derfor ønsket å gjennomføre et forprosjekt med hovedmål å vurdere og skissere en egnet metode for samfunnsøkonomiske analyser på dette tidlige stadiet i planprosessen. Den foreliggende rapporten er sluttrapporten i dette forprosjektet.

Tre punkter skulle spesielt behandles i forprosjektet:

1. En vurdering av hvilket detaljeringsnivå som er rett/påkrevd for samfunnsøkonomiske analyser av konseptvalgutredninger
2. En vurdering av alternative måter å gjøre trafikkanalyser og samfunnsøkonomiske analyser på et tidlig stadium. Ett alternativ skal anbefales. Vurderingen skal blant annet omfatte en vurdering av egnetheten til etatens eksisterende verktøy for trafikkanalyser og samfunnsøkonomiske analyser – og evt. mulighet for forenklinger av disse metodene. Forslaget bør være konkret med hensyn på hvilke faktorer og forutsetninger som bør inngå i den samfunnsøkonomiske analysen
3. Presentasjon av et eksempel der metoden er benyttet. Eksemplet kan være konkret eller tenkt. Eksemplet skal vise hvordan den samfunnsøkonomiske analysen skal gjennomføres. Videre bør eksemplet vise hvordan den samfunnsøkonomiske analysen bør presenteres i en konseptvalgutredning; herunder tydeliggjøre hvilke data/forutsetninger

m.m. som bør presenteres for at analysen skal være gjennomiktig og etterprøvbart.

Våre funn underveis i prosjektet har ledet oss til å gå litt ut over disse emnene og behandle også andre identifiserte svakheter i de gjennomførte KVVU-ene.

## Vår vurdering av funnene fra en spørreundersøkelse

Gjennom en spørreundersøkelse har vi kartlagt hvilke metoder og verktøy som er brukt i konseptvalgsutredningene til nå, og hva som har vært grunnene til de valg som er gjort. Vi har mottatt svar som representerer 8 KVVU-er. Vi har også lest alle KVVU-er som er endelig avgitt.

Vi finner at det eksisterer to leirer som har ulikt syn på muligheten og tilrådeligheten av å gjennomføre en fullstendig nyttekostnadsanalyse i KVVU. En flermålsanalyseleir har ikke satt kroner og øre på nytten, men behandlet den mer som en ikke prissatt effekt. De øvrige har gjort nyttekostnadsanalyse på en forenklet måte.

Vår *vurdering* er at alle KVVU-ene har frambrakt materiale som tillater en grov vurdering av nytten målt i kroner, og at å la være å gjøre det kan føre til avveininger og anbefalinger som implisitt tillegger kostnadskroner og nyttekroner svært forskjellig vekt. En kostnadskrone må tillegges samme vekt som en kvantifiserbar nyttekrone i KVVU. Det sikres ikke med de metoder som ofte har vært i bruk til nå. Derfor har vi skissert en metode for en første grovvurdering av nytte og kostnader, i første rekke til internt bruk i konseptvalgsutredningen (kapittel 6). Men dersom det av en eller annen grunn ikke er mulig å gjøre en nærmere analyse, skal metoden også i nødsfall kunne brukes i sluttrapporten fra konseptvalgsutredningen. Den kan imidlertid ikke brukes i typiske byanalyser.

Et annet viktig funn er at praksis spriker når det gjelder å avveie behov, mål og krav mot funnene fra nyttekostnadsanalysen ved den endelige prioriteringen og anbefalingen av konseptalternativ. Vår *vurdering* har vært at det trenges en større grad av standardisering på dette området. I kapittel 4 har vi derfor skissert hvordan det kan settes opp en konsekvensmatrise der alle konsekvensene måles på ensartet vis som karakterer etter en gitt skala. For hver konsekvens vil det være nødvendig å utarbeide retningslinjer for karaktersettingen. På dette grunnlaget skal det beregnes en hovedkarakter for hvert alternativ etter gitte retningslinjer. Men det må også være rom for skjønn ved endelig anbefaling.

## NTP-målenes og de overordede målenes plass i KVVU

Det har hersket stor usikkerhet om hvordan behov, mål og krav skal formuleres i KVVU og hvilken plass NTP-målene skal ha i denne sammenheng. Ulike oppfatninger mellom utrederne og kvalitetssikrerne har forsinket og vanskeliggjort mange utredninger.

I kapittel 4 håper vi å ha gitt et bidrag til å avklare dette:

- Det identifiserte prosjektutløsende behovet skal gi opphav til de overordnede målene i prosjektet, spesifikke og kvantifiserte samfunns- og effektmål. Oppfyllelse av disse prosjektspesifikke målene er testen på at det identifiserte

behovet er tilfredsstillende. Disse målene er altså noe som vi krever at alle alternativene skal oppfylle. De skal gi retning til prosjektet fra alternativene utformes til byggingen er ferdig.

- Det vil som regel kreve en trafikkanalyse før vi kan si om et alternativ oppfyller de overordnede målene.
- Lover og regler, internasjonale avtaler, stortingsvedtak og føringer gitt av departementet er det eneste som gir opphav til såkalte absolutte krav, som kan brukes til å sile vekk alternativer uten nærmere analyse.
- Alternativer som etter en finansieringsanalyse viser seg å ha urealistisk finansiering, kan ikke anbefales (se kapittel 10).
- Med en håndfull unntak vil nyttekostnadsanalysen gi gode indikatorer på oppfyllelsen av alle NTP-målene. På prosjektnivå kan alle NTP-målene avveies mot hverandre, og dette skjer i nyttekostnadsanalysen. NTP-målene kan derfor best tas med som ikke-absolutte krav i KVVU-sammenheng.
- Prioriteringen mellom alternativer som oppfyller de prosjektspesifikke overordnede målene og de absolutte kravene, og som har realistisk finansiering, foretas som en avveining mellom resultatet av nyttekostnadsanalysen og en håndfull ikke-prissatte konsekvenser som har vesentlig betydning for den avgjørelsen som skal tas på konseptvalgsnivået. For dette formålet bør det utarbeides en konsekvensmatrise som beskrevet ovenfor.

## Eksisterende verktøy kan brukes

I de gjennomførte KVVU-ene har det alltid vært mulig å etablere anslag på trase-lengder, stigningsforhold, fart osv. i tilknytning til foreslåtte nye eller forbedrede veger. Sammen med antatt innslag av bruere, tunneler, vegkryss, gang- og sykkelveger osv. gir det grunnlag for kostnadsanslag. Det gir også grunnlag for å anslå lenkevise eller strekningsvise tidsbesparelser og ulykkesreduksjoner. Tilsvarende gjelder også for jernbanestrekninger. Trafikkdata vil som regel foreligge for nåsituasjonen fra tellinger og/eller gjennomførte modellkjøringer. Dermed er en grovvurdering av nytte og kostnader mulig, som vist i kapittel 6.

Kapittel 7 viser at en dyktig bruker med noen forenklinger kan oppnå vel så raske og (formodentlig) mer pålitelige resultater ved å legge inn de samme sparsomme data i EFFEKT. Dermed er EFFEKT et meget aktuelt verktøy til nyttekostnadsanalysen i KVVU overalt hvor vi ikke behøver å regne med kompliserte rutevalg, elastisk etterspørsel og mange reisemåter. Erfaringen viser at Jernbaneverkets nytteberegningsverktøy kan anvendes med like sparsomme data.

Modellsystemet bestående av den nasjonale persontransportmodellen, den nasjonale godstransportmodellen og de fem regionale modellene er tilgjengelig der hvor forutsetningene for bruk av EFFEKT ikke er tilstede (kapittel 8). De regionale modellene har integrert Trafikantnyttmodul, og det er etablert gode rutiner for dataoverføring til EFFEKT, eller man kan håndtere ulykker, utslipp, vedlikehold og sammenstilling på forenklet måte uten EFFEKT. Fremdeles synes det å være behov for å rette opp eller oppdatere noe av kodingen av nettverkene. Uansett vil det være mulig å kode nye lenker og nye kollektivtilbud basert på sparsomme data av den typen vi har antydnet ovenfor.

På modellsida har vi altså i hovedsak det vi trenger. Men to tiltak ser ut til å være påkrevet: for det første er det et behov for opplæring av nye og eksisterende brukere i de grepene og metodene som skal til for å gjøre best mulige analyser med sparsomme data. For det andre er det behov for å videreutvikle RTM til gode bytransportmodeller i de største byene, der vi må regne med kø og et utvidet kollektivtransporttilbud i rushtida.

Rapporten stiller også et særegent krav til KVVU av bypakker. Det er nemlig slik at så lenge vi ikke kan regne med at pakkene blir grundig analysert seinere, er det rimelig å legge en slik analyse til KVVU-stadiet. Det innebærer å gå inn i pakkene og identifisere prosjekter som ikke bidrar positivt, eller finne kombinasjoner av prosjekter som kan gjøre det bedre enn den kombinasjonen som er foreslått. Dette skal også gjerne kombineres med en best mulig prispolitikk. Til dette bruk kan eksisterende modeller vise seg å være for tungvinte, og det er mulig at nettverksdesignmodeller basert på forenklet sonestruktur og nettverk bør utvikles. Dette må imidlertid avveies mot de store utviklingskostnadene og kostnadene ved å rette opp barnesjukdommer, kanskje lenge etter at modellen er etablert (kapittel 10).

## Usikkerhetsanalyse og finansieringsanalyse

På konseptstadiet er usikkerheten stor. Det gjelder ikke bare konsekvensene som inngår i nyttekostnadsanalysen, men like mye graden av oppfyllelse av mål og krav og de ikke-prissatte virkningene. Samtidig er mulighetene for å styre og redusere usikkerheten også større enn seinere. Derfor bør de viktigste usikkerhetsfaktorene identifiseres og kvantifiseres gjennom en usikkerhetsanalyse.

Rammeavtalen mellom Finansdepartementet og gruppene som skal gjennomføre kvalitetssikringen påbyr en usikkerhetsanalyse. Det nevnes også som et eget punkt i skrivemalen som er utarbeidet for KVVU. Det er imidlertid ikke klart om det skal stilles de samme krav til usikkerhetsanalysen i KVVU som det skal stilles til kvalitetssikringen i henhold til rammeavtalen.

Med et par unntak er det gjort svært lite ut av usikkerhetsanalysen i gjennomførte KVVU-er. Stort sett nøyer man seg med å påpeke at alle modeller er usikre. Vi ser derfor et meget stort forbedringspotensiale på dette området, og har viet et eget kapittel (kapittel 9) til dette.

Usikkerheten kan deles i systematisk og usystematisk usikkerhet. Begge deler bør analyseres på konseptvalgsstadiet, og kapittel 9 skisserer en framgangsmåte. Det bør vurderes å utarbeide en egen veileder eller håndbok i usikkerhetsanalyse for KVVU, slik at analysene kan systematiseres. Når det gjelder den systematiske usikkerheten er det litt delte meninger i prosjektgruppa om, og i tilfelle på hvilken måte, den systematiske usikkerheten skal gjenspeiles i nyttekostnadsanalysen. Dette spørsmålet kan mest hensiktsmessig avklares på departementsnivå.

Rammeavtalen krever også en finansieringsanalyse. Igjen er det uklart om dette kravet også skal gjøres gjeldende på samme måte i KVVU. Vi mener absolutt at det hører med en finansieringsanalyse i KVVU-sammenheng. For bypakker og prosjekter med bomfinansiering gjelder det å fastslå om den påtenkte brukerbetalingen har noen mulighet til å finansiere de påtenkte investeringene og driftstilskuddene, gitt påregnelige statlige midler. For kollektivselskapene gjelder det å finne ut om billettinntektene og forutsatte offentlige kjøp kan finansiere det

påtenkte driftsopplegget. Hvis noe av dette svikter, har vi med et urealistisk alternativ å gjøre.

Finansieringen er usikker. Vi mener derfor at det også hører med en usikkerhetsanalyse av finansieringen, tilsvarende det som gjøres ved betinget refusjon i bomprosjekter.

## Konklusjoner

Vi har identifisert et minste påkrevd detaljeringsnivå for data til nyttekostnadsanalysen i KVU. Dette er det som minst må til for å gjennomføre en grov-vurdering av nytte og kostnader som beskrevet i kapittel 6.

Som hovedregel anbefaler vi å ta i bruk eksisterende verktøy (NVDB, Jernbaneløstasjons databaser, EFFEKT, RTM og de nasjonale modellene) både som kilde til data om nåsituasjonen og nullalternativet, og som det greieste når det gjelder å kode inn og beregne virkningene i tiltaksalternativene.

Unntaket gjelder bypakker, spesielt i byer med mye kø, nå eller på mellomlang sikt. Her har vi stilt krav som kan kreve modellutvikling, bl.a. krav om to perioder på dagen og brukerlikevekt som løsningsprinsipp. Vi har også framhevet at med mindre det kan sikres at en grundig analyse av sammensetningen av pakka vil bli foretatt på et seinere stadium, vil det også trenge mer omfattende analyser og flere modellkjøringer i KVU av bypakker enn i andre KVU-er.

Det finnes et stort opplæringsbehov i å bruke eksisterende verktøy effektivt til nyttekostnadsanalyse på konseptnivå.

Vi har forslag til metode ved endelig rangering av alternativer og anbefaling av alternativer som skal videreføres, forslag til hvordan NTP-målene skal inkorporeres i konseptvalgsutredningen, og forslag til behandling av usikkerhet og finansiering. Disse trenger dels å utarbeides og utprøves, og dels å avklares på departementalt nivå.



**Summary:**

# **Economic appraisal at the choice-of-concept stage in major transport projects**

The Norwegian Quality Assurance Scheme (QA) for major public projects was introduced in 2000 (QA2) and extended in 2005 (QA1). With QA1, a new early decision point, Choice of Concept, was introduced, requiring the ministry in charge of the project to produce four documents describing the need for the project, the strategic aims which are to be achieved by it, the constraints that it will have to respect, and finally, an analysis of alternative designs, called concepts, and a recommendation on the choice of concept. The four documents are subject to quality assurance by an independent group of experts before being decided upon by the government. The purpose of QA1 is to secure political approval of the main direction of the project before planning at a detailed level starts, and to avoid committing too much planning resources and political prestige to unrealistic project ideas.

In the transport sector, the four documents as a whole are called a Study of the Choice of Concept (SCC, or KVV in Norwegian). The task to produce such a study has been delegated by the Ministry of Transport and Communications to the national transport authorities. 13 such studies have been made up until now.

The main purpose of the present report is to advise the Norwegian Public Roads Administration and the Norwegian National Rail Administration on the task of performing cost-benefit analysis (CBA) of alternative concepts at a stage when relatively little is known in detail about the alternatives. Our main finding is that standard methods and tools can also be applied in this case. These are the EFFEKT software (broadly similar to the UK COBA software), the CBA tool of the Rail Administration, and the national and regional transport model systems with their accompanying CBA tools (broadly similar to the UK TUBA). Good knowledge of the systems is however required to make efficient use of them with scant data. Thus we recommend that users are offered training focusing on this issue in particular.

However, we have also outlined a very rough first appraisal of costs and benefits of the concepts, mainly for internal use in SCC of projects outside of the big cities. For the big cities, some model development may be necessary to be able to appropriately analyse the composition of “city transport packages” at an early stage.

To identify the problems that have been met up until now by those responsible for SCCs, current CBA practice in the SCCs known to us and their accompanying QA1's has been studied. A questionnaire on the reasons for the choice of methods was answered by persons in charge of 8 of the available SCCs. This has led us to go beyond the problems of doing CBA to the broader problem of how to integrate goal achievement and CBA in the final recommendation of alternatives. A simple grading system based on a matrix of the most important impacts is proposed.

The treatment of risk and uncertainty, and of the ability of the alternatives to meet finance requirements, have been identified as weak spots of current SCCs. Some elements of our recommendations regarding these issues will have to be decided upon by the Ministry of Finance and the Ministry of Transport and Communications.



# 1 KVU og KS1 i samferdselssektoren

## 1.1 KS1-ordningen

KS1-ordningen blei innført i 2005 og er omtalt i St.prp. nr.1 (2004-2005), avsnitt 10.2. Hensikten er å sikre at konseptvalget i store statlige prosjekter undergis reell politisk styring. Som underlag for den politiske behandlingen av konseptvalget (i regjeringen), skal det utarbeides fire dokumenter:

- En behovsanalyse som kartlegger interessenter/aktører og vurderer tiltakets relevans i forhold til samfunnsmessige behov.
- Et overordnet strategidokument som på grunnlag av behovsanalysen definerer samfunns mål og effektmål.
- Et overordnet kravdokument som sammenfatter betingelsene som skal oppfylles ved gjennomføringen.
- En alternativanalyse som skal inneholde nullalternativet og minst to andre hovedalternativer med angivelse av resultatmål (innhold, herunder ytelse, samt kostnad og tid), usikkerhet og finansieringsplan, herunder rammemessig innpassing. Alternativene skal bearbeides i en samfunnsøkonomisk analyse.

KS 1 går ut på å kvalitetssikre disse dokumentene. For å gjennomføre kvalitets-sikringen er det inngått en rammeavtale mellom Finansdepartementet og fem konsulentselskaper.

Rammeavtalens bestemmelser om hvordan kvalitetssikringen skal gjennomføres, vil naturligvis virke tilbake på hvordan de fire dokumentene utformes. Om alternativanalysen heter det for eksempel i rammeavtalen at den normalt skal kunne ut i en rangering av alternativene, med en tilråding om hva som bør velges. I et fåtall tilfeller kan det likevel tenkes at det vil være hensiktsmessig å gå videre med flere alternativer, eller at det bør utredes et nytt alternativ. Det kan under visse omstendigheter også være aktuelt å utsette beslutningen om å gå videre med et forprosjekt.

Behovsanalysen, det overordede styringsdokumentet og kravdokumentet blir kvalitetssikret med hensyn til indre konsistens og konsistens med foregående dokumenter. Det skal også undersøkes om behovsanalysen er komplett, om de overordede målene er operasjonelle og om kravene er relevante.

Kvalitetssikringen av alternativanalysen skal starte med å vurdere om alternativene bidrar til å realisere de overordede målene, dvs. samfunns mål og effektmål. Den skal også vurdere om alternativene fanger opp de mest interessante og realistiske konseptuelle aspektene, og i hvilken grad de tilfredsstiller kravene i kravdokumentet. Videre skal kvalitetssikreren utføre en usikkerhetsanalyse, en samfunnsøkonomisk analyse, en prioritering mellom resultatmålene, en tilråding om beslutningsstrategi og tilrådinger for arbeidet i forprosjektfasen.

Det pågår for tida et arbeid i det såkalte prosjekteierforumet med å vurdere erfaringene med KS1 så langt og utarbeide nye veiledere for gjennomføring av ordningen.

## 1.2 KS1 i samferdsel

Samferdselsdepartementet og Finansdepartementet har fastsatt retningslinjer for KS1, datert 10. februar 2007. I samferdselssektoren kalles de fire dokumentene under ett for en *konseptvalgsutredning (KVU)*.

Etatene skal varsle Samferdselsdepartementet når det foreligger investeringstiltak hvor det er behov for KS1. Hvis departementet gir grønt lys, skal etatene utarbeide KVU basert på utredningsinstruksen, rammeavtalen og maler utarbeidet av etatene, i tillegg til eventuelle føringer fra departementet. Bortsett fra prosjekter som er unntatt i en overgangsperiode, vil store prosjekter (over 500 mill.) ikke kunne tas inn i NTP uten å ha vært gjennom KS1.

Rundt 13 konseptvalgsutredninger er gjennomført til nå, de fleste av Statens vegvesen, men også et par av Jernbaneverket og én i felleskap. KVU-ene som er gjennomført er:

- Eidsvoll – Hamar (JBV, usikker status)
- Ringeriksbanen (JBV)
- Arna-Bergen (SVV og JBV)
- Kolomoen - Lillehammer (SVV)
- Lillehammer-Otta (SVV)
- Rogfast (SVV)
- Langangen - Grimstad (SVV)
- Lavik-Skei (SVV)
- Haukelifjell (SVV)
- Nytt Sotrasamband (SVV)
- Sluppen-Dorthealyst (SVV)
- Oslopakke 3 (SVV)
- Knapstad-Vinterbro (SVV)

Flere av prosjektene som det er gjennomført konseptvalgsutredning for, var kommet ganske langt i planleggingen da det blei bestemt at de skulle gjennom KS1. Dette skyldes behovet for å komme i gang og vinne erfaring. På sikt vil prosjektene dreie seg om nye ideer som ikke er utredet før. Utredning etter Plan- og bygningsloven er neste trinn i planleggingsprosessen.

## 2 Prosjektet

### 2.1 Oppdraget

Det er usikkerhet rundt hvordan den samfunnsøkonomiske analysen og trafikk-analysen bør gjøres i KVU, der en har mindre detaljerte opplysninger om de aktuelle konseptene. Statens vegvesen og Jernbaneverket har derfor ønsket å gjennomføre et forprosjekt som har som hovedmål å vurdere og skissere en egnet metode for samfunnsøkonomiske analyser på dette tidlige stadiet i planprosessen. Det er snakk om samfunnsøkonomiske analyser før konsekvensutredning og tiltaksplanlegging etter Plan- og bygningsloven tar til, og følgelig før en har detaljerte opplysninger om alternative løsninger på det aktuelle transport-problemet.

Tre punkter som skal tas opp i forprosjektet. De er:

1. En vurdering av hvilket detaljeringsnivå som er rett/påkrevd for samfunnsøkonomiske analyser av konseptvalgutredninger
2. En vurdering av alternative måter å gjøre trafikkanalyser og samfunnsøkonomiske analyser på et tidlig stadium. Et alternativ skal anbefales. Vurderingen skal blant annet omfatte en vurdering av egnetheten til etatens eksisterende verktøy for trafikkanalyser og samfunnsøkonomiske analyser- og evt. mulighet for forenklinger av disse metodene. Forslaget bør være konkret med hensyn på hvilke faktorer og forutsetninger som bør inngå i den samfunnsøkonomiske analysen
3. Presentasjon av et eksempel der metoden er benyttet. Eksemplet kan være konkret eller tenkt. Eksemplet skal vise hvordan den samfunnsøkonomiske analysen skal gjennomføres. Videre bør eksemplet vise hvordan den samfunnsøkonomiske analysen bør presenteres i en konseptvalgutredning; herunder tydeliggjøre hvilke data/forutsetninger m.m. som bør presenteres for at analysen skal være gjennomiktig og etterprøvbar.

### 2.2 Vår tilnærming og organisering av rapporten

Konseptvalgutredningene til nå har i varierende grad benyttet etatens modell-verktøy i trafikkanalysen. De har også en svært ulik praksis med hensyn til samfunnsøkonomiske analyser, og noen har bare foretatt reint kvalitative vurderinger. Vår første oppgave har derfor vært å kartlegge grunnene til de valg som er gjort gjennom et spørreskjema til de som har vært ansvarlige for utredningene. Dette ga et bredt materiale der også andre synspunkter på KVU kom opp. Det er sammenfattet (med våre vurderinger) i kapittel 3.

To funn fra spørreundersøkelsene syntes vi var så viktige at vi har fulgt dem opp spesielt, selv om de ikke faller inn under en snever tolkning av oppdraget. Det

første gjelder den endelige prioriteringen og anbefalingen, der vi fant at mange litt ulike og ”hjemmesnekrede” metoder var blitt brukt. Flere etterlyste også en særegen KVVU-metode. I kapittel 4 drøfter vi hva som bør være mål og krav i KVVU-er i samferdselssektoren, og hvordan måloppfyllelse og tilfredsstillelse av krav kan brukes sammen med nyttekostnadsanalysen til å gjøre en endelig prioritering og anbefaling. Forhåpentligvis kan det gi innspill til en mer enhetlig, transparent og etterprøvable praksis på dette området. Vi fant også at behandlingen av usikkerhet stort sett var mangelfull, så vi har prøvd i kapittel 10 å skissere hva som etter vårt syn kreves på dette området.

For å kunne si noe om påkrevd detaljeringsnivå og aktuelle metoder har vi funnet det fornuftig å prøve å gi en karakteristikk av hvilke konseptuelle aspekter som vi tror de framtidige konseptvalgsutredningene vil dreie seg om. Dette drøftes i kapittel 5, som legger føringer for kapittel 6-9, der vi skisserer metoder og datakrav for trafikkanalyse og nyttekostnadsanalyse i KVVU. Et hovedgrep vi har gjort, er å skille KVVU av bypakker fra andre situasjoner. Grunnen er at den beste sammensetningen av investeringstiltak og prisvirkemidler i slike pakker bør utredes før tiltakene enkeltvis planlegges, og den beste anledningen til å gjøre det er nettopp KVVU. Men dette krever mer av modeller og data enn det vi ser for oss i andre KVVU-sammenhenger.

Til en nyttekostnadsanalyse trengs data av to slag: data om tiltaket og data om transportsystemet som tiltaket skal settes inn i. Data om tiltaket må i det minste omfatte en viss forestilling om traselengder, innslag av bruer og tunneler m.m. Det gir grunnlag for en grov beregning av tiltakskostnadene. Sammen med en forestilling om driftsopplegg når det gjelder kollektivtrafikken gir det også grunnlag for koding i transportmodellene eller i EFFEKT. Grunnleggende data om transportsystemet er i første rekke nedfelt i det regionale og nasjonale transportmodellsystemet og som forutsetninger i EFFEKT. Vi har derfor kommet fram til at det viktigste vi kan bidra med når det gjelder metoder for samfunnsøkonomiske analyser på konseptvalgsstadiet, er å vise hvordan de etablerte verktøyene enklest mulig kan kodes og brukes når data om tiltaket består av grove anslag.

Vi har likevel vurdert metoder som kan supplere eller erstatte de etablerte verktøyene på områder som er av særlig interesse i KVVU-sammenheng. Foruten vurdering av bypakker (kapittel 9), gjelder det det vi har kalt grovvurdering av nytte og kostnader, som viser hva slags type av virkninger vi må regne med, og gir grunnlag for å anslå størrelsen av dem i ulike situasjoner (kapittel 6).

Kapittel 11 inneholder to eksempler, ett på grovvurdering av nytte og kostnader og ett om endelig rangering og prioritering av alternativene etter den metoden vi har foreslått i kapittel 4. Våre konklusjoner og anbefalinger er samlet i kapittel 12.

## 3 Metoder og verktøybruk i gjennomførte konseptvalgсутredninger på samferdselsområdet

### 3.1 Innledning

Hvilke metoder og verktøy er brukt i konseptvalgсутredningene til nå, og hva har vært grunnene til de valg som er gjort? Dette er undersøkt gjennom et spørreskjema til de ansvarlige for konseptvalgсутredningene og gjennom møte med de hovedansvarlige for denne typen utredninger i etatene. I tillegg har vi laget en kort beskrivelse av metoder og tilnærming i kvalitetssikringen av konseptvalgсутredningene, dvs. KS1.

Avsnitt 3.2 oppsummerer funnene fra spørreundersøkelsen. Siden vårt formål er å foreslå forbedring av gjeldende praksis, har vi føyd til våre første vurderinger av metodebruken i de undersøkte tilfellene. Avsnitt 3.3 beskriver metodene i KS1 og gir en kort vurdering av dem.

### 3.2 Sammenfatning av spørreundersøkelsen

Vårt spørreskjema om metodevalget i gjennomførte konseptvalgсутredninger er gjengitt som vedlegg 1. Vi spør om hva som er gjort og hvilke metoder som er brukt i den samfunnsøkonomiske analysen, og hvorfor man eventuelt har brukt forenklete metoder. Dreier det seg om mangler ved de vanlige verktøyene, generelt eller i KVV-sammenheng, eller om mangel på tid, eller om manglende data om konseptene? Når det gjelder de som har brukt eksisterende verktøy på en forenklet måte: hvilke forenklinger har de gjort, og hva var bakgrunnen for dette valget? Når det gjelder de som har kombinert metoder fra vegsida og jernbansida: hvorfor fant de å måtte gjøre det, og hvilke konsistensproblemer ga det opphav til? Når det gjelder de som har anvendt egne enkle eller stiliserte modeller og beregninger, hvorfor valgte de dette, og hvilke erfaringer har de gjort? Svært mange har beregnet nytte i bare ett år og/eller latt være å sammenstille resultatene. Hvorfor har de nøydt seg med det?

Analysen av et slikt materiale bør kunne gi oss en første forestilling om hvorfor man tyr til forenklinger, og om behovet for enklere metoder.

Skjemaet blei sendt til 9 personer som til sammen var ansvarlig for 12 konseptvalgсутredninger. Bare en av utredningene gjaldt et reint jernbaneprosjekt; de øvrige er enten reine vegprosjekter, vegprosjekter der det er formulert et mer eller mindre alvorlig ment jernbanealternativ, eller kombinerte prosjekter der både veg- og jernbaneløsninger inngår som alternativer på lik linje. Vi fikk svar fra 7 personer med ansvar for 8 utredninger (i noen tilfeller var besvarelsen delegert til andre). De 8 utredningene er Bergen-Arna (vegtunnel og/eller jernbanetunnel i

byområde), Eidsvoll-Hamar (jernbane), Haukeli (veg), Rogfast (veg tunnel), Oslopakke 3 (kombinert veg og kollektiv), Sluppen (vegprosjekt i byområde), Langangen-Grimstad (veg) og Sotrasambandet (bru/tunnel i byområde).

## To retninger

Svarene på spørsmålene (spesielt spørsmål 7 og 8) viser at vi har en retning som sverger til *flermålsanalyse* på konseptvalgsnivået, og en annen retning som holder på *nyttekostnadsanalyse*. Vi oppsummerer hovedtrekk ved hver av dem i dette avsnittet. Oslopakke 3 behandles som en egen kategori til slutt i avsnittet.

## Flermålsanalyseretningen

Tilhengerne av flermålsanalyse framhever at konseptvalget bør tas på grunnlag av analysen av behov, mål og krav, supplert med modellkjøringer som kan vise graden av måloppfyllelse. De har ikke sammenstilt noe nyttekostnadsregnestykke, og argumenterer for at det heller ikke *bør* gjøres. Et av argumentene for dette er at et sammenstilt nyttekostnadsregnestykke på dette nivået, med usikre data om alternativene, vil gi et falsk inntrykk av sikkerhet og nøyaktighet. Denne leiren består av de som har arbeidet med KVVU for Haukeli, Sluppen, Arna-Bergen og Sotrasambandet.

De har brukt litt ulike framgangsmåter: *Haukeli* vil først eliminere alternativer på grunnlag av behov, mål og krav. Etter eliminasjonen stiller de opp virkningene for de overlevende alternativene i en tabell, på samme måte som for ikke prissatte konsekvenser i Håndbok 140, og prioriterer på grunnlag av det. *Haukeli* mener det er grunnlag for å beregne nytten av de viktigste enkeltelementene, men ikke for å sammenstille regnestykket. (Dette minner om synspunktet til den kjente norske økonomen Karine Nyborg, som mener at det alltid er best å presentere virkningene enkeltvis og overlate resten til politikerne.)

*Sluppen* understreker at først må man anslå virkninger, deretter bedømme om i hvilken grad virkningene innebærer måloppfyllelse. Prioriteringen skjer utelukkende på grunnlag av graden av måloppfyllelse. *Sluppen* avviser at ikke-prissatte konsekvenser er et relevant begrep på konseptvalgsnivå, og sier at begrepet hører til på konsekvensutredningsnivå.

*Arna-Bergen/Sotra* stiller opp både beregnede nyttekostnadselementer, behov-mål-krav og ikke prissatte konsekvenser i en tabell, men understreker at det er den verbale drøftingen i teksten, ikke denne tabellen, som gir grunnlaget for prioriteringer.

## Vår kommentar

Graden av måloppfyllelse er utvilsomt viktig for prioriteringen av alternativene i KVVU. Men vi vil peke på at det faktisk skal gjøres en samfunnsøkonomisk analyse i følge retningslinjene, og den skal brukes til å prioritere mellom de alternativene som ikke kan siles vekk fordi de ikke bidrar til å oppfylle noen av målene eller bryter mot absolutte krav. Dette er fornuftig, fordi det innebærer at måloppfyllelsen må avveies mot hva det koster å nå målene og hvor mange som har nytte av det. I de fleste tilfellene vil målene dreie seg om framkommelighet,

trafikksikkerhet og miljø, og graden av måloppfyllelse kan derfor kvantifiseres på grunnlag av en trafikkanalyse, for deretter å verdsettes og avveies mot kostnadene i nyttekostnadsanalysen.

Det er viktig å synliggjøre usikkerheten, verbalt og på andre måter. Men vi er ikke overbevist om at det gjøres best ved å la være å gjennomføre en nyttekostnadsanalyse.

## Nyttekostnadsanalyseretningen

Tilhengerne av nyttekostnadsanalyse har det til felles at de alle har funnet fram til forenklinger som gjør det mulig å beregne netto nåverdi eller nyttekostnadsbrøk, til tross for manglende eller usikre data. Delvis dreier forenklingene seg om forenklet bruk av eksisterende verktøy og delvis om hjemmesnekrede metoder. Denne retningen gjenspeiles i de valg som er gjort av de som har arbeidet med KVVU for Eidsvoll-Hamar (jernbanen), Langangen-Grimstad og Rogfast.

To av svarerne ser gode muligheter i framtida for at de eksisterende verktøyene kan bli brukt til på konseptvalgsnivå. Det er de som har svart for Eidsvoll-Hamar og Langangen-Grimstad.

I KVVU for *Eidsvoll-Hamar* blei JBV's vanlige verktøy benyttet, inkludert et regneark for nyttekostnadsberegningene. Regnearket er anvendt "på redusert form", hvilket trolig innebærer at de effektene som det ikke er mulig å skaffe data til, er utelatt. Dette er altså mulig. Siden ett av alternativene allerede var fullt beregnet med Jernbaneverkets vanlige metode, fikk man også en indikasjon på at "den reduserte kalkulasjonsmetoden" er tilstrekkelig god til å kunne brukes i KVVU-sammenheng. Jernbaneverkets representant er i det hele tatt den av svarerne som virker mest komfortabel med eksisterende metoder og verktøy, også i KVVU-sammenheng, sjøl om også han ser mangel på data som en hindring for en fullstendig NKA.

Nyttekostnadsanalysen inngikk i en større prosess der konseptene som ikke oppfylte absolutte krav, først blei silt vekk. Konseptene som oppfylte de to absolutte kravene blei underlagt en samfunnsøkonomisk analyse. Til slutt vurderte man i hvilken grad konseptene oppfylte øvrige krav etter en tabell som oppga hvor mye de "scoret" sammenlagt.

I KVVU for *Langangen-Grimstad* blei det gjennomført en fullstendig nyttekostnadsanalyse for 25 år ved å anvende EFFEKT6 på en forenklet måte. Forenklingen består først og fremst i at analyseområdet er innskrenket til gammel E18 i nullalternativet og ny E18 i tiltaksalternativene. Det antas å gi tilfredsstillende nøyaktighet der hvor tiltaket følger dagens trase, og naturligvis noe større usikkerhet for alternativer langs andre, mer ukjente traseer. En definitiv fordel med EFFEKT-beregninger, sjøl om det skjer forenklet, er at en får tatt hensyn til veggeometriens innvirkning på kjørekostnadene.

Siden ett av alternativene gjaldt kollektivtrafikk, blei RTM anvendt på det. Den opprinnelige planen om å anvende RTM på alle alternativene blei oppgitt fordi modellen produserte ulogiske resultater, og det var ingen tid til å finne og rette feilene. RTM kunne dessuten bare bli kjørt for åpningsåret fordi oppdatert nettverk for år lenger fram i tid ikke fantes.

For vurdering av ikke prissatte konsekvenser blei det anvendt en modifisert metodikk med utgangspunkt i Håndbok 140 (konsekvensanalyser). Om rangering og valg av alternativ sies det at metodikken for ikke prissatte konsekvenser gir målbare indikatorer som tillater en rangering av konseptene i forhold til hverandre på en ordinal skala. Den totale rangeringen blei brukt sammen med effektmålene, nytte/kostnadsanalysen og klimautslipp for å gi en samlet rangering av konseptene i forhold til hverandre. Det etterlyses en metode for disse avveiningene.

I forbindelse med KVVU for *Rogfast* blei det laget et eget regneark med mye av formelverket fra EFFEKT for beregning av lenkebaserte konsekvenser. Trafikktallene ble beregnet med RTM, og lagt inn i regnearket for beregning av nytte. Grunnen til denne framgangsmåten var at trafikantnyttmodulen ikke var helt på plass da arbeidet ble utført, og dessuten at man ønsket å ta hensyn til stigninger (tunneldybden) ved beregning av tidsnytte og kjørekostnader. En annen tanke var at KVVU-beregningene ikke alltid vil kunne bruke de tradisjonelle verktøyene, sjøl om det kan være mulig dersom tiltaket er enkelt nok. Vi har her å gjøre med en forenklet bruk av metodologien i EFFEKT – men altså utenfor EFFEKT.

Bare konsekvensene for den gjennomgående trafikken nord-sør er tatt med – gevinster for trafikk til og fra øyene er utelatt. Konsekvensene i regnearket er beregnet for 25 år, slik at man også her kommer fram til netto nytte og nyttekostnadsbrøk.

Mål/krav er brukt både til å eliminere dårlige alternativ og til evaluering av alternativene som blei behandla samfunnsøkonomisk. Mål og krav blei tillagt vekt sammen med den samfunnsøkonomiske analysen ved anbefaling av videre planarbeid. Dette ble gjort tekstlig. Det blei anbefalt at videre planarbeid fortsetter, mens endelig prioritering blei overlatt til NTP.

### *Vår kommentar*

Felles for de som har gjort en fullstendig nyttekostnadsanalyse er at de har forenklet de tradisjonelle metodene for å få det til. Det hevdes av noen av flermålsanalysetilhengerne at EFFEKT med dårlige data er verre enn ingenting, eller at EFFEKT krever for mye data i forhold til det en rimeligvis vil kunne etablere på konseptvalgsnivået. En av utfordringene i vårt prosjekt er å vise konkret at EFFEKT kan brukes på en forenklet måte, og erfaringene fra Langangen-Grimstad er her høyst relevante.

Jernbaneverkets metoder ser ut til å kunne tilfredsstille behovene for KVVU av reine jernbaneprosjekter, men vil ikke kunne behandle vegtiltak på lik linje med jernbanetiltak.

Når nettverkene og kollektivtilbudet i RTM er i orden og gode nettverk er etablert for flere framtidsår, vil RTM med trafikantnyttmodulen og kollektivmodulen være et aktuelt verktøy. Det er viktig å få på plass og ta i bruk funksjonalitet for å klippe ut det området av modellen som er av interesse og aggregere sonene utenfor, og det samme gjelder makroer for beregning av ulykker og utslipp. Beregninger av lenkevise effekter kan eventuelt også gjøres på en forenklet måte i eller utenfor EFFEKT. Mange av de data som trengs, vil da allerede være innbakt i modellen, slik at bare data om det nye tiltaket behøver å føyes til.



Enklere metoder, som regnearket i Rogfastutredningen, er allikevel et interessant alternativ. Det spørres også om det ikke går an å etablere enklere alternativer til trafikantnyttmodulen og kollektivmodulen. Jernbaneverkets verktøy inneholder kanskje noen tips til dette.

Det som virkelig framstår som et område som kunne trenge standardiserte metoder, er hvordan en skal komme fram til en prioritering basert på både nyttekostnadsanalysen, mål og krav og ikke prissatte konsekvenser. Nesten alle svarerne, både i flermålsanalyse- og nyttekostnadsanalyseleiren, sier at de har laget en eller annen form for konsekvensmatrise og bedømt den, enten verbalt eller med poenggivning av noe slag. Mange sier at de har ”anvendt systematikken” i Håndbok 140, men med tilpasninger. Men framgangsmåten spriker og virker dårlig dokumentert. Langangen-Grimstad hevder å ha en modifisert metodikk for ikke prissatte konsekvenser som egner seg på konseptnivået.

### Oslopakke 3

Vi behandler Oslopakke 3 for seg fordi det dreier seg om en annen type prosjekt enn de andre. Dvs.: Det er ikke noe prosjekt, men en samling av prosjekter eller en strategi, finansiert med bompenger eller vegprising. Investeringsprogrammet i pakka var beregnet å ta 20 år å fullføre.

I konseptvalgsutredningen av Oslopakke 3 er det beregnet årlig nytte i 2028, altså det året da det tjuenårige investeringsprogrammet er fullført (men før bompengereinnkrevningen i alternativet ”Lokalt forslag” er opphørt). Beregningene er gjort med transportmodellen Fredrik og EMMA-versjonen av trafikantnytte- og kollektivnyttmodulene i EFFEKT. Nyttene er sammenliknet med kostnadene ved å anta at trafikantbetalingen det året tilsvarer den gjennomsnittlige investeringskostnaden pr. år. Det er ikke beregnet nåverdi for hele perioden, men beregninger av størrelsen på noen av feilene som oppstår ved den metoden som er valgt, gir grunnlag for å antyde at Alternativt forslag har positiv nåverdi og Lokalt forslag har negativ nåverdi.

Man fant det vanskelig å bedømme de ikke prissatte konsekvensene i dette tilfellet, dels fordi det ikke er mulig med så mange prosjekter på så ulike planstadier, og dels fordi noen av temaene er irrelevante i bysammenheng. På den andre sida er flere forhold som ikke er framme i Håndbok 140 behandlet som ikke prissatte konsekvenser. Det gjelder fordelingsvirkninger, sårbarhet og beredskap og økt kvalitet i kollektivtrafikken. (Her skyter vi inn at et annet byprosjekt, Arna-Bergen, også la vekt på andre forhold enn de vanlige, nemlig vedtatte mål og retningslinjer for kollektivtrafikk, risiko for økt bilbruk og trafikk/ulemper i Bergen sentrum, og skjerming av indre by for trafikk.)

Prioriteringen mellom alternativene er gjort ved å sammenlikne dem med hensyn til oppfyllelse av mål og krav, med hensyn til prissatte konsekvenser, og med hensyn til ikke prissatte konsekvenser. Til tross for at sammenlikningen faller ut til fordel for Alternativt forslag, er det anbefalt å videreføre begge alternativer, men i bearbeidet og forbedret form. Noen retningslinjer for slike forbedringer er angitt.

Oslopakke 3 har viet usikkerheten størst oppmerksomhet av alle konseptvalgsutredningene. Usikkerheten til hvert kostnadselement er behandlet. I tillegg er det

gjort omfattende følsomhetsanalyser av de trafikale virkningene, og dermed også av mål- og kravoppfyllelse. Man framhever også usikkerheten i nullalternativet.

I svaret på spørreskjemaet oppgis det at grunnen til den forenklede beregningen av nytte for bare ett år er usikkerhet om rekkefølgen av investeringene i årene 2008-2028. Svareren mener prioriteringen på konseptvalgsnivå kan baseres hovedsakelig på oppfyllelse av mål og krav, og at samfunnsøkonomiske beregninger må gjøres enklere og med mindre ressurser. Det viktigste for prosjektpakker er porteføljestyringen.

### *Vår kommentar*

Enhver vurdering av strategier i storbyområder må ha grunnlag i et transportmodellsystem som tar hensyn til køer i rushtida, variasjoner i kollektivtilbudet over døgnet osv. Modellsystemet Fredrik/Emma dekker dette behovet i Oslo. Vurderingen av bypakker kan ikke gjennomføres uten å ha grunnlag i kjøring av et slikt modellsystem. På konseptvalgsstadiet er det tvert imot behov for omfattende modellkjøringer og nytteberegninger av bypakker og andre større strategiske planer. Grunnen er at det finnes så mange måter å utforme strategien på. En kan legge hovedvekt på bil eller kollektiv, prisvirkemidler, driftstilskudd, regulering eller investeringer, indre by eller innfartsårene osv. Seinere vil fastlåste oppfatninger ofte forhindre en tilstrekkelig bred utforskning av handlingsrommet.

Et problem vil være at det er svært tid- og ressurskrevende å utforske alle mulige konseptalternativer med et slikt modellsystem. Det er da heller ikke gjort i konseptvalgsutredningen i dette tilfellet. Oppgava er skjøvet videre til konsekvensutredningen. Der vil den sannsynligvis heller ikke bli gjort. I stedet vil de enkelte elementene i pakka bli konsekvensutredet enkeltvis.

For å utforske handlingsrommet på en fornuftig måte, trengs det ofte verktøy som er mindre datakrevende og langt raskere å kjøre enn de som vi disponerer nå. Konseptvalgsstadiet må være rett sted for bredt anlagt skisseplanlegging, og til det trenges skisseplanleggingsverktøy. Et skisseplanleggingsverktøy er en rask modell som gjenspeiler vesentlige sammenhenger både på etterspørsels- og tilbudssida, men på en grov, aggregert eller gjennomsnittlig måte. Forholdet mellom skisseplanleggingsverktøyet og det større modellsystemet må være slik at skisseplanleggingsverktøyet bygger på hovedtrekk i det større modellsystemet, og at resultater fra skisseplanleggingen grovt sett kan bekreftes ved seinere kjøring av det større modellsystemet. Et godt skisseplanleggingsverktøy vil kunne produsere konseptalternativer som ikke ville ha framkommet på annen måte, og gi muligheter til å sile vekk dårlige virkemiddelkombinasjoner.

Uten tilgang til skisseplanleggingsverktøy hadde KVU av Oslopakke 3 ingen mulighet til å gjøre mer enn en håndfull modellkjøringer innen tidsfristen. De hadde likevel hatt mulighet til å gjøre en mer fullstendig nyttekostnadsanalyse av de to alternativene som blei utredet. Nøkkelen er her å ta alvorlig på de samfunnsøkonomiske virkningene av bompenger og vegprising. (Dette gjelder også tiltak utenfor byene!) Man måtte altså bl.a. ha beregnet nytte og kostnad i nullalternativet for det året (2013) da bompenger faller vekk hvis de ikke blir videreført som del av pakka, nytten av vegprising i årene før investeringsprosjektene begynner å virke, og nytten for 2028 uten bompenger i 2028 (siden bompengene faller vekk når prosjektet er finansiert). Se KS1-rapporten, Dovre og TØI (2008), om dette.

Det krever betydelige ressurser og tid å bygge opp, teste og validere et transport-modellsystem, sjøl om det er et enkelt skisseplanleggingsverktøy. Det blir derfor en avveining mellom kostnadene og hvor ofte man vil komme til å bruke systemet. Alternativt kan man ta tiltak som gjør det raskere å anvende ordinære modellsystemer, for eksempel ved å skjære ut det aktuelle byområdet fra RTM og aggregere sonene utenfor dette området.

## Konseptvalgets rolle i beslutningsprosessen

Mange føler et behov for å avklare konseptvalgets rolle i planleggingsprosessen. Det gjelder både hva slags resultat som skal komme ut av konseptvalget og hvilke metoder som skal brukes til å etablere resultatet. Det føles nok litt som om man blir bedt om å gjøre en konsekvensutredning (etter PBL og etatenes håndbøker) på data som gjerne vil være litt for dårlige for formålet. Én svarer uttrykker dette som et paradoks: Vi skal ikke behøve å gjennomføre en konsekvensutredning for å finne ut om vi skal gjennomføre en konsekvensutredning!

Kvalitetssikrernes vurderinger av de gjennomførte KVVU-ene har kanskje bidratt til inntrykket av at det er dette som det ideelt sett blir bedt om?

Én svarer sammenfatter sin oppfatning av hva konseptvalget dreier seg om slik: ”Hensikten med KVVU er å avgjøre om det er tilstrekkelig grunnlag for å planlegge etter Plan- og bygningsloven”. Han mener at konseptvalg bør begrenses til å *sannsynliggjøre* hvilke hovedgrep som bør utredes videre og hvilke som *ikke* bør det.

De fleste framhever synliggjøring av usikkerheten som helt vesentlig på dette stadiet.

Flere er inne på at det som særmerker KVVU i forhold til andre faser av planleggingen, er vurderingen av behov, mål og krav. For noen er dette nøkkelen til hva som er konseptvalgets rolle i planleggingsprosessen: Alternativer som ikke tilfredsstiller et identifisert behov, som (sannsynligvis) ikke oppnår målene som er satt, eller som ikke innfrir absolutte krav, bør siles vekk på dette stadiet. Alternativer som ”overlever” silingen, bør prioriteres for videreføring i forprosjektfasen etter graden av målutfyllelse.

Svareren som representerte Oslopakke 3 deler synspunktet at vurdering av behov, mål og krav er det vesentlige på dette stadiet, og framholder at KVVU slik det nå gjøres ikke er særlig hensiktsmessig for større pakker, der porteføljestyringen er det viktigste, og der porteføljen vi analyserer er såvidt usikker.

Et synspunkt som kom fram, er at det ikke er fornuftig med retningslinjer som sier at bare ett alternativ skal videreføres til forprosjektet. Om det kommer til konsekvensutredning, skal jo i alle fall mer enn ett alternativ vurderes.

Et par svarere foreslår at tida er inne for en evaluering av hele KVVU-ordningen. Hvilke typer prosjekter egner den seg for, hva slags resultat skal komme ut av den? En svarer foreslår at etatene lager et felles seminar hvor erfaringene fra de gjennomførte KVVU-ene blir gjenstand for en grundig diskusjon og analyse etter omtrent samme modell som erfaringsseminaret i mars 2008.

### *Vår vurdering*

Vi er enig i at konseptvalgets rolle i planleggingsprosessen i samferdsel trenger avklaringer og presisering.

Vi er uenige i at samfunnsøkonomiske beregninger ikke har noen plass på dette nivået. Ikke minst gjelder det i bysammenheng, der prisvirkemidler og bedre kollektivtilbud vil være realistiske alternativer. Hovedhensikten med vegprising, og en vesentlig virkning av bompenger og parkeringspolitikk, er jo bedre samfunnsøkonomi.

Vi vil understreke at uansett om det gjennomføres en nyttekostnadsanalyse eller ikke, vil det trenge en form for transportmodeller eller EFFEKT-beregninger for å vurdere måloppfyllelse, så lenge målene relaterer seg til transportkvalitet og miljøkvalitet. En reint kvalitativ vurdering vil være utsatt for manipulasjon. Allerede nå ser vi tendenser til at målene kan formuleres slik at alternativer som er interessante i en større sammenheng, siles vekk fordi de ikke tilfredsstillende de transportmiddelsesifikke eller reint lokale målene som er satt.

En mer systematisk tilnærming til usikkerhet enn det vi har sett i KVVU til nå, er sikkert på sin plass. Systematisk usikkerhetsvurdering vil i seg sjøl kreve flere modellkjøringer, og derfor enklere eller raskere verktøy.

Vi er enig med svarerne i at det trenge metodiske retningslinjer for den endelige avveiningen og prioriteringen i KVVU – kanskje i den grad at vi kan snakke om en særegen konseptvalgmetodikk. I avsnitt 4.9 fremmer vi forslag om en slik metodikk.

### **Noen enkeltsaker som reises i svarene**

Erfaringen fra Arna-Bergen tilsier at verktøyene til Jernbaneverket og Statens vegvesen gir ulike svar, og dermed ulikt syn på hvilke effekter en vegtunnel ville gi.

Konsekvenser for godstransporten er åpenbart underkommunisert eller stemoderlig behandlet i nær sagt alle KVVU. Dette kan ha metodiske årsaker.

Blant de forenklingene som gjøres, nevner mange kostnadsberegninger (løpe-meterpriser) og ulykkesberegninger. Det bør vurderes om det trenge nærmere retningslinjer på disse områdene.

Flere nevner at ulikt nivå på konseptdetaljer og datatilfang i alternativene kan være et reelt problem for en likeverdig behandling av dem. Det er usikkert om vi kan gjøre noe med det.

### **3.3 Metodevalg i gjennomførte KS1**

Vår sammenfatning av metodevalg i KS1 bygger på de KS1-rapportene vi har hatt tilgang til. Ikke alle KVVU-ene som er omtalt i avsnitt 3.2 har ennå vært gjenstand for kvalitetssikring. På den andre sida har vi også tilgang til KS1-rapporter fra noen av utredningene som ikke er med i avsnitt 3.2. Medarbeidere i forprosjektet eller de institusjonene de representerer er medansvarlige for de aller fleste av disse rapportene. Det er altså ikke noen uavhengig vurdering av dem som presenteres her, men snarere en kort sammenfatning av egne erfaringer og valg.

## Arna-Bergen

I veldig mange sammenhenger er det aktuelt å kombinere nasjonale og regionale transportmodeller. Så også i prosjektet Arna-Bergen, der vegtunnelen nok kunne beregnes uten lange reiser, men jernbanetunnelen vil ha en nasjonal betydning for reiser mellom Østlandet og Vestlandet. Lange reiser blei derfor beregnet med NTM5b i de ulike alternativene (vegtunnel, jernbanetunnel, begge tunneler, alt med og uten bompenger).

For korte reiser fantes to modeller, TASS og RTM. Store svakheter ved begge systemer når de blei anvendt i det aktuelle området var påvist tidligere i egne kvalitetsvurderinger av modellsystemene. En fant det derfor best å bygge på de dataene fra modellene som en stolte mest på, samt tellinger og etablert kunnskap om elastisiteter, og konstruere en egen enkel modell for korte reiser mellom Arna og Bergen. Dette er en binomisk logitmodell for valget mellom bil og jernbane.

Den store svakheten ved denne framgangsmåten er at en dermed ikke får tatt hensyn til effektene av endret reisemiddelvalg på køforholdene i Bergen sentrum. For tilsvarende prosjekter i framtida er denne framgangsmåten altså ikke noe godt alternativ til å få skikk på eksisterende modellsystemer. Men i den aktuelle situasjonen kan det tenkes at den fanger opp hovedvirkningene med tilstrekkelig nøyaktighet til å kunne treffe et valg mellom konseptene.

Metoden med å bruke eksisterende data og kunnskap til å kalibrere en multinomisk logitmodell med to eller tre soner og to til fire reisemåter er tidligere anvendt i kvalitetssikringen av prosjektet Finnfast. Den egnet seg kanskje bedre i det tilfellet, hvor kø spilte mindre rolle.

Nytteberegningen for korte reiser blei gjort med trapesformelen anvendt på den binomiske modellen. For lange reiser ble nytten beregnet i trafikantnyttemodulen i Cube. Denne ble endret for å kunne ta imot resultatfiler direkte fra NTM5.

## Fornytt vurdering av rv 108 Ny Kråkerøyforbindelse

Dette er en revidert KS2-utredning. I dette tilfellet var oppgava bare å vurdere effekten av reviderte bomsatser på finansieringsmulighetene. Det blei brukt en enkel elastisitetsmodell med verdier som tilsvarer funn i nyere norske undersøkelser av bomprosjekter.

Grunnen til at dette var godt nok, er at det ikke fantes omkjøringsmuligheter (det dreier seg om bom på to bruer fra Kråkerøy til fastlandet). Betydningen av lekkasje til gang og sykkel og buss blei anslått skjønnsmessig. Det blei ikke gjort noen nyttekostnadsanalyse.

## Sotrasambandet

Sotrabra er eneste forbindelse mellom Sotra og Bergen. Det er tiltakende forsinkelser etter hvert som trafikken øker. Nytttekostnadsanalysen i KS1 konsentrerte seg om dette hovedproblemet, men sårbarhet for hendelser er også et problem. Simulering av forsinkelsene med TASS5 ga ikke troverdige resultater, og som en forenkling ble det derfor lagt til grunn i nyttekostnadsanalysen at all relevant

trafikk går mellom de to sonene Sotra og Bergen. Som for Arna-Bergen er svakheten ved denne framgangsmåten også her at en ikke får tatt hensyn til effektene av endret reisemiddelvalg på køforholdene i Bergen sentrum.

For å beregne forsinkelsene ble det benyttet en modell der forsinkelsen per kjøretøy i 0-alternativet som en forenkling er proporsjonal med trafikkvolumet. Forholdet mellom trafikkvolum og forsinkelse ble beregnet ut i fra observerte forsinkelser og trafikkvolum i 2004 og 2007. Resultatet ble noe lavere forsinkelser i 2030 enn tilsvarende beregninger med TASS5.

I konseptene med økt antall felt for biler antas det at køene forsvinner på grunn av økt kapasitet. For å vurdere hvordan trafikkvolum og nytte vil bli påvirket av dette ble generaliserte reisekostnader beregnet med utgangspunkt i standardprisene i håndbok 140. For å vurdere effektene på trafikkvolumet ble det for biltrafikken brukt en enkel elastisitetsmodell med verdier som tilsvarer funn i nyere norske undersøkelser av bomprosjekter, mens det ble lagt til grunn endret kollektivtrafikk.

I konseptet som i stedet utvider kapasiteten med eget kollektivfelt ble det lagt til grunn tilsvarende elastisitet, men her bare for kollektivtrafikken.

Nytteberegningen ble gjort med utgangspunkt i trapesformelen.

## **E18 Knapstad-Vinterbro**

Konseptvalgsutredningen hadde funnet ut at det var små muligheter for overføring av trafikk fra veg til jernbane på strekningen. Forbedring av jernbanetilbudet kunne derfor vurderes som eget prosjekt, uavhengig av hva som skjer på veggen. På det grunnlaget var problemstillingen redusert til et valg av trase og vegstandard. Det viste seg at helt nye traseer heller ikke var aktuelle alternativer, på grunn av virkningene for natur, miljø og kulturlandskap. Følgelig blei hovedspørsmålet valg mellom brei tofeltsveg med midtrekkverk og firefeltsveg langs nåværende trase.

Med en viss støtte i konseptvalgsutredningen antok man at det ville være små etterspørsels- og rutevalgsendringer som følge av tiltaket. Nyttekostnadsanalysen kunne altså gjennomføres med "EFFEKT-metodikk". Veggen går i flatt lende, så det var ikke nødvendig å ta hensyn til horisontal- og vertikalkurvatur. For valget mellom to og fire felt var det derimot vesentlig å ta hensyn til kø i framtida. De vesentlige elementene i vurderingen blei da trafikkveksten i framtida, volumedelayfunksjonen for hvert av alternativene (to og fire felt), effektene for ulykker, og eventuelle konsekvenser for framkommeligheten og påliteligheten av ulykker og andre hendelser.

Det blei brukt en modell fra Minken og Samstad (2006) for å vurdere hyppighet og konsekvenser av hendelser. Den viste at dette ikke hadde store samfunnsøkonomiske konsekvenser. I siste instans var det altså beregningene av køkostnader og ulykker, sammen med drifts- og vedlikeholdskostnader, som blei utslagsgivende for vurderingen.

## Lavik – Skei

For prosjektet Lavik – Skei er det også aktuelt å kombinere nasjonale og regionale modeller. Prosjektet har effekter både for lokalbefolkningen (pendlereiser inn til Førde) og for de som reiser på hele strekningen og for godstrafikken.

Det ble valgt å ikke benytte noen transportmodellering i kvalitetssikringen. Telledata for flere snitt langs strekningen ble anvendt. Disse ble fremskrevet ved bruk av grunnprognosene for korte og lange personreiser og for godstrafikken på veg. En skjønsmessig vurdering ble lagt til grunn for fordeling av trafikken på ny og gammel veg der det var aktuelt. For å gjøre denne vurderingen ble også to tunnelalternativberegninger gjort i KVVU lagt til grunn når det gjaldt mulig fordeling av trafikken på ny og gammel veg.

Svakheten ved å ikke bruke transportmodeller er at ikke nyskapt trafikk blir inkludert. Dette er tatt hensyn til i usikkerhetsanalysen av nytten. En annen svakhet er evt uheldige vurderinger av fordelingen av trafikken på ny og gammel veg.

I denne kvalitetssikringen ble godstrafikken tatt vare på. Nyttens som følge av redusert reisetid og avstand ble inkludert.

## Oslopakke 3

De to alternativene i O3 besto av tjueårige investeringspakker med tilknyttede planer for driftstilskudd og brukerfinansiering. Hvis KS1 bare hadde stilt seg oppgava å prioritere mellom de to alternativene, ville den beste måten å gjøre det på være å supplere modellkjøringene i KVVU med noen få andre kjøringene som kunne brukes til å beregne nytte i perioden med vegprising eller bompenger før de første prosjektene i pakka var fullført og i perioden etter 2028, når bompengene faller vekk.

Men KS1 stilte seg høyere mål, nemlig å skille snørr og bart innfor hver av strategiene og trekke konklusjoner om hvilke elementer som ga et samfunnsøkonomisk bidrag og hvilke som ikke bidro vesentlig eller trakk samfunnsøkonomien ned. Det var to grunner til dette. For det første var det klart på bakgrunn av KVVU at det fantes store muligheter for å effektivisere begge alternativene, og for det andre ville kvalitetssikrerne bidra til en fornyet dialog mellom lokale og sentrale myndigheter, blant annet på grunn av de nye kostnadsoverslagene.

Ideelt sett krever en slik ”dekonstruksjon” av pakkene en *nettverksdesignmodell*, dvs. en modell som velger ut de riktige prosjektene og tiltakene i pakker der prosjektene avhenger av hverandre. Men uansett hvilken framgangsmåte en hadde brukt for å finne nye og bedre alternativer, måtte man i hvert fall ha en transportmodell som var langt raskere å kjøre enn det etablerte modellsystemet (EMMA/FREDRIK).

Med utgangspunkt i dette behovet konstruerte man skisseplanleggingsverktøyet STRATOS (Strategisk modellverktøy for Oslo). STRATOS har redusert antall soner i Osloområdet til snau 60. Etterspørselen er aggregert tilsvarende.<sup>1</sup> Den opprinnelige planen var å lage et nettverk som konsentrerte seg om hovedvegene og føydde til en del ”virtuelle” lenker for å sikre forbindelse mellom de 60 sonene for både bil og kollektivtrafikk. (Se nettverket som er avbildet i Steinsland 2008). I praksis valgte man i stedet å inkludere en passelig del av RTM-nettverket i modellsystemet. Det ga i første omgang et problem, nemlig at køene i systemet oppsto på feil sted, i nærheten av sentroidene til de 60 etterspørselssonene. Etter en tilpasning av kapasiteten på vegene rundt sentroidene kunne dette rettes opp.

Det neste problemet som oppsto, var at de ulike prosjektene som inngikk i alternativene var kodet i EMMA, ikke i RTM. Med den tida som sto til rådighet var det derfor umulig å teste og nyttekostnadsberegne ulike kombinasjoner av infrastrukturprosjekter, og STRATOS ble i praksis bare brukt til å finne optimal bruk av prisvirkemidlene og nytteberegne vegprisingsopplegget og bompengesatsene i de to alternativene.

Til nytteberegningen blei det laget et eget verktøy som erstatter trafikantnytte-modulen og kollektivmodulen i EFFEKT. Total tid for en kjøring med nytteberegning i STRATOS er under 5 minutter.

### *Vår vurdering*

KS1-analysene av Arna-Bergen, Kråkerøyforbindelsen, Sotrasambandet og Knapstad-Vinterbro er alle eksempler på en forenkling av analyseområdet til forbindelsen mellom to soner. På denne ene forbindelsen har man imidlertid valg av reisemåte i Arna-Bergen og Sotrasambandet. I Kråkerøysambandet er etterspørselen en funksjon av bomsatsene. I disse tre tilfellene er brukernytte beregnet med trapesformelen. I Knapstad-Vinterbro, hvor det ikke skjer endringer i bompengerekravet, behandles etterspørselen som uelastisk, og metoden er derfor kostnadsminimering.

Forenklingen i Lavik-Skei er i prinsippet den samme som i Knapstad-Vinterbro, men strekningen blir i det minste behandlet som sammensatt av flere lenker med ulik trafikk. Dette er da også nødvendig, siden prosjektet er sammensatt av forskjellige tiltak langs en lang strekning og trafikken varierer mer over strekningen. Valg av rute mellom ny og gammel veg er vurdert skjønnsmessig.

I alle disse tilfellene forelå trafikkberegninger eller modellkjøringer fra KVVU eller tidligere. Dette er trolig avgjørende for metodevalget, enten fordi modellene i sin nåværende form blei forkastet, eller fordi de hadde frambrakt data som kunne antyde at forenklingen var forsvarlig. Kanskje er det også et poeng å bruke andre metoder i kvalitetssikringen, slik at vi får en rimelighetskontroll av de metodene som er brukt i KVVU.

---

<sup>1</sup> Konsistent aggregering av etterspørselen i nested logit-modeller er behandlet i en artikkel av Olga Ivanova i Transportation Research B. Vår aggregering tilfredsstillende ikke fullt ut dette.



Antakelsen om at forsinkelsene er proporsjonale med trafikkmengden, som blei gjort i Sotrasambandet, vil formodentlig undervurdere køproblemene som kan oppstå i nullalternativet etter hvert som trafikken vokser.<sup>2</sup>

Enhver ny transportmodell bør gjennom omfattende testing og validering før den tas i bruk til alvorlige oppgaver. Generelt kan det derfor ikke anbefales å bygge opp egne, tross alt nokså kompliserte skisseplanleggingsverktøy for den enkelte kvalitetssikringsoppgava, slik det blei gjort i Oslopakke 3. Det beste ville vært å ha en utprøvd skisseplanleggingsmodell eller en tilpasset versjon av den ordinære modellen klar på forhånd. Et alternativ i den gitte situasjonen kunne være at kvalitetssikrerne hadde kunnet trekke på ressurser (modeller og mennesker) fra konseptvalgsutredningen. Man ville da ha kunnet studere i alle fall *noen* kombinasjoner av tiltakene i pakkene, men neppe så mange som man burde for å utforske handlingsrommet ordentlig.

---

<sup>2</sup> Antakelsen svarer til en lineær køfunksjon, eller m.a.o. å sette eksponenten lik 1 i en BPR køfunksjon.

## 4 Systematisk metode ved prioritering mellom konseptalternativer

### 4.1 Innledning

Gjennomgangen av konseptvalgusutredninger i kapittel 3 viser at praksis er svært ulik når det gjelder metodene for å eliminere uakseptable alternativer og metodene for endelig valg av et beste alternativ. Den metoden som brukes i hvert enkelt tilfelle er dessuten dårlig dokumentert og lite etterprøvable. Det er derfor behov for en viss *standardisering* når det gjelder å bruke nyttekostnadsanalysen sammen med graden av oppfyllelse av mål og krav og vurderingen av ikke-prissatte konsekvenser til å velge og prioritere mellom konseptalternativene.

Nesten alle KVVU-ene som er gjennomgått har stilt opp en eller annen form for konsekvensmatrise og bedømt den, enten verbalt eller med poenggiving av noe slag. Mange sier at de har ”anvendt systematikken” i vegvesenets Håndbok 140, men med tilpasninger. Det kan være et rimelig utgangspunkt, men vi må holde oss på et mye mindre detaljert nivå, og vi trenger å innarbeide det som særpreger konseptvalget.

Det som særpreger KVVU, til forskjell fra etatenes veiledere i konsekvensanalyse, er utgangspunktet i behov, mål og krav. De første og grunnleggende beslutningene gjelder spørsmål om i hvilken grad konseptalternativene oppfyller mål og krav. Til sammenlikning sies det eksplisitt i Håndbok 140 at målene med tiltaket *ikke* skal trekkes inn i konsekvensanalysen. De kommer først inn ved den endelige anbefalingen i håndbokas kapittel 9, og det er ikke gitt noen konkret metode for hvordan den skal gjøres. Dette er vel å forstå dit hen at konsekvensutredningen gjelder graden av oppfyllelse av målet om samfunnsøkonomisk lønnsomhet. Andre mål kan telle med ved den endelige anbefalingen, men må ikke blandes inn i analysen av samfunnsøkonomisk lønnsomhet.

KVVU har altså et annet siktemål og en annen detaljeringsgrad. Derfor er det forståelig at noen etterlyser en systematisk metode for å rangere og prioritere konseptalternativene. Man kunne nok behandle mål og krav som ikke prissatte konsekvenser etter Håndbok 140, men metodene kan ikke være like i detalj, og heller ikke like faste, siden det varierer såpass mye hva mål og krav er i det enkelte tilfellet. Dessuten kan det rettes kritikk mot deler av metodene i Håndbok 140 – se Minken m.fl. (2005), som er lagt ved som vedlegg 2.

I et forsøk på å finne fram til en systematisk KVVU-metode går vi fram slik i dette kapitlet: Vi prøver først å finne ut hva mål og krav skal kunne være i konseptvalgusutredninger på samferdselsområdet, og hvilken rolle det prosjektutløsende behovet, samfunns målet og effektmålene bør spille i den endelige prioriteringen mellom alternativene. Deretter diskuterer vi hvordan vi kan sette opp en konsekvensmatrise, der mål og krav har funnet sin plass ved siden av (eller eventuelt som en del av) nyttekostnadsanalysen. Til slutt har vi konkrete forslag

til hvordan vi skal komme fra konsekvensmatrisen til en rangering eller prioritering av alternativene.

## 4.2 Problemstillingen

Vårt mål i dette kapitlet er en systematisk metode for prioritering mellom alternativene i konseptvalgsutredninger i samferdselssektoren. Metoden må sikre at vi tar hensyn til all relevant informasjon som framkommer i utredningen. Det betyr informasjon om prosjektutløsende behov, prosjektets samfunns mål og effektmål, alternativenes virkninger på alle områder som dekkes av de nasjonale transportpolitiske målene, og graden av oppfyllelse av andre krav som er stilt opp. Metoden må være rasjonell i den forstand at vi ikke anvender annet enn den relevante informasjonen ved prioriteringen, og i den forstand at vesentlige forskjeller mellom alternativene på vesentlige områder spiller større rolle for prioriteringen enn uvesentlige forskjeller på mindre vesentlige områder. Den må være transparent og etterprøvbart – det skal være mulig å skjønne hvordan prioriteringen framkommer og kontrollere de saksforholdene som har spilt en rolle. Den skal ikke være en mekanisk tvangstrøye som pålegger oss å utrede og behandle saker som etter beste skjønn ikke vil ha noen virkning på avgjørelsen. Den skal tilfredsstillende kravene i rammeavtalen, og den skal inngi tillit til avgjørelsen hos beslutningstakerne.

## 4.3 Vårt utgangspunkt

Problemstillingen ovenfor faller inn under den normative teorien om rasjonelle beslutninger. Dette er et bredt felt med mange ulike tilnæringer og forskningsområder. Med utgangspunkt i forskning om hva slags beslutningsunderlag stortingspolitikere ønsker seg, og hvordan de anvender det underlaget de har (Nyborg og Spangen 1996, 2000), har Karine Nyborg ved Frischsenteret formulert såkalte *tilstrekkelige indikatorer* for beslutningstakerens valg, og kritisert samfunnsøkonomiske analyser for å være en unødvendig og teoretisk tvilsom aggregering av informasjonsunderlaget som beslutningstakeren trenger (Brekke m.fl. 1996, Nyborg 2000, 2002). Hennes tilstrekkelige indikatorer innebærer i praksis å sette opp en *konsekvensmatrise*, men overlate resten til beslutningstakeren. En konsekvensmatrise er en tabell som rangerer eller setter karakter på alternativene for hver av de relevante konsekvensene. Tabellene i Håndbok 140, med pluss og minus som oppsummerer hvordan alternativene gjør det på de ulike temaområdene, er konsekvensmatriser.

Vi kan trygt si at å sette opp en fullstendig konsekvensmatrise er første steg i en rasjonell beslutningsprosess. Spørsmålet er hvordan en kommer derfra til en samlet rangering av alternativene, eller til valg av et beste alternativ. Nyborg med flere stiller altså spørsmål ved om det er noe behov for det. Men samtidig er vi pålagt å gjøre det. Noe må vi gjøre, og det bør helst skje så rasjonelt, transparent og etterprøvbart som mulig.

Begrepet flermålsanalyse (multi-criteria analysis) er noe snevrere enn beslutningsteori; Det brukes oftest om bestemte formelle metoder for å utlede valg og prioriteringer fra konsekvensmatrisen. Den klassiske grunnboka i flermålsanalyse

er Keeney and Raiffa (1976). En norsk framstilling finnes i Gottschalk og Wenstøp (1983). Et prosjekt i CONCEPT-programmet har behandlet muligheten for å anvende flermålsanalyse i konseptvalget og pekt ut noen aktuelle metoder (Jordanger m.fl. 2007).

Den samme kritikk som Nyborg retter mot nyttekostnadsanalysen kan i enda større grad rettes mot de fleste formene for flermålsanalyse.<sup>3</sup> Vårt utgangspunkt for å behandle problemstillingene her er at med høvelige advarsler og forbehold er nyttekostnadsanalysene i samferdselssektoren både nyttige og nødvendige, spesielt når man ikke bare presenterer et enkelt tall, men virkningene for ulike sektorer og grupper, slik vi gjør. Samtidig er vi ute etter metoder som tar hensyn til andre forhold enn de som beregnes i nyttekostnadsanalysen, men gjør det på en måte som både er transparent og etterprøvbar og sikrer en form for minimumsrasjonalitet. I det sistnevnte ligger det at prioriteringen må tilfredsstillende kriterier som alle rasjonelle beslutningstakere kan være enige om, men samtidig åpne for at beslutningstakerne kan ha ulike preferanser.

Vi begynner med å drøfte hva slags elementer som bør være med og ikke være med i en konsekvensmatrise i en konseptvalgsutredning. Deretter vil vi stille krav til framgangsmåten for å komme fra konsekvensmatrisen til valget av ett eller kanskje flere alternativer som skal videreføres til forprosjektfasen. Til slutt tar vi for oss konkrete metoder og bedømmer dem på grunnlag av kravene.

#### 4.4 Prosjektutløsende behov og overordede mål

Som vi veit, skal vi innledningsvis i utredningen identifisere det prosjektutløsende behovet, dvs. grunnen til at prosjektet bør gjennomføres, formålet med det hele. Det er den regulerende ideen for all seinere planlegging i prosjektet og for gjennomføringen av det. Vi veit hvordan en ide om ny jernbanelinje, en ny veg eller en bru kan få seg et navn, begynne å bli omtalt i pressa, finne vegen til partiprogrammene osv. og dermed få en symbolverdi eller en verdi i seg sjøl for lokalsamfunnet eller spesielle interessegrupper. Det gjelder ikke bare konkrete prosjekter, men også bestemte typer av tiltak, som høyhastighetstog, firefeltsveg, fastlandsforbindelse, sammenhengende standard, ... Vi kan kalle det samferdselspolitikkenes fetisjer, de magiske løsningene på alle slags problemer. Uten et klart definert prosjektutløsende behov vil prosjektplanleggingen og gjennomføringen lett bli en arena for skiftende interesser og hensyn, organisert rundt en prosjektide med fetisjkarakter, en abstrakt lykteamulett.

I første rekke skal det identifiserte prosjektutløsende behovet gi opphav til de overordnede målene i prosjektet, spesifikke og kvantifiserte samfunns- og effektmål. Troen på at tiltaket skal kunne dekke det identifiserte behovet, skal altså kunne bevises i praksis gjennom at konkrete målsettinger oppnås. Vi kan sammenlikne formuleringen av de overordnede målene med å utvikle en empirisk test på en hypotese. Testen må være valid, dvs. den må teste det den sier den skal

---

<sup>3</sup> Nyborgs hovedpoeng er at folk har for ulike preferanser til at det skal ha noe for seg å formulere en velferdsfunksjon, dvs. samfunnets nyttefunksjon. Men også flermålsanalysen baserer seg på å formulere nyttefunksjoner – ofte på mer tvilsomt grunnlag enn nyttefunksjonene i samfunnsøkonomiske analyser, som gjerne har et visst empirisk grunnlag i betalingsvillighetsstudier og studier av elastisiteter.

teste – her graden av tilfredsstillelse av det prosjektutløsende behovet. Den må kunne skille prosjektutførelser som innfrir det identifiserte behovet og utførelser som ikke gjør det.

De overordede målene kan altså tjene til å sette opp krav som alle alternativer må tilfredsstillere om de skal være relevante i forbindelse med utredningen av hvordan et konkret prosjektutløsende behov skal dekkes. Vi må understreke at det ikke er *åpenbart* på et tidlig stadium om et konkret alternativ passerer en slik test. Anta behovet er å redusere kjøpproblemene i rushtida, og effektmålene er formulert som kvantifiserte tidsbesparelser for ulike brukergrupper. Som regel vil det da ikke være mulig å si om de er oppfylt før alternativanalysen er gjennomført.

Det er hensiktsmessig å sette opp en liten tabell som viser om alternativene oppfyller de overordede målene – ja eller nei. Det er ikke det vi mener med en konsekvensmatrise, for som regel vil de overordede målene dreie seg om virkninger som vi også har mer detaljerte opplysninger om. Det er av interesse for prioriteringen mellom alternativene om et alternativ oppfyller de overordede målene med klar margin eller bare så vidt – eventuelt også om de stryker på denne testen med stor eller liten margin. Det er en sammenfatning av disse mer detaljerte opplysningene som skal inn i konsekvensmatrisen.

## 4.5 En hovedkilde til krav: De nasjonale transportpolitiske målene

Samferdselsprosjekter har konsekvenser på en rekke områder: framkommelighet, trafikksikkerhet, miljø osv. I konseptvalgssammenheng bør det allment være krav om at de positive konsekvensene er størst mulig og de negative konsekvensene minst mulig. De nasjonale transportpolitiske målene vil derfor være en hovedkilde til krav som kan stilles i kravdokumentet. De er også brutt ned på hovedmål, delmål, etappemål og indikatorer som kan være til hjelp for å operasjonalisere kravene.

### De nasjonale målene

Samferdselsdepartementet har etablert en offisiell målstruktur for transportsektoren (SD/FKD 2006).<sup>4</sup> Det overordnede målet er

- ❖ *Å tilby et effektivt, tilgjengelig, sikkert og miljøvennlig transportsystem som dekker samfunnets behov for transport og fremmer regional utvikling*

Under dette finnes et sett av hovedmål på de fire områdene framkommelighet og reduserte avstandskostnader, et sikkert transportsystem, et transportsystem der miljø er tatt hensyn til, og et transportsystem som er tilgjengelig for alle. Hovedmålet for framkommelighet er:

- ❖ *Bedre framkommelighet og reduserte avstandskostnader for å styrke konkurransekraften i næringslivet og for å bidra til å opprettholde hovedtrekkene i bosettingsmønsteret*

<sup>4</sup> Oppdatert målstruktur med litt annen ordlyd finnes i siste Nasjonale transportplan.

Under dette hovedmålet er det etappemål angående pålitelighet, reisetid, rush-tidsforsinkelser og framkommeligheten for gående og syklende.

Hovedmålet for trafikksikkerhet er:

- ❖ *Transportpolitikken skal bygges på en visjon om at det ikke skal forekomme ulykker med drepte eller livsvarig skadde i transportsektoren*

Etappemålet for trafikksikkerhet er å redusere antall drepte og hardt skadde i vegtrafikken med en viss prosentandel innen 2020.

Hovedmålet for miljø er:

- ❖ *Transportpolitikken skal bidra til å redusere miljøskadelige virkninger av transport, samt bidra til å oppfylle nasjonale mål og Norges internasjonale forpliktelser på miljøområdet*

Det er etappemål som gjelder utslipp av klimagasser og NOX, lokal luftforurensning og støy, naturinngrep, kulturminner, kulturmiljø, kulturlandskap og dyrka jord, samt utslipp til sjøs.

Hovedmålet når det gjelder tilgjengelighet er:

- ❖ *Transportsystemet skal være tilgjengelig for alle og transporttilbudet skal gjøre det mulig å leve et aktivt liv*

Etappemålet her gjelder tilgjengelighet til kollektivtransport.

Et viktig trekk ved denne målstrukturen er at hyppig forekommende mål av mer praktisk karakter, som overføring av gods fra veg til sjø og bane, økt kollektivandel, trafikkveksten skal tas kollektivt, skjerming av bysentrum for biltrafikk eller samordning av areal- og transportpolitikken i form av utbygging langs kollektivårene, ikke forekommer her. Dette må nå sees som *strategier* som skal sikre oppfyllelse av mål, ikke som mål i seg sjøl.<sup>5</sup>

Vi merker oss også at framkommelighetsmålet peker på enda mer grunnleggende mål (konkurranseskraft og spredt bosetting) som transportpolitikken skal tjene. Dette gjenspeiles til en viss grad i etappemålene, hvor det for eksempel settes som mål å redusere rushtidsforsinkelsen for næringsliv og kollektivtrafikk, men ikke for private reiser med bil.

## Mål og krav i store statlige transportprosjekter

Mål og krav i store statlige transportprosjekter bør etter vårt skjønn normalt være konkretiseringer av ett eller flere av de nasjonale målene. Det vanligste vil kanskje være mål om framkommelighet, trafikksikkerhet og miljø. (Mål angående klimagasser, NOX, luftforurensning, støy, natur- og kulturlandskap og tilgjengelighet vil imidlertid som oftest måtte håndteres med avgiftspolitik, reguleringer og mindre tiltak.)

<sup>5</sup> Det er mulig at skjerming av bysentrum for biltrafikk gjenspeiler et grunnleggende mål om bruk av gaterommet til andre formål enn trafikk.

Kan det i det hele tatt tenkes store transportprosjekter som har mål som ikke på en eller annen måte faller inn under eller konkretiserer de nasjonale målene? Ja, det kan det. I noen prosjekter (Bjørvikatunnelen er et eksempel) følger behovet for å gjøre noe med transportinfrastrukturen av byutviklings- og lokaliseringsplaner, av nye anlegg for oljeutvinning og industri, osv. I Oslopakke 3 er flere av vegprosjektene kanskje motivert av de nye byutviklings- og næringsutviklingsprosjektene som kan realiseres når vegen legges i tunnel, uten at det sies veldig eksplisitt. Forbedring av bymiljøet, i form av trivelige og levende sentrumsområder eller trygge og gode boligområder, kan være målet med noen transportprosjekter, og denne typen mål er vel ikke fullt reduserbare til mindre støy og luftforurensning, og heller ikke til bevaring av kulturmiljøet.<sup>6</sup>

Pålitelighet er – kanskje litt kunstig – definert inn under begrepet framkommelighet i de nasjonale målene. La oss gjøre en distinksjon mellom pålitelighet og sårbarhet, og definere pålitelighet som få og små forstyrrelser i framkommeligheten til daglig, og upålitelighet som store daglige forstyrrelser. Pålitelighet kan da noen ganger være et eget hovedmål for store prosjekter. Sårbarhet definerer vi som sannsynligheten for at svikt i ett ledd i infrastrukturen kan få meget alvorlige (og gjerne langvarige) konsekvenser for sambandet mellom ulike steder i landet. Å redusere sårbarheten i transportsystemet er åpenbart et særegent mål som gjerne har med antallet og kvaliteten på alternative ruter og reisemåter å gjøre.

Man kan gjerne si at pålitelighet og redusert sårbarhet er dekket av begrepet framkommelighet, men man kan ikke nekte for at det er noe annet enn gjennomsnittlig transporttid, og må måles på en annen måte. Dermed bør det også kunne være sjølstendige mål.

Reduserte avstandskostnader (inklusive komfort?) og reduserte ulykkes- og miljøkostnader inngår i de nasjonale målene, men en kan også tenke seg prosjekter som er motivert av reduserte kostnader for infrastrukturholder og/eller kollektivselskaper. Dette dekkes vel av begrepet effektivitet i det overordnede målet, men reflekteres ikke i hovedmålene. Likevel kan det være et mål for store prosjekter. Endelig har vi det tåkete uttrykket fleksibilitet. En vesentlig egenskap ved for eksempel nye dobbeltspor på jernbanen er større frihet for operatørselskapene til å legge opp ruteplaner og driftsopplegg. I hvert fall i denne forstand kan fleksibilitet være et mål. Det dekkes ikke umiddelbart av en nyttekostnadsanalyse av dobbeltsporet, ettersom den forutsetter et bestemt driftsopplegg.

Fordelingspolitiske mål vil særlig være aktuelle dersom prosjektet inneholder vegprising eller høye bompenger og takster. Det er mindre aktuelt å legge fordelingspolitiske mål til grunn for reine infrastrukturprosjekter, siden det da er snakk om geografisk likebehandling og fordeling. Hvis vi skulle legge avgjørende vekt på det, burde det ha vært formulert mål for minstestandard når det gjelder tilgjengelighet<sup>7</sup> på nasjonalt nivå. Det burde kanskje gjøres, men er ikke gjort. I mangel av en klar politikk på området vil det være en tendens, for eksempel i fylkestingene, til å fordele vegprosjektene slik at alle distrikter blir tilgodesett

---

<sup>6</sup> I PROSPECTS-prosjektet kalte vi det "livable streets and neighbourhoods", og foreslo en indikator for å måle det.

<sup>7</sup> I betydningen accessibility, dvs. hvor lett og billig det er å delta i aktiviteter på andre steder når man bor på sted X.

etter tur.<sup>8</sup> Det står formodentlig i motsetning til de hensynene som ligger bak hele KS1-ordningen.

Det som er nevnt her, burde være en uttømmende liste over mulige områder å sette seg mål på i store statlige investeringsprosjekter i samferdselssektoren. Vi bør altså ikke godkjenne mål som ikke er mål i seg sjøl, men snarere strategier for å oppnå mål, slik som de eksemplene vi har nevnt til slutt i avsnittet om nasjonale mål. Det er tenkelig at samfunns mål og effektmål kan knyttes til forhold som er mer fundamentale enn de som er nevnt her, slik som økt produktivitet og konkurransekraft i næringslivet. Men i så fall står vi overfor problemer med å lage gode indikatorer som gir grunnlag for å måle måloppnåelsen. Den eneste måten vi kan påvirke slike mål på, er da også ved å oppnå målbare forbedringer i framkommeligheten, påliteligheten og sårbarheten. Da knytter vi heller målformuleringen til det.

## 4.6 Kilder til krav

Krav er legitime føringer og hensyn vi må ta, uansett hvilke mål vi har satt oss og hvilke alternativer vi velger. Vi må naturligvis holde oss innafor norsk lov, internasjonale konvensjoner og gyldige politiske vedtak på nasjonalt nivå. Dette er et krav, eller snarere en kilde til krav vi må stille. Men ikke alle krav har en absolutt karakter. Hvis det foreligger en lov som forbyr vegbygging i et sårbart område, kan vi ikke legge vegen over det. Men hvis det foreligger en lov eller et vedtak som sier at Norge skal redusere en type av utslipp med x prosent, så er det noe vi skal prøve å bidra til med prosjektet, men ikke noe som utelukker alternativer som bidrar med mindre enn x prosent. Lova stiller ikke som krav at alle prosjekter skal bidra med like mye.

Finansiering bør ofte formuleres eksplisitt som et krav. Bompengene må kunne innbringe det de forutsettes å innbringe. Kollektivselskapet må kunne drive det planlagte tilbudet med overskudd gitt forutsetningen om offentlige kjøp, osv. Dette behandles grundigere i kapittel 10.

Nasjonale transportpolitiske mål som ikke er formulert som mål i prosjektet, kan gjerne konkretiseres til krav i prosjektet. Det vil særlig gjelde trafiksikkerhet, miljø og tilgjengelighet. Gyldige lokale arealbruksplaner og transportpolitiske planer kan også gi opphav til krav, men en viss kritisk sans er da på sin plass. Det er ikke sagt at dersom du vedtar plan A, får du automatisk gå videre med planlegging av tiltak B i den form som passer deg best.

Ofte bør kravene utformes slik at det er mulig å tilfredsstille dem også ved forholdsvis enkle tiltak i nullalternativet. Vi må tru at det er mulig å holde seg innafor lover og andre føringer uten at det skal koste en halv milliard eller mer. Kravene vil snarere ha til hensikt å utelukke eller lage vanskeligheter for noen av *tiltaksalternativene*. Den motsetningen som finnes mellom de nasjonale målene, gjenspeiler seg ofte som en motsetning mellom mål om *bedre* framkommelighet og krav om å *bevare* miljøet.

---

<sup>8</sup> Dette skjer ikke bare ”ute i distriktene”. Fordelingen 60/40 mellom Oslo og Akershus var selve grunnprinsippet bak sammensetningen av Oslopakke 3 (lokalt forslag).



## 4.7 Indikatorer

Til alternativanalysen trenger vi indikatorer på alle felter hvor det er stilt mål og krav. Indikatorene skal måle graden av måloppfyllelse og graden av innfrielse av krav. Uten gode indikatorer vil prioriteringen mellom alternativene ikke bli etterprøvbart og transparent. Indikatorene skal brukes til (1) å vurdere om de gir informasjon som er vesentlig for prioriteringen av alternativene, og (2) til å formulere en konsekvensmatrise som viser hvor godt eller dårlig alternativene gjør det på hver av de indikatorene som har vesentlig betydning for prioriteringen.

Anta nå at det er gjennomført en nyttekostnadsanalyse av alternativene i konseptvalgutredningen. Vi har da allerede gode indikatorer på måloppfyllelse og innfrielse av krav for mange av de målene og kravene som kan være stilt for prosjektet.

### Framkommelighet

I kompliserte transportsystemer der de reisende har mange valgmuligheter, er trafikantnyttens beste målestørrelse framkommelighet. I enkle tilfeller der transportomfanget er det samme med og uten tiltaket, og der den eneste aktuelle reisemåten har samme komfortegenskaper før og etter tiltaket, faller trafikantnyttens sammen med besparelsen i generaliserte reisekostnader. Men generelt er aggregert endring i reisetid eller generaliserte reisekostnader et upålitelig mål på framkommelighetsforbedring, fordi folk gjerne velger å reise mer eller oftere når det blir lettere og raskere.<sup>9</sup> Hvis en altså her ville følge Nyborg og holde seg til fysiske måleenheter, fikk vi enten et svært uoversiktlig disaggregert bilde, eller et muligens forvridd aggregert bilde.

Trafikantnyttens inkluderer naturligvis også spart reisetid på grunn av redusert kø i rushtida, ikke bare for kollektivtrafikken og næringslivet, men også for private reiser med bil. (Hvis vi bruker rimelige tidsverdier, er det ingen ytterligere grunn til å gi næringslivets transport forrang framfor annen transport.)

Trafikantnyttens er naturligvis en bestanddel i nyttekostnadsregnestykket.

Siden transportmodellene er mindre gode på endringer for gående og syklende, kan det være hensiktsmessig å føye til en indikator for dette. Hvis en bruker en av indikatorene for gang og sykkel i det nasjonale målhierarkiet (F4), så lar denne seg ikke innpasse i nyttekostnadsregnestykket. Her har vi altså potensielt en konsekvens som kan behandles som en ikke-prissatt effekt.

---

<sup>9</sup> Framkommelighet er notorisk upresist definert i SD/FKD (2006), som vi har vært inne på. Hvis vi definerer det som nytten av reduserte avstandskostnader eller av billigere, raskere og mer komfortabel transport, så har vi nok dekket departementets hovedbetydning. Det er liten forskjell mellom framkommelighet i denne betydningen og tilgjengelighet, slik den blei definert i fornote 3. Forskjellen er bare at tilgjengelighet fokuserer på reisemulighetene, framkommeligheten på den faktiske bruken av reisemulighetene.

## Trafikksikkerhet

Dette målet er også del av nyttekostnadsanalysen. Om en ønsker fysiske størrelser, vil de kunne rapporteres fra underlagsmaterialet til nyttekostnadsanalysen, eller enkelt finnes om en kjenner den typiske sammensetningen av ulykker på de strekningene som er aktuelle. Men trolig vil folk være nokså komfortable med de relative enhetsprisene på ulykker av ulik alvorlighetsgrad, slik at informasjon om den samlede ulykkeskostnaden i hvert alternativ er godt nok.

## Miljø

Endring mht. CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, lokal luftforurensning og støy inngår i nyttekostnadsanalysen, verdsatt med en gitt enhetspris og målt enten i fysiske enheter eller i enheter pr. kilometer. Det er altså enkelt å få ut måloppfyllelsen. Ønsker man å stille seg skeptisk til enhetsprisene, kan hver av disse konsekvensene presenteres separat i konsekvensmatrisen – den relative forskjellen mellom alternativene for hver konsekvens vil være den samme uansett enhetspriser. Er man noenlunde komfortabel med enhetsprisene, kan utslipp og støy inngå samlet i konsekvensmatrisen.

Naturmiljø, kulturmiljø og dyrka mark inngår ikke i nyttekostnadsanalysen. Dette er blant de ikke-prissatte virkningene i Håndbok 140. En høvelig indikator på måloppfyllelse for hvert av disse målene bør utvikles for KVVU-formål. De nasjonale indikatorene er vel kanskje ikke brukbare på dette nivået, og noen detaljert kartlegging slik som i Håndbok 140 er det heller ikke tale om. Enkle indikatorer av typen sikkert problem/potensielt problem/intet problem, eller subjektiv rangering av alternativene i hver av disse dimensjonene, er aktuelt.

## Tilgjengelighet

Den tilgjengeligheten det er snakk om her, er ikke folk flests mulighet til å reise overalt, men alles mulighet til å reise på bestemte strekninger og transportmidler. Indikatorene i det nasjonale målhierarkiet kan trolig tilpasses til konseptvurdering, i alle fall slik at alternativene kan karaktersettes eller rangeres etter om de bidrar eller ikke bidrar til målene. Videre pågår det et prosjekt på TØI om verdsetting av universell utforming, slik at det kan tenkes at det blir mulig å inkludere dette målet i nyttekostnadsanalysen i framtida.

## Indikatorer vedrørende mål og krav om byutvikling, næringsutvikling, regionaløkonomi, produktivitet og konkurransekraft

Her har vi to muligheter. Hvis et alternativ faktisk skaper eller frigjør arealer som ellers ikke kunne vært brukt til noe nyttig eller lønnsomt formål, må vi prøve å verdsette disse arealene og inkludere det i nyttekostnadsanalysen – alternativt rangere alternativene etter hvor store arealer det er snakk om på en egen rad i konsekvensmatrisen.

Hvis ingen nye arealer skapes eller frigjøres, må vi i utgangspunktet anta at alle videre virkninger i økonomien bare er omfordelinger av trafikantnytt. Dette vil være tilfelle dersom pris er lik grensekostnad i hele økonomien og det ikke finns

stordriftsfordeler eller agglomerasjonsfordeler. Jo mer prisene avviker fra grensekostnad, jo mer kan virkningene i resten av økonomien avvike fra trafikantnyttens – i begge retninger, faktisk. Se SACTRA (1999) for drøfting av dette. Vi har i Norge ingen modeller som kan hjelpe oss med å korrigere trafikantnyttens for imperfeksjoner i resten av økonomien, så for øyeblikket får vi bare anta at effektene er små eller moderate. Alternativt kan vi bruke visse retningslinjer som framkommer i SACTRA-rapporten. Under alle omstendigheter kan det bli dobbelttelling å legge til økte husleier eller eiendomspriser i nyttekostnadsanalysen. Eiendomsprisene vil stort sett bare være trafikantnyttens i en annen form.

### **Pålitelighet og sårbarhet**

Har vi en transportmodell, er det enkelt å måle hvor sårbart nettverket er for bortfall av lenker og noder – se Minken m.fl. (2008, siste kapittel). Vi kan altså utvikle en indikator som måler forbedringer med hensyn til dette målet. Men den kvantifiserer ikke forbedringen i kroner og øre, og lar seg derfor ikke innpasse i nyttekostnadsanalysen.

Etter hvert skal vi også få skikk på pålitelighet, som da vil kunne inkluderes i nyttekostnadsanalysen. Det er måling av reisetidsvariabiliteten og hvordan den påvirkes av tiltak som er hovedproblemet, men også verdsettingen kan forbedres. Det pågående verdsettingsprosjektet som gjennomføres av TØI og Sweco-Grøner vil kunne forbedre denne delen. Om verdsetting av pålitelighet for persontrafikk, se Fosgerau og Karlström (2007), og når det gjelder gods, se Minken og Samstad (2006).

### **Fordelingsvirkninger**

Fordelingsvirkninger er en sak som har mange sider, slik at det kanskje trengs mange tabeller for å framstille det ordentlig. Det betyr at det er vanskelig å inkludere det i konsekvensmatrisen. Men det er naturligvis mulig å oppsummere virkningene i form av en enkelt karakter, på samme måte som ikke-prissatte virkninger ellers. Det vil ikke være lett å lage retningslinjer for dette, og det kreves vel at de politiske målsetningene på området er klart uttrykt. Det er ikke umulig å beregne et sammenfattende mål på fordelingsvirkningen, men erfaringen viser at dette målet er ubehagelig følsomt for valg av parametre (Ramjerdi 2006).

### **Finansiering**

Om et alternativ har realistisk finansiering, lar seg kontrollere på grunnlag av nyttekostnadsanalysen, se kapittel 10.

### **Når prosjektet er nødvendig for å realisere vedtatte eller igangsatte prosjekter utenom transportsektoren**

OL på Lillehammer og Bjørvikautbyggingen i Oslo er eksempler på prosjekter utenom transportsektoren som har krevd transportløsninger som godt kunne ha falt under KS1-ordningen. Hvis et slikt samferdselsprosjekt skulle bli aktuelt for KS1, skulle det egentlig vært vurdert sammen med prosjektet som det er en

essensiell del av. Hvis det ikke har skjedd, har vi å gjøre med et absolutt krav, og vi må sile vekk alle alternativer som ikke fyller sin funksjon for det andre prosjektet. Ellers går vi fram som før.

### Kort oppsummering om indikatorer

Tabell 1 er tilnærmet en fullstendig liste over områder som det kan være aktuelt å stille opp mål og krav på, etter det som er sagt i teksten ovenfor. For hvert område angir vi med kryss om det inngår i de nasjonale transportpolitiske målene og om nyttekostnadsanalysen gir en god indikator på måloppfyllelse og innfrielse av krav på området. Tvilstilfeller markeres med spørsmålstejn.

Tabell 1 Områder hvor det kan formuleres mål og krav

		Inkludert i NTP-målene	Måles i nyttekostnadsanalyse	Særlig aktuelt som overordnet mål i KVVU
1	Forventet framkommelighet	X	x	x
2	Pålitelighet	X	?	x
3	Sårbarhet			?
4	Bedre for gang og sykkel	X		
5	Reduserte kostnader		x	
6	Trafikksikkerhet	X	x	x
7	Klimagassutslipp	X	x	
8	Lokal luftforurensning	X	x	
9	Støy	X	x	
10	Fleksibilitet driftsopplegg			
11	Naturmiljø	X		
12	Kulturmiljø	X		
13	Jordvern	X		
14	Tilgjengelighet for alle	X		
15	Fordelingspolitiske mål			
16	Finansiering		x	
17	Byutvikling og regionaløk.	?		
18	Lov og internasjonal rett			
19	Påkrevd av andre grunner			x

Vi ser at de nasjonale transportpolitiske målene alle er tatt opp i nyttekostnadsanalysen, med unntak av økt framkommelighet for gående og syklende, tre miljøspørsmål og tilgjengelighet for alle. Pålitelighet er et tvilsspørsmål, siden vi mangler objektive metoder til å vurdere hvordan tiltak påvirker det. Reduserte kostnader for infrastrukturholder og kollektivselskap er utelatt eller underkommunisert i de transportpolitiske målene, men måles i nyttekostnadsanalysen. På de aktuelle områdene hvor det ikke kan finnes indikatorer i nyttekostnadsanalysen, har vi antydnet mulige indikatorer i teksten.

Områder som verken dekkes av NTP-målene eller behandles i nyttekostnadsanalysen, omfatter sårbarhet, fleksibilitet i utformingen av driftsopplegg og fordelingspolitiske spørsmål. De to siste linjene i tabellen er etter vårt skjønn de eneste grunnene for å stille opp absolutte krav, bortsett fra det absolutte kravet om at alternativene må oppnå de overordede målene (samfunns mål og effektmål) som er satt i prosjektet. Bortsett fra dette er det alltid snakk om å avveie hensyn mot hverandre, selv om de er formulert som krav.

## 4.8 Konsekvensmatrisen

Vi mener, som de fleste som har gjennomført KVV til nå, at det er hensiktsmessig å presentere konsekvensene i en matrise. Det gir den nødvendige oversikten for å kunne avveie alle hensyn mot hverandre og komme fram til en endelig rangering av alternativene. Men selv om konseptvalgusutredningen bør rapportere hvordan alternativene gjør det på hvert eneste av de 18 områdene som anses relevante i det konkrete tilfellet, er det ikke sikkert at alle behøver å være med i konsekvensmatrisen. Indikatorer som bare gir ubetydelige forskjeller mellom alternativene, kan utelates. Her, som på andre områder av livet, gjelder det å konsentrere seg om de forhold som kan ha en vesentlig betydning for den avgjørelsen som skal tas.

Her er en test som gir en tilstrekkelig grunn til å stryke en konsekvens fra konsekvensmatrisen: Still spørsmålet: Vil det være mulig gjennom forprosjektering å gjøre alternativene like med hensyn til denne konsekvensen? Hvis ja, så ta denne konsekvensen bort fra matrisen.

Et ufravikelig prinsipp må være at man ikke i konsekvensmatrisen presenterer måloppfyllelse for de målene som er innbakt i nyttekostnadsanalysen sammen med nyttekostnadsanalysen. Det blir dobbelttelling.

Det vil da vise seg at konsekvensmatrisen får en overkommelig størrelse – foruten netto nåverdi kan det dreie seg om 3-8 mål, krav og ikke-prissatte konsekvenser som ikke allerede er innbakt i netto nåverdi. Dersom vi skal følge Nyborg et stykke på veg, skal vi i tillegg dele opp netto nåverdi i fire deler: Trafikantnytte, ulykkeskostnader, miljøkostnader og kostnader for det offentlige (inklusive skattevirkninger og kollektivselskapets underskudd), slik at hver enkelt kan tildele delene ulik vekt. Om det er nødvendig eller ikke, avhenger av hvor stor tiltro som finnes til enhetsprisene. Det oppdelte nyttekostnadsregnestykket bør presenteres i rapporten, på samme måte som vi presenterer alle indikatorene som er beregnet, men vi holder det åpent om vi trenger en slik oppdeling i konsekvensmatrisen. Kan vi ikke nøye oss med nyttekostnadsbrøken?

Uansett har vi fremdeles to problemer. Det ene er at radene sikkert ikke er like viktige. Noen konsekvenser berører mange, andre berører få. Noen saksområder har kanskje flere indikatorer, andre saksområder er slått sammen i én indikator. Da blir det feil å behandle matrisen som om alle konsekvenser hadde samme vekt. Det andre problemet er at radene har ulik benevning, noen er i kroner, andre i en slags karakterer, og atter andre er bare en rangering av alternativene. Praksis viser at det blir vanskelig å få noe ut av slike tabeller. Hva kan vi gjøre med det?

Vi kan ikke gjøre om alt til kroner. Da er det tre muligheter: gjøre om alt til rangering, gjøre om alt til samme type karakterer, eller beholde en rad med kroner og gjøre om resten til karakterer av samme slag (eller til rangering).

Å gjøre om alt til rangering har fordeler og ulemper. Ulempen er at mye pålitelig og relevant informasjon går tapt – ikke for oss, men for det systemet som skal produsere en prioritert liste av alternativene. La oss si at tre alternativer har netto nåverdi +600, -500 og -502. De vil da bli rangert 1, 2 og 3 i den rekkefølgen på dette kriteriet. Litt bedre blir det hvis vi ser bort fra ubetydelige forskjeller og rangerer de to siste på delt andreplass. Men forskjellen mellom lønnsomhet og ulønnsomhet kommer ikke klart fram.

Fordelen er at tabellen blir seende oversiktlig og interessant ut, og at vi får tilgang til en stor teori om hvordan et sett av rangeringer kan brukes til å finne en samlet rangering. Dette feltet kalles social choice, voting theory eller liknende. La oss kalle det avstemningsteori. Vi lar altså hver konsekvens være et komiteemedlem med sine meninger om hvilket alternativ som er best, nestbest osv., og spør oss så hva som vil bli resultatet hvis de kommer sammen i plenum og skal stemme over saka. Det kommer naturligvis an på avstemningsreglene, og ulike regler har ulike gode og dårlige egenskaper. Spørsmålet er om vi ikke kan kompensere for tapet av informasjon ved å gå over til rangering ved bare å bruke komiteen til en begrenset oppgave, nemlig å sortere vekk håpløse alternativer, alternativer som ikke kan vinne uansett hvilken forskjell i kroner det måtte være mellom alternativet som kom på sisteplass og alternativet på nestsisteplass på netto nyttekriteriet. Vi ser nærmere på det i neste avsnitt.

Å gjøre om alt til karakterer har også sine fordeler og ulemper. Vi må legge til grunn at det er gitt en instruksjonsbok for hvordan karakterene skal settes, på samme måten som veiledninger for sensorer i skolen, og at de som skal sette karakterene har fått opplæring og trening, på samme måte som dommerkurs i kunstløp, skihopping osv. Fordelen er da at vi bevarer mye mer av informasjonen om alternativene. Fordelen er også, på samme måte som rangering, at konsekvensmatrisen gir et enhetlig og oversiktlig inntrykk. Ulempen er at det tross alt er mye kvantitativ og kvalitativ informasjon som går tapt. Dessuten er det mennesker, med sine svakheter, som skal sette karakterene. De kan ha interesser knyttet til utfallet, det kan gå inflasjon i karakterene osv. – omtrent som i skolen.

## 4.9 Framgangsmåter

Konsekvensmatrisen inneholder alle informasjonen som er relevante for rangering og valg av alternativ. Hvordan vi går videre avhenger av hva den viser. Vi utelukker ikke at uformelle metoder, basert på en vurdering av hvilke konsekvenser som er vesentlige for avgjørelsen og hvilke vesentlige forskjeller som finns mellom alternativene, kan være tilstrekkelig i noen tilfeller. I mer uoversiktlige tilfeller vil en formell metode være til hjelp. Formelle metoder kan også brukes som kvalitetssikring av rasjonaliteten i en prioritering som er framkommet på annen måte.

### Rangering, siling, valg

Retningslinjene for KS1 sier at vi skal rangere alternativene, og ber oss i tillegg velge ut et beste alternativ. Vi stiller spørsmål ved om ikke dette bør endres. Et hovedformål bør være å sile ut en delmengde av alternativene, nemlig de som kan droppes helt i den videre planleggingen. Videre kan det ofte være hensiktsmessig å velge ut minst to alternativer som går videre til konsekvensutredning. Hvis vi bare har valgt ut ett, må det kunne utvikles videre i ganske ulike retninger, ettersom Plan- og bygningslova og utredningsinstruksen pålegger oss å ha minst to alternativer i tillegg til nullalternativet. Også hensynet til den store usikkerheten som finnes på konseptvalgsstadiet, tilsier at vi viser litt forsiktighet med å utrope

en og bare en vinner. Det kan godt tenkes at det finnes alternativer som vokser etter hvert som man får studert dem nøyere eller bearbeidet dem litt.

Det kan godt være hensiktsmessig å foreta en fullstendig rangering av alle alternativene, men det kan godt være to streker i denne tabellen, en nedrykningsstrek og en sluttspillsstrek.

## Dominans

Dersom det finns et alternativ som gjør det bedre enn et gitt, annet alternativ på minst ett kriterium, og ikke dårligere på noen, sier vi at det første alternativet dominerer det andre, eller at det andre alternativet er dominert. Dominerte alternativer har det som regel ingen hensikt å ha med videre, men vi må kanskje åpne for unntak dersom de to alternativene er nesten jamnbyrdige og det finnes en mulighet for at resultatet kan bli annerledes ved en mer inngående analyse.

Vi bør altså først studere konsekvensmatrisen med sikte på å identifisere dominerte alternativer. Men sjøl om de til slutt havner under nedrykksstreken, kan det ha en hensikt å ikke ta dem bort straks. Grunnen er at de metodene vi vil bruke til å rangere alle alternativene, som regel ikke vil ha egenskapen ”uavhengighet av irrelevante alternativer”. Det betyr at det kan ha en innvirkning på rangeringen av de andre alternativene om vi har med de dominerte alternativene eller ikke under rangeringen. Vi bør derfor foreta rangeringen både med og uten de dominerte alternativene, for sikkerhets skyld.

## Absolutte krav

Hvis det finnes et absolutt krav i tilknytning til ett eller flere av kriteriene i konsekvensmatrisen, kan vi jo straks stryke de alternativene som ikke tilfredsstill det. Men her er det grunn til å bli mistenksom. Er dette kravet helt absolutt? Er det helt utenkelig at et alternativ som ikke tilfredsstill det, kan være så godt på andre områder at vi likevel ville likt å beholde det? Kan det ikke tenkes at om vi bare endret litt på alternativene som ikke tilfredsstill det absolutte kravet, så kunne de likevel oppfylle det?

Vi leiker ikke butikk. En utredning som stiller opp en mengde alternativer og stryker dem nesten alle sammen fordi de ikke tilfredsstill et absolutt krav, har åpenbart hatt til hensikt fra starten å komme fram til et bestemt resultat. Det må gå an å ta hensyn til det absolutte kravet på et tidligere stadium, når alternativene formuleres, og komme opp med et sett av alternativer som alle oppfyller dette kravet.

Det vi sier her, er at kriteriene i konsekvensmatrisen normalt alltid skal være av det slaget at det går an å avveie graden av målutfyllelse eller innfrielse av krav mot hverandre. Absolutte krav er noe alle alternativene som presenteres i matrisen, inkludert nullalternativet, skal kunne oppfylle. Dette må være sikret allerede på et tidligere stadium, når alternativene defineres.

Vi bemerker også at det ikke bør knyttes absolutte krav til noen av de målene vi behandlet i avsnitt 4.5. De kan alle sammen avveies mot hverandre i et konkret prosjekt, fordi det er mål som skal oppnås på et mer aggregert nivå, som resultat av mange prosjekter og mange virkemidler.

## Våre forslag til mer formelle metoder

Nedenfor presenterer vi to formelle metoder til prioritering basert på karaktersetting. Den første bygger på at nyttekostnadsbrøken inngår i konsekvensmatrisen, og den andre bygger på at netto nåverdi inngår i konsekvensmatrisen oppdelt på trafikantnytte, operatørnytte, nytte for det offentlige og nytte for samfunnet for øvrig.

Dessuten foreslår vi to metoder basert på rangering. Disse metodene resulterer ikke i noen fullstendig prioriteringsrekkefølge, men karakteriserer en delmengde av alternativene som kan sies å være bedre enn de andre, og der det beste alternativet ut fra rimelige kriterier bør befinne seg. De krever algoritmer som er programmert i Matlab for å bli beregnet, og er tenkt som metoder for å kontrollere om den rangeringen en kommer fram til, er robust med hensyn til prinsippene for rangeringen. En anbefaling som har satt et alternativ utenfor denne delmengden øverst, kan ikke sies å ha behandlet konsekvensmatrisen på en rasjonell måte.

### Metode nr. 1 basert på karaktersetting

Alternativene gis karakter fra -1 til 2 for hvert kriterium – altså enten -1, 0, 1 eller 2. Grunnen til nettopp denne firetrinnskalaen er at den dekker hele det mest realistiske området for nyttekostnadsbrøken (netto nytte pr. budsjettkrone). En finere inndelt skala kunne vært brukt, men det blir en avveining om vi har data som tillater det. Karaktergivningen på kriteriet samfunnsøkonomi blir altså for eksempel:

- NNB mindre enn -0,1: Karakter -1
- NNB mellom -0,1 og 0,5: Karakter 0
- NNB mellom 0,5 og 1,5: Karakter 1
- NNB over 1,5: Karakter 2

For de andre kriteriene i matrisen må det defineres hvordan disse karakterene skal brukes. Et utgangspunkt er at -1 innebærer alvorlige problemer og 0 innebærer små og ubetydelige konsekvenser eller problemer som kan avhjelpes.

De andre kriteriene som kan være med i konsekvensmatrisen omfatter effekter for gående og syklende, sårbarhet, pålitelighet, natur/kultur/jordvern hensyn, fleksibilitet i framtidig planlegging, fordelingsvirkninger, tilgjengelighet for alle, frigjorte arealer og forbedring av bymiljøet. Dersom alle alternativene har små og nokså ubetydelige virkninger på et kriterium, dvs, bare nuller, kan det utelates fra matrisen. Vi står da vanligvis igjen med en håndfull kriterier.

Etter vårt skjønn bør nyttekostnadsanalysen vanligvis telle mer enn de andre kriteriene. Men hvor stor nyttekostnadsbrøken er, spiller en rolle for hvilken vekt den bør tillegges. Vi kan derfor for eksempel ha følgende regel: Alle alternativer med karakter 1 eller 2 på samfunnsøkonomi og ingen minuskarakterer på andre kriterier, blir med for videre vurdering. Alternativer med minus 1 på samfunnsøkonomi skal utelukkes fra videre vurdering, med mindre det dreier seg om et konsept på et felt eller i et distrikt hvor en ikke kan vente bedre resultater.

I tillegg til disse reglene skal alternativene rangeres ved hjelp av en hovedkarakter, der alle kriterier bortsett fra samfunnsøkonomi teller likt, mens samfunnsøkonomi teller 2/3 av de andre kriteriene til sammen. De andre kriteriene teller altså 60 % og samfunnsøkonomi 40 % i hovedkarakteren. Grunnen til dette



valget er at vi vil at samfunnsøkonomien skal telle så mye som mulig uten å overstyre de andre kriteriene fullstendig. Samfunnsøkonomi må ikke bli en ”diktator” som alltid får det som han vil.

Etter dette opplegget finns det altså to måter å kvalifisere seg til videre utredning på – enten ved framragende prestasjoner i øvelsen samfunnsøkonomi, eller ved toplassering sammenlagt. (Jfr. skøyteløp)

## Metode nr. 2 basert på karaktersetting

I denne metoden inngår netto nåverdi i konsekvensmatrisen som fire ulike konsekvenser – trafikantnytte, operatørnytte, nytte for det offentlige og nytte for samfunnet for øvrig. Det er viktig at alle de fire konsekvensene er neddiskonterte nåverdier over hele analyseperioden, ellers vil tallene være usammenliknbare. Det er ni karaktertrinn fra minus 4 til pluss 4. Dette er nødvendig for at ikke kroner skal ha vesentlig ulik vekt i de fire radene som adderer seg til netto nåverdi.

Se først på disse fire radene. Finn det største negative tallet og det største positive blant alle alternativene, og del intervallet mellom de to tallene i ni deler, slik at de sju i midten er like store og de to på ytterkantene er halvparten så store. (Implisitt antar vi altså at de to ekstremverdiene ligger midt i sine egne delintervaller.) Sett karakter for hver konsekvens ut fra hvilket delintervall de faller i, fra minus 4 til pluss 4. Kontroller at summen av karakterene for hvert alternativ gir en rangering av alternativene som ikke avviker vesentlig fra rangeringen etter netto nåverdi. Om det ikke blir resultatet, må en vurdere en mer fininndelt skala.

Deretter må det settes karakterer på samme skala for de øvrige konsekvensene. Hovedkarakteren beregnes som den uvektede summen over alle karakterene. Den største utfordringen med denne metoden er å designe fornuftige karakterregler for de andre konsekvensene.

## Kvalitetssikringsmetoder basert på rangering

Et alternativ til å gi alternativene karakterer for hvert kriterium er å rangere dem. Ta for eksempel kriteriet samfunnsøkonomi. Hvis det er fem alternativer, gir vi alternativet med høyest nyttekostnadsbrøk tallet 5, det nestbeste får 4 osv. til det dårligste, som får 1. På samme måte går vi fram med de andre kriteriene. Generelt er det er lov å sette alternativer likt, for eksempel 5, 5, 3, 3, 1, men i de konkrete metodene vi foreslår nedenfor, er uavgjort ikke lov.

Vi ser hva forskjellen fra karaktersetting består i: Et tall sier ikke lenger noe om hvor godt et alternativ er på et område, men bare hvor godt det er i forhold til de andre. Differansen mellom to tall, for eksempel differansen mellom 5 og 3 i eksemplet 5, 5, 3, 3, 1, er heller ikke noe mål på hvor mye bedre det ene alternativet er enn det andre. Det er dette vi har kalt et tap av informasjon i forhold til en karakter, og det er derfor vi bare vil bruke dette til en form for kontroll av rimeligheten av resultatet fra en uformell prioritering eller en prioritering basert på karaktersetting. På den andre sida er det muligens lettere å rangere alternativene etter de mest ukvantifiserbare kriteriene enn det er å gi dem karakterer.

Før vi rangerer alternativene etter et kriterium som har en målbar indikator, som for eksempel nyttekostnadsbrøken, må vi ta stilling til hvor liten forskjellen må være for at vi skal rangere to alternativer likt (gitt at det er tillatt). Det innebærer en måte å ta hensyn til graden av usikkerhet på.

Har vi først gitt alternativene karakterer og satt opp en konsekvensmatrise på det grunnlaget, er det lett å oversette det til en rangering. Men det motsatte er ikke tilfelle.

## Avstemningsteori

Anta nå at vi har en konsekvensmatrise basert på rangering. Spørsmålet er hvordan vi kommer derfra til en samlet vurdering. Den samlede vurderingen kan være av forskjellig slag, nemlig enten valg av et vinnende alternativ, valg av en gruppe alternativer som skal gå videre, valg av en gruppe som skal droppes, eller en fullstendig rangering av alle alternativene. Som nevnt kan det være tvil om hva som er mest hensiktsmessig i KVVU-sammenheng. Uansett ønsker vi å gjøre vurderingen så rasjonell, transparent og etterprøvbar som mulig.

Det kan virke uvant, men vi kaller nå den endelige vurderingen og anbefalingen for en *avstemning*. Det er ikke dermed sagt at dette skal være et gruppearbeid – det er ikke folk som skal stemme, det er *kriteriene*. Kriteriene har liksom en mening om hvilket alternativ som er best, nestbest osv., og kan derfor liknes med velgere som skal velge mellom partier eller komitemedlemmer som skal ta en beslutning om ansettelse av en eller flere personer.

Det finns mange slags måter å gjøre det på, f.eks ved å sette to og to opp mot hverandre som i en fotballcup eller serie, ved at hver velger stemmer på sin beste kandidat, som i et stortingsvalg, eller ved at hvert land melder inn sin rangering av de ti beste kandidatene, som i Melodi Grand Prix. Hver metode har sine sterke og svake sider.

Helt siden middelalderen har det vært framsatt forslag til hvordan avstemninger (pavevalg!) kan gjennomføres på den beste måten når det er mange kandidater. Egenskapene til ulike metoder er utforsket og reformforslag framsatt. Feltet kalles på engelsk for voting theory. Den dag i dag foregår det mye matematisk orientert forskning på dette området – se vedlegg II i Jordanger m.fl. (2007) for en enkel innføring, eller sjekk ”voting theory” på Wikipedia. Et resultat av denne forskningen er metoder for kvalitetssikring av resultatene av å bruke en valgregel, i form av delmengder av alternativene som rimeligvis må inneholde vinneren eller være bedre enn de andre alternativene i en presis forstand.

## Kvalitetssikringsmetode nr. 1

Målet i denne metoden er å dele alternativene inn i klasser som er hierarkisk ordnet og der hver klasse består av ”likeverdige” (ikke-dominerte) alternativ. For eksempel, med  $n = 5$  alternativ kunne vi få klassene  $K_1 = \{2,4\}$  og  $K_2 = \{1,3,5\}$  der  $K_1$  er de beste alternativene og hvert av alternativene i  $K_1$  er bedre enn hvert av alternativene i  $K_2$ . Derimot er ikke alternativene i hver klasse ordnet (rangert) innbyrdes, så for eksempel i  $K_1$  sier vi ikke om alt. 2 er bedre enn alt. 4. Denne metoden har tilknytning til matematiske områder som *grafteori* og *matriseteori*, noe som bl.a. har betydning for hvordan slike klasser kan bestemmes på en effektiv måte. Vi går meget kort inn på denne sammenhengen.

Anta at mengden  $A$  av de  $n$  gitte alternativene er supplert med en parvis ordning for hvert par av alternativ. Vi kan tenke på dette som at alternativene svarer til  $n$  punkter og at det er en pil fra (punktet som svarer til) alt.  $a$  til (punktet som svarer til) alt.  $b$  dersom  $a$  regnes som bedre enn (”dominerer”)  $b$  i henhold til et visst

kriterium. (Kommentar: dette kriteriet kan være et enkelt kriterium som f.eks. miljøhensyn, eller det kan ha fremkommet ved å telle opp hvor mange ganger  $a$  slår  $b$  under ulike kriterier, og kåre en vinner ut fra dette). Vi skal anta at for hvert par  $(a, b)$  er det enten en pil fra  $a$  til  $b$  eller en pil fra  $b$  til  $a$  (selv om metoden kan generaliseres). Mengden  $A$  av alternativ samt disse pilene utgjør da det som kalles en *rettet graf*, faktisk kalles denne spesielle typen graf en *turnering*. En delmengde  $K$  av  $A$  kalles en (*sterk*) *komponent*, dersom man kan komme fra et vilkårlig alternativ  $a$  i  $K$  til et vilkårlig annet alternativ  $b$  i  $K$  ved å følge pilene (i riktig retning), om nødvendig via mellomliggende alternativer. Merk at man da kan si at  $a$  er ”bedre enn”  $b$ . I en komponent er altså hvert alternativ ”bedre enn” ethvert annet, så følgelig kan de oppfattes som likeverdige; vi kan ikke skille dem (på bare dette grunnlaget). Det finnes effektive søkealgoritmer i grafteori som for en rettet graf finner alle slike komponenter, bl.a. kan den såkalte Tarjan’s algoritme benyttes her.

Etter at man har funnet alle komponentene vil det være mulig å ordne disse på en ”hierarkisk måte”, si fra  $K_1$  til  $K_p$ . Med dette menes at for hvert par av alternativer  $(a, b)$ , der  $a$  ligger i  $K_i$  og  $b$  ligger i  $K_j$  med  $i < j$ , vil det være en pil fra  $a$  til  $b$ . Altså: hvert alternativ i  $K_1$  dominerer hvert alternativ i  $K_2, K_3$  osv., hvert alternativ i  $K_2$  dominerer hvert alternativ i  $K_3, K_4$  osv. Det finnes effektive (og enkle) algoritmer for å finne en slik ordning av komponentene. (Dette kalles å finne en transitiv ordning i en asyklisk rettet graf.)

*Oppsummering:* med denne tilnærmingen finner man en klassifisering i komponenter med ”likeverdige” alternativer, og en dominans-ordning mellom disse komponentene. Det vil derfor være naturlig å velge ett eller flere alternativ fra den beste klassen (komponenten) før man evt. går videre til neste klasse.

Vi har laget et dataprogram – skrevet i Matlab (et programsystem for tekniske og matematiske beregninger) – som for gitt mengde med alternativ og angitt parvis dominans, foretar beregning av komponentene og ordningen diskutert over.

## Kvalitetssikringsmetode nr. 2

Denne metoden er dokumentert i Dahl og Minken (2009) og programmert i Matlab. Utgangspunktet er en konsekvensmatrise der hver av konsekvensene rangerer alternativene på en slik måte at det ikke forekommer at to alternativer er like gode. La det for eksempel være 4 alternativer og tre konsekvenser – trafikantnytte, nytte for det offentlige og miljø. Rangeringen av alternativene når det gjelder trafikantnytte er  $\mathbf{t} = (4, 3, 1, 2)$ , hvilket betyr at alternativ 1 er det beste og får skår 4, alternativ 2 er det nestbeste og får skår 3, alternativ 3 er det dårligste og får skår 1, mens alternativ 4 får skår 2. Rangeringen når det gjelder nytte for det offentlige er  $\mathbf{o} = (2, 1, 4, 3)$  og når det gjelder miljø  $\mathbf{m} = (2, 4, 3, 1)$ . Det vil si at for hver konsekvens er rangeringen en omstokking eller *permutasjon* av tallene fra 1 til  $n$ , der  $n$  er antall alternativer.

Vi innfører et mål på hvor forskjellig to konsekvenser rangerer alternativene ved å ta tallverdien av differansen mellom skåren til hvert av alternativene og summere. Forskjellen mellom  $\mathbf{t}$  og  $\mathbf{o}$  er for eksempel  $|4-2| + |3-1| + |1-4| + |2-3| = 8$ . Det dataprogrammet gjør, er å finne en rangering (en permutasjonsvektor) som er slik at summen av forskjellene mellom denne vektoren og alle de andre (her  $\mathbf{t}$ ,  $\mathbf{o}$  og  $\mathbf{m}$ ) er minst mulig. En slik rangering er altså minst mulig ulik de rangeringene som

finnes i konsekvensmatrisen. Det som er fornuftig med denne metoden er at all informasjon behandles likt og tillegges like mye vekt, og at resultatet er et ”upartisk” kompromiss mellom de ulike hensynene.

Det kan finnes mange rangeringer som minimerer forskjellen til de andre. Metoden gir da ikke noe entydig svar på hvilken rangering som er best. Men den kan alltid brukes til kvalitetssikring, for hvis en konseptvalgsutredning har kommet fram til en prioritering som gir en større forskjell til rangeringsvektorene i konsekvensmatrisen enn det som er minimalt, kan vi si at den ikke har tillagt all informasjon like mye vekt eller ikke ser ut til å utgjøre et fornuftig kompromiss mellom de ulike hensynene.

## 4.10 Konklusjon

Vi har fremmet synspunkter på hvilke mål og krav som normalt vil være aktuelt i en konseptvalgsutredning på samferdselsområdet. På det grunnlag har vi skissert hvordan prioritering og anbefaling kan gjøres på en måte som er enhetlig, transparent, etterprøvable og rimelig rasjonell. Kjernepunktet i vår metode nr. 1 er å sette opp en konsekvensmatrise der samfunnsøkonomisk lønnsomhet og mål og krav som ”inngår” i den samfunnsøkonomiske lønnsomhetsberegningen, er representert ved nyttekostnadsbrøken, og andre mål og krav er bedømt på en tilsvarende skala etter mest mulig objektive kriterier. Bare konsekvenser som vil kunne ha avgjørende virkning for valget av alternativ (dvs. som er markert ulike i de ulike alternativene, og potensielt alvorlige) trenger å være med i konsekvensmatrisen. Samfunnsøkonomi tillegges større vekt enn de andre kriteriene. Vi har foreslått en metode for å beregne ”hovedkarakterer” for alternativene på grunnlag av konsekvensmatrisen.

Vår metode nr. 2 krever en finere inndelt karakterskala, slik at en krone av trafikantnytte, operatørnytte, nytte for det offentlige og for samfunnet for øvrig teller omtrent likt. Regler for karaktersetting for de andre konsekvensene må utformes, slik at de ikke teller for mye og ikke for lite i forhold til komponentene i nyttekostnadsanalysen.

Alternativt kan konsekvensmatrisen bygges opp av, eller omformes til, en matrise som rangerer alternativene etter hvert av kriteriene. Vi har foreslått en kontroll på rasjonaliteten i prioriteringen og anbefalingen basert på dette.

Ingen metode kan fullt ut sikre en rasjonell prosess. Det er heller ikke meningen å erstatte drøfting og skjønn med en mekanisk prosess. Men tatt i betraktning den ganske uoversiktlige og uensartede praksis på området til nå, tror vi ikke at en viss form for standardisering vil skade.

Ikke bare de prissatte konsekvensene, men også måloppfyllelse og ikke-prissatte konsekvenser, er usikre. Det tilsier at usikkerheten drøftes, og at det eventuelt gjøres følsomhetsanalyser på den endelige rangeringen.

## 5 Konseptbegrepet i konseptvalgutredninger

Statens prosjektmodell for store statlige investeringer inneholder to beslutningspunkter. Etter en forstudiefase skal regjeringen, etter innstilling fra aktuelt fagdepartement, fatte vedtak om oppstart av et forprosjekt. Grunnlaget for beslutningen skal være behovsanalyse, strategi-, og kravdokument samt alternativanalyse. KS 1 er en uavhengig analyse av konseptvalget før forslag til forprosjekt forelegges regjeringen. I samferdselssektoren er det etablert praksis for at beslutningsgrunnlaget for konseptvalg sammenfattes i en konseptvalgutredning (KVU). Samferdselsetatene bistår Samferdselsdepartementet i utarbeidelse av KVU. (KS2 er en uavhengig vurdering av styringsunderlag og kostnadsoverslag for det valgte prosjektalternativet etter gjennomført forprosjekt og før fremleggelse for Stortinget.)

Rammeavtalen mellom Finansdepartementet og de sammenslutningene som gjennomfører ekstern kvalitetssikring (Finansdepartementet 2005a) inneholder ingen definisjon av konseptbegrepet. Rammeavtalen sier imidlertid at hensikten med KS 1 er å sikre at konseptvalget undergis reell politisk styring. Videre fremheves det at den uavhengige alternativanalysen skal vurdere hvorvidt de oppgitte alternativene fanger opp de konseptuelle aspektene som anses som mest interessante og realistiske innenfor det samlede mulighetsrommet.

Formålet med vår rapport er å klargjøre hva som kreves i samferdselssektoren av en samfunnsøkonomisk analyse på konseptvalgsnivå, og identifisere metoder og databehov som følger av det. Etablering av en hensiktsmessig definisjon av konseptbegrepet inngår i dette arbeidet.

### 5.1 Generelt om konseptbegrepet

Professor Knut Samset drøfter i boken *Prosjekt i tidligfasen* (Tapir, 2008) konseptbegrepet i en sammenheng som ligger tett opp til kvalitetssikringsregimet. Samset fremhever fire egenskaper ved konsepter:

Konseptet er en tankekonstruksjon som er ment å skulle bidra til å løse et problem eller tilfredsstillende et behov

En kan tenke seg flere ulike konsepter som alternative løsninger på det samme problemet

Konseptene skal allikevel ha enkelte felles egenskaper som gjør dem egnet til å løse samme problem

Konseptene skal være reelle alternativer i betydningen gjensidig utelukkende

Konseptutvikling og –evaluering er en fase forut for etablering av prosjektet som et virkemiddel for å realisere mål. De økonomiske og sosiale virkningene bør

være mer fremtredende enn de tekniske aspektene i konseptutviklingen. Konseptet er på mange måter synonymt med det som kalles "business case" på engelsk, og beskrivelsen av konseptet bør være på et overordnet nivå.

Kravet om prinsipielt forskjellige løsninger på det samme problemet stiller krav til behovsanalysen. Behovsanalysen må utformes på en slik måte at samfunnets behov ikke beskrives som mangel på en spesiell teknisk løsning, men snarere som fravær av ønskede sosiale eller økonomiske effekter, samfunnsproblemer eller muligheter. Konseptene må likevel være beskrevet såpass konkret at det er mulig å gjøre konseptevaluering, i statens prosjektmodell i form av vurdering av oppnåelse av overordnede mål og krav samt samfunnsøkonomisk analyse.

Finansdepartementets veileder nr. 3, Felles begrepsapparat for KS1, inneholder følgende definisjon av et konsept: "*Prinsippløsning som ivaretar et sett av definerte behov og overordnede prioriteringer.*" Finansdepartementets veileder og Samsets fremhevelser er relativt sammenfallende, i hvert fall når det kommer til å peke på hvilke detaljnivå som bør legges til grunn i beskrivelser av konsepter. Oppsummeringsvis sier de at det skal foreligge et klart beskrevet behov eller problem som bør løses. Konseptet er et prinsipp for løsningen av problemet, spesifisert til det punkt hvor det er mulig å bedømme det i forhold til andre, konkurrerende løsningsprinsipper. De mest interessante og realistiske konseptene skal ifølge rammeavtalen bedømmes mot hverandre i en alternativanalyse, der ett av dem (eventuelt ingen av dem) skal anbefales lagt til grunn for et forprosjekt.

## 5.2 Spesielt om konseptvalg i forbindelse med KVU

Gjennomgangen av foreliggende KVUer viser at det er valgt flere tilnærminger til definisjon av konseptuelle valg. Nedenfor følger en forenklet fremstilling av valgt konseptnivå i KVUer som er gjennomgått. Listen er ikke uttømmende.

- Omfang/standard, inklusive rekkefølge (SVVs firetrinnsmetodikk)
- Kapasitet (to, fire eller seks felt på veg)
- Transportmiddel (bil eller buss på veg eller jernbane)
- Prisivirkemidler og restriksjoner i stedet for å bygge infrastruktur
- Gjennom eller rundt (bysentrum, naturområder etc.), trasévalg
- Ferje, bru eller undersjøisk tunnel

En sentral observasjon er at KVU-ene gjennomgående velger et mer detaljert nivå for konseptdefinisjonen enn hva som foreslås av Samset og Finansdepartementet. Dette leder i flere tilfeller til en generell utfordring forbundet med innsamling av informasjon til analyseformål, og mer spesielt i forhold til å lage analyser som er balansert med hensyn på detaljnivå mellom alle alternativene.

I tillegg til relativt detaljerte konseptdefinisjoner synes det å være en tendens til at mulige og ønskelige tekniske løsninger får dominere i arbeidet med å etablere konsepter. Linken til det identifiserte samfunnsbehovet eller problemet er ikke alltid like åpenbar. Det synes som at valgt detaljnivå leder til at konseptanalysene tidvis omfatter problemstillinger som med fordel kunne være utsatt til den etterfølgende forprosjektfasen.

Flere av eksemplene ovenfor innebærer konsepter som i liten grad kan sies å være gjensidig utelukkende. Dette gjelder kanskje spesielt konsepter som bygges

omkring frihetsgradene kapasitet, omfang og standard (SVVs firetrinnsmetodikk). Hvis konseptvalget reduseres til et valg mellom ulike prosjektomfang (punkttiltak, utbedring av eksisterende veg eller ny veg) eller kapasitet vil dette kunne medføre en sårbarhet for omkamp og mulig reversering/utvanning av konseptvalget gjennom forprosjektfasen. Det kan imidlertid ikke utelukkes at disse frihetsgradene i enkelte tilfeller kan være konseptuelt interessante, og at sårbarheten for utvanning av konseptbeslutningen kan reduseres til det akseptable gjennom prinsippbeslutninger i følge med konseptvalget.

Nullalternativet, eller et billig minimumsalternativ, vies relativt liten oppmerksomhet i de KVVU-ene som er gjennomgått og forsvinner mer eller mindre fra den valgsituasjonen som KVVU fremstiller. Manglende oppmerksomhet på nullalternativet er for så vidt en kjent utfordring i konseptutvikling, men savnet av et velutredet nullalternativ eller minimumsalternativ blir spesielt stort i situasjoner hvor det ikke finnes konseptuelle alternativ som synes å være samfunnsøkonomisk lønnsomme.

Tidvis synes det som andre hensyn enn samferdsel, så som finansiering, miljøhensyn og byutvikling får påvirke utforming av konseptene i stor grad, uten at disse hensynene er viet oppmerksomhet i det prosjektutløsnede behovet, mål og krav.

I flere KVVU-er er det påfallende hvordan avgrensning av tiltaket begrenser mulighetsrommet for konseptdefinisjon. Konseptutviklingen synes tidvis å være begrenset av hva som kan realiseres i ett enkelt eller et fåtall investeringsprosjekter (for eksempel konseptutvikling begrenset til erstatning av en ferjeforbindelse). Konseptuelle analyser av eksempelvis en vegparsell på Vestlandet blir utfordrende så lenge det er konseptuell usikkerhet om ideen kyststamvegen.

Vi ser også at det i enkelte KVVUer i liten grad skilles mellom det prosjektutløsnede behovet, i betydningen *hvorfor* i det hele tatt gjøre tiltak, og alle tenkelige positive eller uheldige sideeffekter av de ulike alternativene. I arbeidet med å finne de mest interessante konseptene innenfor mulighetsrommet tror vi det et avgjørende å holde fast ved det opprinnelige problemet, det prosjektutløsnede samfunnsbehovet.

Med detaljerte konseptdefinisjoner følger gjerne ambisjoner om å gjøre detaljerte analyser av alternativene. Det er flere eksempler fra KVVU-ene som tyder på at man har valgt å gjøre en rekke relativt detaljerte forutsetninger om konseptene for at de skal bli mulig å regne på, til tross for at det hefter stor usikkerhet ved forutsetninger. Det finnes også eksempler på at valgt detaljnivå har vært medvirkende til at KVVUene ikke har lyktes i å gjøre samfunnsøkonomiske analyser i det hele tatt.

En mulighet som i liten grad har vært utnyttet i KVVU-ene som er laget så langt er å bruke referansetall og sammenligninger med andre tiltak til å kaste lys over konseptvalget. Med grovere og mer prinsipielle konseptdefinisjoner tror vi dette vil aktualiseres. En KVVU som eksempelvis handler om behovet for forbedret forbindelse mellom øy og fastland bør kunne gjøre god nytte av referanser til andre tilsvarende tiltak for å belyse styrken i behov, fastlegge ambisjonene i overordnede mål og krav samt som kontroll av samfunnsøkonomiske beregninger.

### 5.3 Anbefalinger

Konseptvalgutredningene bør innledes med en drøfting av den valgte konseptuelle tilnærmingen til problemstillingen. En slik drøfting bør fremheve hvilke konseptuelle aspekter som er fremtredende i beslutningssituasjonen og hvilke forhold som må betraktes som premisser for konseptvalget.

Det bør fremgå av drøftingen hvor valget av konseptuelt nivå er forankret. Det er vanskelig å se at denne drøftingen kan utarbeides av etatene alene, uten aktiv involvering fra Samferdselsdepartementet.

Eksemplene ovenfor representerer etter vårt syn valg som tematisk kan være konseptuelt interessante. Det er imidlertid utfordrende at flere av konseptvalg-situasjonene hviler på mer eller mindre implisitte forutsetninger om eksempelvis finansieringsmåte- og evne, areal- og byutvikling og ideer om hva som er politisk gjennomførbart, og at dette bidrar til at konseptdefinisjonen blir for detaljert.

I lys av de presenterte forslagene til definisjon av konseptbegrepet synes det riktig å jobbe mot et grovere nivå for konseptdefinisjoner enn det som er presentert i KVUer så langt. Dette medfører at metoder som skal benyttes til samfunnsøkonomiske analyser bør gjøres mindre avhengige av detaljert input og styrkes med tanke på å fange mer prinsipielle forskjeller.

Videre anbefales det at det at analysene er tydelige på hvilke forutsetninger som er mest vesentlig for resultatene og hvilken usikkerhet som hefter ved forutsetningene.



## 6 Minstekrav til nyttekostnadsanalyse i KVVU

### 6.1 Behandling av nytte og kostnad i de 12 KVVU-ene

Tabellen nedenfor gir en oversikt over

- hvilke KVVU-er som har gjennomført nyttekostnadsanalyse,
- om resultatet i tilfelle er presentert på en slik måte at netto nåverdi eller nyttekostnadsbrøk enkelt lar seg lese ut,
- om det foreligger data som kan brukes til en grovvurdering av nytte og kostnader (se avsnitt 6.2).
- om det finnes opplysninger om modellkjøringer eller andre beregninger som kunne ha muliggjort en nær fullstendig nyttekostnadsanalyse
- om det finnes samfunnsøkonomisk lønnsomme alternativer,
- om det er et av de lønnsomme alternativene som er anbefalt, eller om det anbefalte alternativet er samfunnsøkonomisk ulønnsomt.

Tabell 2 Nyttekostnadsanalysen i gjennomførte KVVU

	NKA		Data		Lønnsomme alt.	
	<i>utført</i>	<i>presentert</i>	<i>grove</i>	<i>fullstendige</i>	<i>finnes</i>	<i>anbefalt alt. lønnsomt</i>
Eidsvoll – Hamar	ja	Ikke avgitt	ja	?	?	nei
Ringeriksbanen	nei	nei	ja	trolig	ja	nei
Arna-Bergen	nei	nei	ja	tvilsomt	ja	ja*
Kolomoen – Lilleh.	ja	nei	ja	ja	?	?
Lillehammer-Otta	ja**	ja	ja	ja	ja	ja
Rogfast	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Langangen - Grimstad	ja	ja	ja	ja	nei	mulig
Lavik-Skei	nei	nei	ja	nei	nei	nei
Haukelifjell	nei	nei	ja	nei	?	?
Sotrasamband	ja	ja	ja	ja	ja	nei
Sluppen (ikke lest)	nei	nei	?	?	?	nei?
Oslopakke 3	ja	ja	ja	ja	ja	ingen anbefaling
Knapstad-Vinterbro	ja	ja***	ja	ja	ja	ja

Kilde: TØI rapport 1011/2009

\* Lønnsomheten er her bedømt på grunnlag av KS1-rapport. I følge den finns det et lønnsomt alternativ, men anbefalingen kombinerer dette og et ulønnsomt alternativ.

\*\* NKA utført for alle vegalternativer, ikke tog.

\*\*\* Nytte er presentert udiskontert sammen med investeringskostnad.

Fem har ikke gjennomført nyttekostnadsanalyse, mens åtte har gjort det. Av de åtte er det imidlertid to som ikke har presentert resultatet slik at en kan se netto nåverdi og nyttekostnadsbrøk for hvert av alternativene. I det ene tilfellet mangler det bare en neddiskonteringsfaktor, men i det andre er det vanskeligere å bedømme lønnsomheten. Der er altså omtrent halvparten som må ha ment at netto nåverdi og nyttekostnadsbrøk ikke har noen betydning når en skal velge konseptalternativ. Vi kan ikke se at det samsvarer med utredningsinstruksen eller rammeavtalen.

I alle disse utredningene er det presentert tall som ville være tilstrekkelige for en grov vurdering av samfunnsøkonomisk lønnsomhet. Der hvor det er gjort beregninger som tillater en mer fullstendig nyttekostnadsanalyse, er det også stort sett gjennomført en slik analyse. Vi kan derfor ikke se bort fra at datamangel har vært en av hindringene for nyttekostnadsanalyse, men da i kombinasjon med oppfatningen om at grovvurdering vil gjøre mer skade enn gagn.

I sju av de ni tilfellene vi har undersøkt, fantes det et samfunnsøkonomisk lønnsomt alternativ. I fire av disse sju tilfellene er det enten anbefalt et ulønnsomt alternativ i stedet for det lønnsomme, eller et ulønnsomt alternativ er sluppet gjennom sammen med et lønnsomt. I minst ett av tilfellene hvor det ikke fantes noe lønnsomt alternativ, er et ulønnsomt anbefalt. I fem av ni tilfeller føres altså samfunnsøkonomisk ulønnsomme alternativer videre fra KVU. Selv om vi holder Oslopakke 3 utafør, dreier seg samlet om et mulig effektivitetstap på 10-20 milliarder. Heller ikke dette samsvarer særlig godt med utredningsinstruksen eller rammeavtalen. Faktisk reiser det spørsmålet om KVU har noen hensikt.

En god del av dette er rettet opp gjennom kvalitetssikringen – dersom etatenes og departementets anbefaling vil følge opp den. Praksis så langt viser at det ikke skjer.

Dette er grunnen til at vi mener at en grov vurdering av nytte og kostnader bør gjennomføres selv om data ikke tillater en fullstendig analyse. En kostnadskrone må tillegges samme vekt som en kvantifiserbar nyttekrone i KVU, og det sikres ikke med de metoder som ofte har vært i bruk til nå. I flere KVU-er er det eneste som gjøres å gi en rangering av nytten av de ulike alternativene i forhold til hverandre. Forholdet mellom nytte og kostnader framgår ikke klart, eller er ikke er nevnt med et ord.

## 6.2 Grovvurdering av nytte og kostnader

Det er mulig at en nyttekostnadsanalyse med dårlige eller manglende data gir inntrykk av å være sikrere enn den er, rett og slett fordi tall ser mer overbevisende ut enn ord. For å motvirke det inntrykket kan vi kanskje gi slike nyttekostnadsanalyser et eget navn. La oss kalle det grovvurdering av nytte og kostnader (GNK).

En GNK er en første kontroll av om et konseptalternativ kan ha noe for seg. Hvis vi finner at kostnadene vil være av en helt annen størrelsesorden enn nytten, slik at alternativet ikke har noen realistisk mulighet til å bli lønnsomt, så bør vi ha en

veldig god grunn for å videreføre dette alternativet.<sup>10</sup> Hvis ingen alternativer har noen realistisk mulighet til å bli lønnsomme, bør vi enten anbefale nullalternativet eller gå tilbake og identifisere mindre, men mer lønnsomme tiltak, enten det er punktvis utbedring, vedlikehold eller ulykkesforebyggende tiltak. Under enhver omstendighet bør vi i det minste rapportere klart om antatt lønnsomhet.

Selv om vi mangler data eller bare har grove gjennomsnittsdata, må vi derfor gjøre en GNK. Vi skal derfor se på hva som er det minste som trenges av data for en slik grovvurdering.

### 6.3 Minstekrav til data for en grovvurdering av nytte og kostnader

Et konseptalternativ A kan inneholde en eller flere komponenter  $K_1, K_2, \dots$ . Komponentene kan være enkeltstående prosjekter, som i en bypakke, eller tiltak på ulike transportslag, som når alternativer kombinerer vegtiltak og jernbanetiltak. Hver komponent kan karakteriseres ved

- En geografisk plassering, som kan defineres som et sett av nye lenker i de regionale transportmodellene eller i vegdatabanken e.l., eller som forbedring av eksisterende lenker.
- Den anslagsvise lengda på disse lenkene.
- Standarden på disse lenkene. Når det gjelder veg, består den av en fartsgrense eller hastighet ved fri flyt, vegbredda og de andre elementene som er brukt til å definere vegnormalene.
- Innslaget av gang- og sykkelveg, kryss av ulike slag, bruer og tunneler og andre spesielle anlegg.

Basert på dette vil det være mulig å bruke løpemeterpriser og andre enhetspriser til å anslå investeringskostnaden.

Når det gjelder *nytte* i vegprosjekter, er det i første rekke nødvendig å kjenne trafikkstrømmen på lenkene i nåsituasjonen, ruteendringene som følge av tiltaket og et anslag på gjennomsnittlig årlig trafikkvekst i analyseperioden. Nåværende trafikk kan tas fra tellinger eller fra RTM eller en kombinasjon. Ruteendringer kan en ofte se bort fra, eller en kan ta det fra en kjøring av RTM, hvilket krever koding av tiltaket. For trafikkveksten finns det fylkesvise prognoser, og en kan beregne en gjennomsnittlig økning på bakgrunn av dem.

Når det gjelder *nytte* i baneprosjekter, er det i tillegg til trafikk tall i nåsituasjonen nødvendig å ha definert et rimelig driftsopplegg.

Dette (pluss enhetspriser) er de dataene vi skal nøye oss med til en grovvurdering. Det innebærer at grovvurderingen ikke tar hensyn til at trafikantene kan tilpasse

<sup>10</sup> Etter vår mening er henvisning til vegnormalene ingen god grunn for å unnlate NKA eller, om nødvendig, GNK. Vi har grunn til å tru at vegnormalene ikke lar seg begrunne samfunnsøkonomisk, men ofte fører til firefeltsveger der hvor de samme framkommelighetsvirkningene og ulykkesvirkningene kunne vært oppnådd i 30 år framover med tofeltsveg med midtrekkverk. Vi ser heller ingen veldig god begrunnelse for slagordet om gjennomgående standard.

seg til det nye tilbudet. På grunnlag av de foreliggende dataene skal vi beregne tre indikatorer, nemlig

- Total innspart tid pr. år med prosjektet dersom det var realisert i nåsituasjonen
- Totalt innsparte kjøretøykilometer pr. år med prosjektet dersom det var realisert i nåsituasjonen
- En diskonteringsfaktor som tar opp i seg hensynet til den årlige trafikkveksten

Om nødvendig, slå sammen de lenkevise beregningene av tidsbesparelser og sparte kjøretøykilometer til beregning av lengre strekninger.

Det neste steget i grovvurderingen av nytten er å anvende enhetspriser på innspart tid og innsparte kjøretøykilometer:

- Gjennomsnittlig tidsverdi, hensyn tatt til bilbelegg og tungtrafikkandel, beregnes og multipliseres med innspart tid.
- Gjennomsnittlig kjørekostnad, ulykkeskostnad og miljøkostnad pr. kilometer beregnes og multipliseres med innsparte kjøretøykilometer. Kilder til enhetspriser er etatenes veiledere, trafikksikkerhetshåndboka og vedlegget til vegvesenets håndbok 115, vedlegg i ECONs rapport om eksterne marginale kostnader fra 2003 (unntatt for CO<sub>2</sub>) og en høvelig CO<sub>2</sub>-verdi pr. kilometer.
- Drifts- og vedlikeholdsbehovet pr. kilometer i det nye og det gamle transportnettet anslås ved hjelp av MOTIV eller EFFEKT, og innsparingen beregnes.<sup>11</sup>
- Multiplikasjon av den årlige innsparingen i tid, kjørekostnader, vedlikehold, ulykker og miljøkostnader med diskonteringsfaktoren.

Det tredje og siste steget i grovvurderingen av nytten består av å gjøre skjønnsmessige prosentvise påslag:

- Påslag i sparte tidskostnader for å ta hensyn til nyskapt trafikk
- Juster kjørekostnader og CO<sub>2</sub>-utslipp for å ta hensyn til endrede stigningsforhold
- Påslag i vedlikeholdskostnader for å ta hensyn til innslag av bruer, tunneler osv.

Anslag på nytten gjort på denne måten vil neppe være mer usikre enn kostnadsanslagene på dette stadiet. De vil kunne være til nytte for avveininger og avgjørelser som ikke er for vanskelige. Mer kompliserte avveininger må vente til vi har en mer fullstendig analyse.

Nå kan vi beregne netto nåverdi (neddiskontert nytte minus anleggskostnader) og nyttekostnadsbrøk. Dersom nyttekostnadsbrøken er håpløst dårlig (minus 1/2 eller verre) vil det være et klart tegn på at vi bør gå tilbake til tegnebrettet og definere et enklere konsept, dvs. ta fram firetrinnsmetodikken igjen. Fremmer vi likevel et slikt konseptalternativ uten en mer fullstendig analyse, bør vi være forpliktet til å rapportere resultatet av vår grovvurdering.

---

<sup>11</sup> Den mest oppdaterte kilden utenom MOTIV er trolig "Underlag for Konseptvalgutredning Oslo-pakke 3, prissatte konsekvenser. ViaNova 2007".

## Diskonteringsfaktoren

Anta trafikken øker med  $g$  pr. år og diskonteringsrenta er  $r$ . Nåverdien av et nytte- eller kostnadselement som er avhengig av trafikkveksten og innbringer 1 krone om ett år, er da

$$\frac{1+g}{1+r} = \frac{1}{1+\rho}$$

der  $\rho$  er en diskonteringsrente som inkluderer virkningen av trafikkveksten. Vi løser likningen for  $\rho$  og finner:

$$\rho = \frac{r-g}{1+g}$$

All nytte neddiskonteres til første år med trafikk på det nye anlegget. Trafikktallene vi legger til grunn, er regnet om med vekstfaktoren  $g$  fra det året trafikken er observert til dette åpningsåret. Diskonteringsfaktoren vi skal bruke for å finne nåverdien i åpningsåret av nytten i de neste 25 årene kaller vi  $D_{25}$ . Ved å bruke formelen for summen av en endelig geometrisk rekke finner vi

$$D_{25} = \frac{1+r}{r-g} \left( 1 - \left( \frac{1+g}{1+r} \right)^{25} \right)$$

Vi ønsker at grovvurderingen skal være mest mulig riktig når nytten er spesielt lav, siden det er da det er aktuelt å bruke grovvurderingen til å avvise et alternativ. Det innebærer at vi bør avvise den tradisjonelle restverdideregningen, som er proporsjonal med anleggskostnaden men uavhengig av nytten, til fordel for et anslag på nytten etter år 25. To alternativer peker seg ut. Det første er å beregne nytten ikke over 25 år, men fra nå til uendelig, men anta at trafikkveksten stopper opp etter år 25. Det andre er å beregne nytten til uendelig, uten en antakelse om at trafikkveksten avtar. Diskonteringsfaktoren i det sistnevnte tilfellet kaller vi  $D_{\infty}$ :

$$D_{\infty} = \frac{1+r}{r-g}$$

Diskonteringsfaktoren i tilfellet der vi beregner nytten etter år 25 uten trafikkvekst kaller vi  $D_{25+}$  og har

$$D_{25+} = D_{25} + \frac{1}{r} \left( \frac{1+g}{1+r} \right)^{25}$$

Vi antar renta er  $r = 0,045$  og beregner de tre diskonteringsfaktorene for  $g = 0$ ,  $g = 0,01$  og  $g = 0,02$ . Tabell 3 viser resultatet:

Tabell 3 Diskonteringsfaktorer med trafikkvekst  $g$  og  $r = 0,045$ .

	$g = 0$	$g = 0,01$	$g = 0,02$
$D_{25}$	15,5	17,1	19,0
$D_{25+}$	22,9	26,6	31,1
$D_{\infty}$	23,2	29,9	41,8

Kilde: TØI rapport 1011/2009

I tilfellet hvor vi nøyer oss med nytte i 25 år skal vi "etter boka" legge til restverdien av investeringen, som ved rente 4,5 % er ca. 12,5 % av investeringsbeløpet. Det gir et tillegg til  $D_{25}$  som blir prosentvis større jo mer negativ nyttekostnadsbrøken er. Ved nyttekostnadsbrøk 0 innebærer det for eksempel et tillegg til  $D_{25}$  på 12,5 prosent, men ved nyttekostnadsbrøk -0,75 gir det et tillegg på 50 prosent, hvilket gir verdier i nærheten av  $D_{25+}$ .

Vi ønsker ikke å bruke en restverdi som kompenserer for liten årlig nytte når prosjektet er spesielt dårlig, men på den andre sida er  $D_{25}$  aleine en undervurdering av nytten. En mulighet er da å bruke  $D_{25+}$ , men samtidig dele anleggs-kostnaden i to – en del som varer evig, og en del som må fornyes med jevne mellomrom fra nå til uendelig. Denne siste delen skal da multipliseres med faktoren  $(1 - e^{-rt})^{-1}$  som gir nåverdien av en uendelig kjede av gjentatte investeringer med levetid  $t$  (se Minken m.fl. 2001 og 2008). Restverdien på 15/40 av investeringen kan da droppes.

En grovere tilnærming består i å droppe restverdien og todelingen av anleggs-kostnaden, og bruke en diskonteringsfaktor omtrent midt mellom  $D_{25}$  og  $D_{25+}$ , dvs. mellom 20 og 25, avhengig av trafikkveksten.

$D_{\infty}$  anbefales ikke, da det er umulig å tenke seg at befolknings- og trafikkveksten skal fortsette i det uendelige.

### Anvendelsesområdet for GNK – vår vurdering

Alle de KVVU-ene vi har sett på, rapporterer data som svarer ganske godt til de minstekrav til data for GNK som vi har beskrevet her. De rapporterer for eksempel tidsbesparelsen oppdelt på strekninger, lengden av strekningene, ÅDT på strekningene og anslag på anleggs-kostnad. Det vil derfor være en overkommelig oppgave å bruke disse opplysningene pluss enhetspriser til å stille opp en GNK. Vi veit naturligvis ikke om framtidige konsepter vi være like nøyaktig beskrevet, men vi trur vel at det faktisk vil være tilfelle.

En grovvurdering av nytte og kostnader vil altså være mulig. Vi har argumentert for at det også vil være nyttig, i første rekke til internt bruk i utredningen. Som regel vil det være naturlig å gjøre en mer fullstendig samfunnsøkonomisk analyse i den endelige rapporten. Vi skal seinere se at det faktisk er mulig å bruke eksisterende verktøy selv om ikke alle data er på plass, og at det kan gi store og viktige forbedringer av analysen i forhold til GNK. Men om det ikke lar seg gjøre av en eller annen grunn, mener vi at resultatene av grovvurderingen må offentliggjøres – med alle naturlige forbehold, som å kalle nåverdien for "antatt nåverdi", nyttekostnadsbrøken for "antatt nytte pr. krone" e.l.

En forutsetning for grovvurdering etter dette opplegget er at det ikke oppstår nevneverdige køproblemer i de nærmeste 20 åra eller mer, heller ikke i nullalternativet. Hvis vi har køproblematikk, vil reisetida i de alternativene som ikke øker kapasiteten gradvis forverres med trafikkveksten. Det betyr at vi må ha framkommelighetsdata for mer enn åpningsåret. Videre må vi skille mellom ulike tider på døgnet, som har ulike køforhold. Det er ikke umulig å beregne dette for alle framtidsår ved hjelp av køfunksjoner, i alle fall ikke om det bare dreier seg om en enkelt strekning. Men det begynner å bli tungt. Hvis køene i tillegg gir opphav til ruteendringer, bør vi ha en rutevalgmodell med brukerlikevekt som løsningsprinsipp.

En hovedårsak til at det er mulig å gjøre en grovvurdering med så lite data som vi har antatt, er at det finnes et vell av data og informasjon om transportnettverket og brukerne nedfelt i eksisterende modeller og verktøy av ulikt slag. Det taler jo for å anvende disse verktøyene og modellene ved å kode inn i modellene og verktøyene de få dataene vi trenger om tiltaket. Vi har ingenting imot at man går direkte til det steget.

### **Vurder bruk av EFFEKT**

Svært ofte vil det være både enklere og mer tilfredsstillende enn "håndregning" å bruke EFFEKT på en forenklet måte ved grovvurderingen av nytte og kostnader. Hvordan det kan gjøres er emnet for neste kapittel.

## 7 Bruk av EFFEKT

### 7.1 Innledning

EFFEKT er Statens vegvesens hovedverktøy for å utføre nytte-kostnadsanalyser av veg- og trafikktiltak. En hensikt med programmet er at enhetlig metodikk ved beregning og sammenstilling av prissatte konsekvenser skal sikre at prosjekter i størst mulig grad blir sammenliknbare på tvers av geografisk lokalisering og uavhengig av hvilke fagpersoner som utarbeider utredningene.

Mye tyder på at det er en utbredt oppfatning at man må benytte alle mulighetene for innlegging av data om transportsystemet og tiltakene for å ha god nytte av programmet. Dette kan skyldes at brukerveilederne ikke sier så mye om hvilke forenklinger som kan gjøres og når dette er forsvarlig. Vår erfaring er tvert i mot at programmet er svært fleksibelt. Hvis man vet hvilke forenklinger som kan gjøres, er det mulig å oppdatere en eksisterende modell eller etablere en ny modell forholdsvis raskt. Omfattende vegprosjekter kan faktisk kodes med ganske få tastetrykk i EFFEKT, selv når det er kodet et stort antall nye lenker i transportmodellen. Noen generelle fordeler ved EFFEKT er at sammenstillingen blir standardisert, man trenger ikke bruke krefter på å dokumentere verktøyet, og trolig øker tilliten til analysen når man ikke har brukt hjemmesnekrede verktøy.

I avsnitt 7.2 ser vi på når det kan være fornuftig å bruke EFFEKT og når man bør vurdere andre verktøy i KVVU. I avsnitt 7.3 viser vi eksempler på forenklinger vi kan gjøre, og i avsnitt 7.4 antyder vi noen data vi trenger om tiltakene, transportsystemet og trafikken. Som vi vil se varierer verktøy- og databehovet mye, avhengig av konseptvalgsituasjon, sannsynlige virkninger, og hva slags transportmodell det er aktuelt å bruke. Kanskje varierer behovene så mye at det ikke er fornuftig å anbefale en metode i KVVU.

### 7.2 Når kan vi bruke EFFEKT?

Kort fortalt er EFFEKT velegnet for de fleste typer vegtiltak, og for mange kombinerte veg- og kollektivtiltak når man samtidig bruker Trafikantnyttmodul og Kollektivmodul. Programmet er velegnet både i forstudiefasen hvor man ikke har detaljerte opplysninger om tiltakene eller trafikksituasjonen, og i nøyaktigere analyser etter at tiltakene er mer eller mindre detaljprosjektet. Vår erfaring er at i forstudiefasen kreves omtrent samme detaljeringsnivå på tiltakene til beregning av investeringskostnader utenfor EFFEKT som til nyttekostnadsanalyse i EFFEKT. For vegtiltak trenger man i prinsippet bare et kart med mulige traséer skissert for hånd og en viss formening om aktuelle dimensjoneringsklasser for å kode tiltakene. I praksis vil man gå litt lenger enn dette for å ha noenlunde kontroll på investeringskostnadene. Da vil man som oftest ha mer enn nok informasjon om tiltakene til å kode disse i EFFEKT og eventuell transportmodell.



EFFEKT er meget godt egnet til å vurdere alternative *standardvalg* og ulike *traséer* ved bygging av ny veg, eller ved mindre *utbedringstiltak* for å bedre trafikksikkerheten og fremkommeligheten på eksisterende veg. Her er noen fordeler med EFFEKT sammenlignet med alternative verktøy når man analyserer vegtiltak: Vegstandard og kurvatur innvirker på tidskostnader, kjøretøykostnader og utslipp. Fart, avviklingsforhold og trafikksammensetning i ulike tidsperioder innvirker ikke bare på tidsbruk, men også kjøretøykostnader og utslipp. Forsinkelser i enkeltkryss kan beregnes eksternt og legges inn på lenker. EFFEKT har avansert metodikk for beregning av ulykkeskostnader basert på TS-EFFEKT med registrerte ulykker fra NVDB, og tilsvarende for beregning av drift- og vedlikeholdskostnader.

Ved valg mellom *bru* eller *tunnel* er det opplagt en fordel at vertikalkurvaturen tas hensyn til. Vi har ikke erfaring med EFFEKTs funksjonalitet for vurdering av *ferjeavløsningsprosjekter* eller forbedringer i eksisterende ferjesamband. Det samme gjelder muligheten for å beregne godstransportørers kostnader ved økt tillatt aksellast.

*Kollektivfelt* eller endret busstilbud kan håndteres enkelt i EFFEKT i tilfeller hvor det ikke er nødvendig å bruke transportmodell med variable matriser. Når det gjelder kollektivtiltak er det gjort noen erfaringer med RTM, Trafikantnyttmodulen og Kollektivmodulen. Hva rene *jernbanetiltak* angår, tyder erfaringene på at Jernbaneverkets regnearkverktøy er bedre egnet, mens Vegdirektoratets verktøy trolig er best på *kombinerte veg- og kollektivtiltak*, siden dette bør håndteres samlet i transportmodell. Etatenes metoder og enhetspriser er samordnet de siste årene, dermed bør det ikke være noe i veien for å bruke Vegdirektoratets verktøy på ett konsept og Jernbaneverkets verktøy på et annet i samme KVU. I slike tilfeller er det avgjørende at de som utfører analysene samordner metoder og forutsetninger mest mulig.

Når det gjelder omfattende *bypakker* med veg- og banetiltak, driftstiltak, parkeringskostnader og bompenger som varierer med kjøretøytype og tidsperiode, har transportmodellene, EFFEKT, Trafikantnyttmodulen og Kollektivmodulen det meste av den funksjonalitet som skal til. Det store problemet er etter vår mening at transportmodellenes beregningstid er så lang at man ikke får gjort de kjøringene det er behov for i KVU. Trafikantnyttmodulen og Kollektivmodulen krever lite ressurser av brukeren og beregningstiden er forholdsvis kort. Resultater for ett eller flere år leses enkelt inn i EFFEKT til sammenstilling. For mindre byer kan modellsystemet fungere rimelig greit, selv om det kan være noe tidkrevende å kode transportsystem og tiltak i transportmodell og EFFEKT, og å kjøre beregningene. For svært store prosjektpakker bør man vurdere andre verktøy enn EFFEKT for å beregne ulykker, vedlikehold og utslipp. Vi vil komme tilbake til eksempler på dette.

EFFEKT har en nyutviklet modul for å beregne tiltak i *gang- og sykkelvegnett*. Det kan ikke utelukkes at denne kan brukes sammen med andre verktøy i KVU for å vurdere kollektiv- og gang/sykkeltiltak som alternativ til flere bilfelt i en trang korridor i by. Programmet er ikke egnet til å vurdere vedlikeholdsstandard på vegenettet.

Nedenfor viser vi en tabell over aktuelle verktøy i ulike tiltakssituasjoner. Forskjellen fra tilsvarende tabell i håndbok 140 er at vi skiller mellom verktøy for

å analysere virkninger for trafikanter/transportbrukere og operatører, og verktøy for øvrige virkninger.

Tabell 4 Bruksområder for EFFEKT og transportmodeller

Tiltakssituasjon Inndeling i håndbok 140	Trafikkanalyse	Prissatte konsekvenser	
		Trafikanter og transportbrukere Operatører	Det offentlige Samfunnet for øvrig
A. Vegtiltak på enkeltstrekning som ikke påvirker trafikantenes adferd	EFFEKT	EFFEKT	EFFEKT
B. Tiltak i meget enkle vegnett som gir entydige endringer i reiserute	EFFEKT. Trafikkstrømmer mellom grensepunkt fordeles manuelt på kjøreruter, EFFEKT beregner trafikk på lenker.	EFFEKT	EFFEKT
C. Tiltak i større vegnett som gir komplekse endringer i valg av kjørerute, men små endringer i reisemønster for øvrig	Transportmodell med faste kjøretøymatriser	Normalt EFFEKT. Se tabell 5 <i>Forenklet bruk av EFFEKT, og andre aktuelle verktøy</i>	Normalt EFFEKT. Se tabell 5 <i>Forenklet bruk av EFFEKT, og andre aktuelle verktøy</i>
D. Tiltak i transportsystemet som påvirker turproduksjon, valg av reisemål eller reisemåte	Transportmodell med tiltaksavhengig transportmønster	Trafikantnyttmodul eller tilsvarende. Kollektivmodul, JBV's Excel-verktøy eller tilsvarende	Normalt EFFEKT. Se tabell 5 <i>Forenklet bruk av EFFEKT, og andre aktuelle verktøy</i>
E. Tiltak som påvirker lokaliseringmønster	Transportmodell med tiltaksavhengig lokaliserings- og transportmønster	Verktøy er ikke vurdert. Aktuelle verktøy og utfordringer er omtalt i Håndbok 140.	

Kilde: TØI rapport 1011/2009

### 7.3 Hvordan kan vi bruke EFFEKT på forenklet måte?

I tre av feltene i tabell 4 viser vi til tabellen under. Der antyder vi hvilke verktøy vi kan bruke og hvilke forenklinger vi kan gjøre avhengig av tiltakenes sannsynlige virkninger og hva slags transportmodell vi har til rådighet.

I tiltakssituasjon C (se tabell 4) omhandler tabellen konsekvenser for alle aktører, dvs. trafikanter/transportbrukere, operatører, det offentlige og samfunnet for øvrig. I tiltakssituasjon D omhandler tabellen konsekvenser for det offentlige og samfunnet for øvrig.

Tabell 5 Forenklet bruk av EFFEKT, og andre aktuelle verktøy

Situasjon	Verktøy og forenklinger
EFFEKT-modell foreligger	<p><i>Eksisterende EFFEKT-modell</i>                      For mange av transportmodellene som er i bruk i Norge, foreligger det en brukbar EFFEKT-modell som det vil være rasjonelt å ta utgangspunkt i. Dette gjelder også når det etableres delområdemodell av en større transportmodell, og det foreligger EFFEKT-modell for den store transportmodellen. Nye og tidligere brukere av modellen bør sammen vurdere om den er egnet for oppgaven og hva som kreves av tilpasninger.</p> <p>Øvrige situasjoner i denne tabellen gjelder tilfeller der det ikke foreligger EFFEKT-modell, eller denne ikke anses egnet som utgangspunkt.</p>
Tiltakene påvirker reisemønster i et meget stort vegnett.  Tiltakssituasjon C/D.	<p><i>Ny EFFEKT-modell med kombinasjon av standarddata og reelle data</i>                      Ny EFFEKT-modell etableres raskt med utgangspunkt i transportmodellene. Programmet er tilrettelagt for rasjonell nedlasting av data om ulykker, vegstandard og kurvatur fra NVDB, men i store modeller kreves noen ganger mye arbeid med kvalitetssikring av vegreferanse og NVDB-data. For å spare tid kan det vurderes å begrense dette til de få vegstrekningene som påvirkes aller mest av tiltaket, og bruke funksjonaliteten for automatisk innlegging av standarddata på øvrige lenker med bakgrunn i vegkategori/områdekode/kapasitetsklasse.</p>
Tiltakene påvirker reisemønster i en avgrenset del av transportmodellen.  Tiltakssituasjon D. (Frarådes i sit. C)	<p><i>Utklipping fra transportmodell</i>                      Det er utviklet ArcView-funksjonalitet for utklipp av en mindre del (polygon) av overføringsfilene fra transportmodell til EFFEKT. Man bør være rimelig sikker på at trafikkendringene utenfor polygonet er helt minimale, siden metoden innebærer fare for systematiske feil i forskjellene mellom alternativene. Etablering av en mindre transportmodell (delområdemodell) vil ofte være å foretrekke.</p>
Tiltakene påvirker reisemønster bare på en del av lenkene i transportmodellen.  Tiltakssituasjon D. (Frarådes i sit. C)	<p><i>Siling fra transportmodell</i>                      Det er utviklet funksjonalitet i EFFEKT for å sile vekk lenker med ÅDT-ending mindre enn f.eks 50. Metoden minner om utklipping av polygon, og innebærer samme fare for systematiske feil.</p>

Kilde: TØI rapport 1011/2009

Situasjon	Verktøy og forenklinger
<p>Tiltakene gjøres langs eksisterende vegtrasé, og påvirker i begrenset grad reisemønster eller rutevalg. Man mangler transportmodell som gir rimelige resultater.</p> <p>Tiltakssituasjon C/D.</p>	<p><i>Mini EFFEKT-modell</i></p> <p>Metoden som normalt benyttes i tiltakssituasjon A kan være aktuell som nødløsning i situasjon C/D hvis man ikke får rimelige resultater fra transportmodell og Trafikantnyttmodul. Det etableres en EFFEKT-modell som kun omfatter vegstrekningene som får endret standard, og man benytter samme trafikk på lenkene før og etter tiltak.</p> <p>Hvis det forventes nyskapt trafikk som ved avløsning av ferjesamband, finnes enkel funksjonalitet for dette i EFFEKT.</p> <p>En grov metode for å fange opp nytte for trafikk overført fra andre reisemidler eller reiseruter, og eventuell nyskapt trafikk, er å ta med halvparten av trafikkøkningen på strekningen. Forventes 10.000 biler før tiltak og 11.000 etter, legger man altså inn 10.500 både før og etter. Det mangler imidlertid erfaring med metoden, og den bør ikke brukes dersom reisemønster eller rutevalg endres vesentlig.</p>
<p>Svært store prosjektpakker eller mange konseptvarianter som er tidkrevende å kode i EFFEKT. Man ønsker brukbar nøyaktighet.</p> <p>Tiltakssituasjon D.</p>	<p><i>Lenkebaserte regnearkmodeller</i></p> <p>Større bypakker som Oslopakke 3 kan inneholde så mange tiltak at det vil ta tid å kode disse i EFFEKT og kvalitetssikre modell og resultater. Det kan også være ønskelig å analysere svært mange varianter av konseptene, alternativ utbyggingsrekkefølge, eller kombinasjoner av virkemidler, eksempelvis varierende nivå på kollektivtakster, parkeringsrestriksjoner og bompenger i ulike tidsperioder. Slike testberegninger gjør det mindre sannsynlig at et godt konsept forkastes fordi det var lite optimalisert da beregningene ble gjort.</p> <p>Siden EFFEKT kan være ressurskrevende i slike tilfeller, kan man bruke enkle regnearkmodeller for å beregne ulykkeskostnader, drift/vedlikeholdskostnader og eventuelt regional/global luftforurensning. Kostnadene beregnes for hver transportmodellenke med bakgrunn i data fra transportmodellen og sjablondata.</p> <p>Metoden er rask i bruk og kan gi meget god nøyaktighet siden det er lett å tilpasse kostnader, parametre og regnemetoder til den aktuelle oppgaven, eller overstyre sjablondata på viktige enkeltlenker, f.eks ulykkesfrekvens før/etter tiltak.</p>
<p>Svært store prosjektpakker eller mange konseptvarianter som er tidkrevende å kode i EFFEKT. Man aksepterer dårligere nøyaktighet.</p> <p>Større fremkommelighetsprosjekter utenom tettbygd strøk hvor det er ukomplisert å beregne ulykker og d/v-kostnader.</p> <p>Tiltakssituasjon D.</p>	<p><i>Transportmodellmakroer</i></p> <p>Ulykker, vedlikehold og evt utslipp beregnes direkte ut fra lenkedata i transportmodell i frittstående program tilsvarende Trafikantnyttmodulen. Sammenstilling kan gjøres i EFFEKT eller regneark. Lenkene bør kodes med egen verdi for kort og lang tunnel, bru, og kanskje kryssavstand. Dette kan evt gjøres i ettertid for viktige lenker</p> <p>Metoden er enda raskere i bruk enn regnearkmodeller, men kan gi færre muligheter til å tilpasse kostnader, parametre og regnemetoder etter oppgaven, eller overstyre sjablondata på enkeltlenker. Slike tilpasninger er som oftest nødvendig i byprosjekter, men behovet er gjerne mindre utenom tettbygd strøk.</p> <p>Det bør vurderes å etablere en egen modul tilpasset RTM som kan beregne ulykkeskostnader, drift- og vedlikeholdskostnader, regional luftforurensning og klimagassutslipp.</p>
<p>Kryssforsinkelser og rutevalg er avgjørende for valg av konsept, og CONTRAM-modell eksisterer</p>	<p>Faste matriser forutsettes. EFFEKT har funksjonalitet for å bruke data fra CONTRAM. En enklere metode er å beregne tids- og kjøretøykostnader i regneark på bakgrunn av sum reisetid og distanse fra CONTRAM-beregninger for rushperioder og lavtrafikk. Metode for ulykker, vedlikehold og utslipp må vurderes i hvert tilfelle.</p>

Kilde: TØI rapport 1011/2009

Fartsgrenser på nye lenker kan hentes fra transportmodellen med et tastetrykk hvis man vil unngå å hente dette fra NVDB. Felt- og skulderbredde på nye veger varierer lite og kan leses inn samlet med et tastetrykk. Horisontalkurvatur på alle nye veglenker kan normalt forutsettes rettlinjet, og i byområder kan man generelt droppe horisontalkurvatur på eksisterende vegnett. Det samme gjelder i stor grad vertikalkurvatur, dette kan eventuelt legges inn i spesielle tilfeller som dype tunneler. Linjen trenger ikke være prosjektert, det er tilstrekkelig å legge inn omtrentlig høyde ved karakteristiske punkt, som høyeste og laveste.

Vedlikeholdskostnadene blir litt riktigere hvis ca tunnellengde tastes inn på lenken. Bruareal kan legges inn hvis tiltaket er en stor bru, men neglisjeres hvis et større vegprosjekt innbefatter noen mindre bruer. Antall nye ferjekaier bør det være mulig å telle. Øvrige detaljer finnes det sjelden opplysninger om i en KVVU.

## 7.4 Minimum databehov

En liste over nødvendige data som skal dekke alle KVVU-situasjoner, vil enten være svært lang eller mangelfull. Det er kanskje hensiktsmessig å si noe om hvilke generelle data som er viktig i de fleste KVVU-situasjoner, og deretter peke på spesielle data for noen aktuelle KVVU-situasjoner.

### Trafikkdata

Verdsettingen av reisetid er svært forskjellig for ulike trafikantgrupper, og trafikens sammensetning varierer vesentlig over døgnet og året og fra en utrednings-situasjon til en annen. Hvis man forutsetter 10 % *tunge kjøretøy* når det skulle vært 15 %, undervurderer man transportkostnadene med 8-10 %, i tillegg undervurderes køproblemer. Antar man 20 % *lange reiser* når det er 30 %, undervurderes tidskostnadene med ca 9 %. Hvis man forutsetter en *trafikkvariasjon* tilpasset en annen del av landet, kan man over- eller undervurdere transportkostnadene med 20-40 %.

Hvis man mangler transportmodell eller bare har modellberegninger for ett år, kan man bruke de innebygde fylkesvise trafikkprognosene. Hvis man ikke har detaljerte data om trafikk sammensetning og trafikkvariasjon, kan man bruke EFFEKTs innebygde forutsetninger for syv typiske områdetyper.

### Utbyggingsdata

For å beregne noenlunde riktig nåverdi av større prosjektpakker eller prosjekter med lang utbyggingstid og flere etapper, bør man ha en viss formening om *etapperekkefølgen*, og man bør gjøre beregninger for minimum 2-3 årstall. En innvending kan være uavklart rekkefølge. I så fall bør man vurdere å beregne to alternative etapperekkefølger for ikke å forkaste et godt totalkonsept med ikke optimal etappeinndeling. Brukerfinansierte prosjekter bør beregnes både *under og etter betalingsperioden*. Trafikkgrunnlaget og nytten overvurderes hvis man baserer seg på modellkjøringer for situasjonen etter betalingsperioden. I mangel av grundige og omforente sonedata for flere prognoseår, er det antakelig bedre å

produsere slike data med enkle interpoleringer eller fremskrivninger, enn å basere analysene på kun ett beregningsår.

Regnetid er en utfordring. RTM-beregninger tar omkring et halvt døgn pr konsept og år i de to største regionene, mens trafikantnytteberegningene og innlegging i EFFEKT går meget raskt. Delmodeller er under utvikling og vil forhåpentlig gå en del raskere. Fredrik/Emma krever noe kortere beregningstid, men overføring av data til Trafikantnyttmodulen krever noe manuelt arbeid. For store prosjektpakker kan det være tidkrevende å kode transporttilbudet i ulike årstall, uavhengig av verktøy. Med relativt nyutviklede transportmodeller og nytteberegningsverktøy, er det likevel kvalitetssikring, feilretting og tilpassing av modeller og verktøy til den aktuelle utredningssituasjonen som tar mest tid, gjerne måneder eller 90 % av den tilgjengelige tiden, mens 10 % gjenstår til beregninger. Man får håpe at modeller og verktøy nå begynner å bli så gode at forholdstallet snus. Raskere verktøy er opplagt ønskelig, men med begrensede økonomiske og menneskelige ressurser i Norge er det en fare for at utvikling av nye modeller og verktøy vil føre til nye år hvor kvalitetssikring og tilpasning av disse tar 90 % av tiden i hvert prosjekt, uten at man nødvendigvis kommer lenger enn med de eksisterende verktøyene.

### **Helt ulike traseforslag. Gjennom eller utenom by/tettsted**

I KVU-sammenheng kan det være tilstrekkelig med håndtegnede skisser for å antyde traséer og anslå total veglengde og omfanget av tunneler og bruer. Vår erfaring med verktøyene er at det normalt kreves mer detaljerte data om traseforslagene for å anslå investeringskostnader enn for å beregne nytte og d/v-kostnader. Vi vil ikke gå detaljert inn i databehovet for investeringskostnader, da det for tiden pågår et omfattende arbeid med ny ANSLAG.

*Dimensjoneringsklasse* avgjør antall felt, vegbredde og fartsgrense, og bør i alle tilfelle bestemmes. Det kan være viktig å ha et bevisst forhold til spørsmålet om dimensjoneringsklasse, både fordi valget her kan ha et konseptuelt aspekt, og fordi Håndbok 017 etter alt å dømme har lavere ÅDT-krav til firefeltsveg enn det som er samfunnsøkonomisk optimalt.

Skal man vurdere tiltak over lengre strekninger med store kapasitetsproblemer, er det viktig at transportmodellen beregner riktig kjøretid. Ved å tilpasse VDF-kurvene for E18 Vestkorridoren slik at Fredrik/Emma ga samme reisetid Asker-Oslo i rushperiodene som i PROSAMs *fremkommelighetsundersøkelser*, økte trafikantnyttene med 50 %.

I tilfeller hvor *vertikalkurvaturen* endres vesentlig, som ved undersjøiske tunneler eller dype miljøtunneler i byområder, vil dette ha så stor innvirkning på drivstoffkostnader og utslipp, samt tidskostnader for tunge kjøretøy, at det må tas hensyn til. Vi har gjort beregninger i EFFEKT for en 10 km lang strekning med ÅDT 12.000 i åpningsåret som utvides fra god 2-feltsstandard til 4 felt<sup>12</sup>. Uendret kurvatur eller ignorering av kurvatur gir  $NNB = -0,21$  (flat veg før og etter tiltak).

---

<sup>12</sup> Vi har forutsatt fartsgrense 70 før og 100 etter tiltak, 17 % tunge kjøretøy og 35 % lange reiser tilsvarende E18 Langanen-Grimstad, trafikkvariasjon M2 (blanding av arbeidsreiser og gjennomgangstrafikk), rettlinjet horisontalkurvatur, felt/skulderbredde 1,5/3,5 m, ulykkesfrekvens 0,17 før og 0,06 etter, anleggskostnader 1,5 mrd kr.

Vesentlig forbedret kurvatur gir  $NNB = 0,12$  (5 km med 6 % fall og 5 km med 6 % stigning før tiltak, flat veg etter tiltak). Vesentlig forverret kurvatur gir  $NNB = -1,98$  (flat veg før tiltak, 5 km med 6 % fall og 5 km med 6 % stigning etter tiltak). Maksimal stigning og fall over hele strekningen er kanskje ikke vanlig, men det bygges også undersjøiske tunneler i Norge med 8 % stigning. En tommelfingerregel i KVVU-sammenheng kan være at vertikalkurvatur bør tas hensyn til hvis det er 0-2 % stigning i ett konsept og 4-6 % over en ikke ubetydelig strekning i et annet konsept. Prosjekterte høydedata er ikke nødvendig, dette kan gjøres svært enkelt ved å anslå høyde og meterverdi langs veglinjen ved karakteristiske punkt, som høyeste og laveste eller andre tydelige knekkpunkt. Høydedata for eksisterende veg kan hentes fra NVDB.

*Horisontalkurvaturen* på ny veg vil normalt være så bra at den ikke påvirker transportkostnader eller utslipp vesentlig, og kan normalt ignoreres. Hvis gammel veg har så dårlig kurvatur at dette påvirker kjøremønsteret vesentlig, bør man vurdere å bruke EFFEKT til å beregne fart og forbruk. Eksempler er når  $r < 100$  m ved 60 km/t, eller  $r < 200$  m ved 80 km/t, og dette inntreffer mer enn unntaksvis.

*Farten* påvirker ikke bare tidskostnader, men også drivstoffkostnader og utslipp. Disse forholdene fanges ikke opp om bare distanse legges til grunn for slike beregninger. Når firefelts veg med fartsgrense 100 km/t erstatter veg med 70 km/t, øker drivstofforbruk og utslipp ca 30 % før man tar hensyn til økt trafikk. Økte kjøretøykostnader spiser opp ca 20 % av tidsgevinsten, mens utslippskostnadene stjeler ytterligere noen prosent. Dette er tall fra EFFEKT som kanskje er litt for høye. Tilsvarende reduseres kjøretøykostnadene ved reduserte køproblemer, men det er mer tvilsomt om det bør påregnes en miljøgevinst, all den stund modellene ikke fanger opp hele trafikkøkningen.

Omfanget av *tunnel* er viktig for d/v-kostnadene. I eksempelet med flat vertikalkurvatur vil tunnel gi en økning i d/v-kostnader som, forutsatt uendrede anleggskostnader, vil redusere NNB fra  $-0,21$  til  $-0,42$ . Mest avgjørende for løpemeterprisen er antall felt, trafikkmengde og tunnellengde. Dype høytrafikk tunneler har svært høyt strømforbruk til vifter og bør vurderes spesielt. Omfanget av bruer har mindre betydning enn tunneler for d/v-kostnader, men kan beregnes svært enkelt med en fast kvadratmeterpris som i EFFEKT.

## Brede tofeltsveger med midtdeler eller firefeltsveger

EFFEKT er rimelig godt egnet til å beregne virkninger av de fleste *trafikksikkerhetstiltak* som er aktuelle langs en veg. Det bør gjøres antagelser om hvilke delstrekninger som skal få midtdeler, breddeutvidelse, utjevning av sideterreng, bygging av planskilte kryss eller andre tiltak. Muligheten for økt fartsgrense må også vurderes. Dersom tofeltsveg gir tilstrekkelig kapasitet på kort sikt, kan det være aktuelt å vurdere et konsept bestående av tofeltsveg med klargjøring for firefeltsveg nå, og utbygging til firefeltsveg om 20 år.

## Bru, tunnel eller ferje

Relevante data for *ferjetilbudet* er billettpriser, avgangsfrekvens, lengde, fart, terminaltid, åpningstid, og andel lokaltrafikk (generert i kommunene der ferjesambandet er lokalisert) og gjennomgangstrafikk (øvrige trafikk). Driftskostnader

finnes i EFFEKT. For tunneler er stigningsdata av interesse, i tillegg til andre vanlige data om vegen.

### **Vegbygging eller kollektivsatsing**

For å kode kollektivtiltak i RTM må man vite hvilken frekvens som skal forutsettes i lavtrafikk (kl 9-15) og i rush (kl 7-9, tilbudet speilvendes kl 15-17), antall minutter mellom stoppestedene, og det skilles mellom sju reisemidler (langdistanse buss, ordinær buss, T-bane, trikk, tog, hurtigbåt og ferje). Tiltak for å øke regulariteten håndteres ikke i RTM, men behandles og prissettes i JBV's regnearkverktøy, riktignok med uoffisielle verdier. Det er utfordrende å vurdere i hvilken grad et tiltak vil gi redusert reisetid, økt regularitet, og økte passasjertall.

### **Vekt på prisvirkemidler eller infrastrukturbygging**

En riktig pris- og avgiftspolitik kan være et alternativ til infrastrukturinvestering. Også dersom det er opplagt at det skal investeres, vil riktige priser og avgifter ha vesentlig innvirkning på det samfunnsøkonomiske resultatet. Det er særlig fire tilfeller hvor riktige priser kan utgjøre et eget konseptalternativ eller et vesentlig element i definisjonen av noen av alternativene. Det er bygging med eller uten bompengefinansiering, valg av satser på bomringene, prisen på kollektivbilletter og parkeringspriser i de største byene, valg av ferjetakster og valg av billettpris på jernbanen. Bortsett fra tilfeller der etterspørselen er særdeles uelastisk, er det ingen av dem som kan analyseres fullt ut med EFFEKT.

*Ferjetakstene* er sentralt regulert, og blir derfor sjelden et spørsmål i KVV-sammenheng. Gratis ferje som alternativ til bru eller tunnel har likevel vært vurdert flere ganger, og det var et alternativ i KVV av Rogfast. RTM er det mest aktuelle verktøyet. Takspolitikken på *jernbanen* er også sentralt fastlagt, og vil sjelden være en problemstilling i KVV.

Samfunnsøkonomisk riktige *bompenger* innebærer pris lik marginale samfunnsøkonomiske kostnader. Men det må også undersøkes om dette er bedre enn skattefinansiering, hensyn tatt til innkrevingskostnader og avvisningskostnader. Vegvesenet har anvendt det sistnevnte kriteriet (Welde 2005), men ikke det førstnevnte. I virkeligheten kan vi på forhånd avvise bruk av bompenger som et samfunnsøkonomisk godt alternativ der hvor de eksterne kostnadene ikke er større enn normalt (Minken 2009). Hvis det ikke kan avvises, må konseptet beregnes med og uten bompenger. RTM er det mest aktuelle alternativet.

Riktige priser i storby sammenheng bør være en sentral problemstilling i KVV av bypakker. Gjentatte kjøring med en bytransportmodell som skiller mellom høybelastningsperioden og lavbelastningsperioden vil være nødvendig for å vurdere gevinstene og hva det har å si for investeringsbehovet.

### **Vedlikehold og rehabilitering eller nybygging**

Beslutningen om hvor mye som skal brukes på vedlikehold og hvor mye på investeringer hører hjemme på et mer strategisk nivå enn der KVV-ene stort sett befinner seg. Det vi tenker på her, er snarere om det kan være et reelt alternativ å gjøre mindre tiltak på eksisterende infrastruktur. Å ta igjen et større vedlikeholds-



etterslep er ett mulig tiltak, gjerne i kombinasjon med mindre, punktvisе utbedringer.

Avsnitt 2.4.2 og 2.5 i Minken m.fl. (2008) skisserer hvordan en nyttekostnadsanalyse av et slikt alternativ kan gjennomføres. Snakker vi om mange infrastruktureobjekter er kapittel 3 samme sted en mulighet. I begge tilfeller trenger vi data om infrastrukturens tilstand, nedbrytingstakt, endringen av brukerkostnadene når tilstanden endres og kostnadene ved ulike rehabiliteringstiltak, altså ganske mye data som ikke trenges til vanlige analyser av nybygging. Estimerer på effekten med hensyn til ulykker finnes i Trafikksikkerhetshåndboka og etatenes veiledere.

### **Høyfartstog eller mer moderate hastigheter**

Problemstillingen har vært oppe i flere KVVU-er allerede, men det er et systemomfattende spørsmål som ikke kan løses på det mer lokale nivået som de gjennomførte KVVU-ene har blitt definert på til nå. Hva slags hastigheter som er aktuelle i mellomtida, må i grunnen avklares gjennom føringer fra KVVU-ens oppdragsgiver.

### **Gods eller persontransport på jernbane**

Problemstillingen har ikke vært reist, men det betyr ikke at den kan vise seg å være av stor betydning i framtida. Den vil i så fall by på problemer, ettersom gods er et forsømt tema i nyttekostnadsanalysene. Det vil være nødvendig å bruke det nasjonale godstransportmodellsystemet i slike analyser. I tillegg vil det være en fordel å vite mer om verdien for samfunnet av økt punktlighet og regularitet på jernbanen og mer forutsigbarhet i transporttida på veg.

## 8 Bruk av transportmodell

### 8.1 Når kan vi bruke eksisterende transportmodeller?

Det enkle svar på dette er at vi kan bruke eksisterende transportmodeller når de i tilfredsstillende grad reproducerer en basissituasjon og gir en tilfredsstillende beskrivelse av effektene av det – eller de – tiltak vi skal vurdere. Uklarheten her er selvsagt knyttet til hva vi skal legge i ”tilfredsstillende”. Vi vil som regel også ha visse muligheter til å ”skru” på en modell eller et modellsystem hvis det i utgangspunktet ikke treffer ”tilfredsstillende”. I noen grad må også bruk av et eksisterende modellsystem vurderes i forhold til fordeler og ulemper ved det som i tilfelle er alternativet.

#### Operative modellsystemer

Pr i dag er det flere operative modellsystemer i Norge. Nasjonale Transportmodell (NTM) dekker lange reiser (over 100 km) én vei. Reiser under 100 km dekkes av 5 regionale versjoner av Regional Transportmodell (RTM) og etter hvert blir det en del DelOmrådeModeller (DOM) som er ”klippet ut” fra de regionale RTM-modellene. Disse RTM-modeller (inkl DOM-varianter) kjøres nå med CUBE/Voyager som nettverksplattform. For Oslo-området er det en egen modell basert på RTM (RTM23+) som kjører med EMME som nettverksplattform. I tillegg til RTM-varianter har flere byområder (bl a Bergen, Trondheim og Nord-Jæren) varianter av TASS-modeller og for Oslo-området er fremdeles FREDRIK operativ. I tilknytning til selve RTM-modellene finnes det også i samme systemer egne (enklere) modeller for skolereiser og et opplegg for flyplassreiser. Det som (i prinsippet) mangler i modellsystemene når det gjelder personreiser er utlendingers reiser i Norge og innenlandstrekingen av nordmenns utenlandsreiser. Noen få steder i veisystemet (spesielt nær svenskegrensen) eller på typiske turistruter, kan denne trafikk være betydelig og må eventuelt behandles ad hoc.

Vi har med andre ord modellsystemer (av 4-trinnsvarianten) som til sammen bør dekke den meste av reiseaktiviteten i Norge - mer eller mindre godt. Det som dekkes dårlig pr i dag er den trafikk man har i del områder hvor folk oppholder seg i kortere perioder i forbindelse med ferier og helger. Reisene mellom bosted og slike oppholdssteder skal være inkludert i NTM og/eller RTM, men ikke den reiseaktivitet som finner sted under oppholdet. Persontransportene suppleres – når det gjelder veitrafikk – også med godstrafikk.

RTM/NTM-systemet har vært under utvikling i flere år. En hovedutfordring har vært å få gode inndata, spesielt i form av kodet veinett (inkl reallistiske hastigheter) og kollektivruter, men også mange fergetilbud var problematiske i den første fase. Også sonedata har blitt revidert. I tillegg er det rettet opp en del mindre ”bugs” i programvaren. Systemene har sikkert fremdeles forbedringsmuligheter, men det kreves også at de brukes slik at man etter hvert får luket bort de problemer som det er mulig å luke bort. Systemene har også opplegg for

prognoser basert på framskrivning av befolkning, inntekt mm. Fremdeles er det etter vår oppfatning slik at man i forkant av en analyse bør gjøre en kvalitetskontroll av nettverk, rutekoding, sonedata mm i det som er analysens sentrale område.

RTM/NTM supplert med modellering av godstrafikk på vei har vært brukt både i forbindelse med KVVU-er og i forbindelse med kvalitetssikring av disse. Et praktisk problem hittil har vært at RTM for region øst og sør har så mange soner og så omfattende veinett og kollektivtilbud at modellene har vært tunge å bruke i form av lang eksekveringstid og store datamengder. For de aller fleste praktiske formål er disse to modeller større enn det som er nødvendig og man kan som nevnt ”klippe ut” større eller mindre delområder. Opplegget for dette er etter hvert blitt ganske bra. Et eksempel på ”utklipping” kan være pågående KS1 for Langangen-Grimstad. I KVVU-en brukte man modellen for region sør. I KS1-arbeidet benyttes en redusert versjon som inneholder Agder-fylkene, Telemark og Vestfold. Dette gir en drastisk reduksjon i eksekveringstid fordi Akershus og Oslo da ikke er aktuelle destinasjoner for korte reiser.

I forbindelse med bruk av eksisterende modellsystemer er det spesielle problemer knyttet til analyse av prosjekter i større byer hvor køer og store forsinkelser til tider og i deler av veisystemet er viktige. Det har også hittil vært vanskelig å få inkludert parkeringsavgifter og parkeringskapasitet på en helt tilfredsstillende måte i modellene. Den faglige utfordring i storbyene er imidlertid i første rekke å beregne korrekte likevektsløsninger hvor man får tatt hensyn til de tilpasninger som større tiltak og prosjekter medfører. Kombinasjonen av veivalg og reise-middelvalg kan man håndtere brukbart, men samtidig å kombinere dette med destinasjonsvalg og reisetidspunkt er mer problematisk. Man kan antagelig gjøre analyser som for praktiske formål er ”gode nok”<sup>13</sup>, men kompetansen i brukermiljøene mm er her en begrensning. På den annen side – selv i de større byområder foretas de fleste turer til tider og steder hvor køer ikke er noe problem. Man skal derfor ikke overdrive betydningen av ”korrekt” modellering av køsituasjoner.

Det er 6 **viktige fordeler** ved bruk av etablerte modellsystemer i forbindelse med KVVU-er for større samferdselsprosjekter:

1. Modellene fanger opp de viktigste tilpasninger som skjer nå man gjør større endringer i et transportsystem:
  - Endringer i veivalg
  - Endringer i reisemåte
  - Endringer i destinasjonsvalg, og
  - Endringer i totalt antall reiser (som regel helt marginal effekt)

Så langt vi er i stand til å bedømme, er de relevante parametre for ”policy variable” av rimelig størrelsesorden i RTM/NTM – systemet. Det bekreftes for så vidt også av implisitte etterspørselstettheter. Det man ikke fanger opp i denne type modeller er langsiktige effekter på arealbruk og lokalisering, men disse er under enhver omstendighet meget usikre. Eventuelle tilbakekoblingsmekanismer fra transporttilbud til bilhold er heller ikke ivaretatt, men det er usikkert hvor stor praktisk betydning dette har.

---

<sup>13</sup> Jfr f eks Larsen og Hamre (2000).

2. Modellene har en intern konsistens slik at alle oppsummeringsbetingelser tilfredsstilles.
3. Man kan analysere kombinasjoner av tiltak på en konsistent måte.
4. Resultatene kan i stor grad tas direkte som inngangsdata til nyttekostnadsanalyser.
5. Modellen produserer et reisemønster i form OD-matriser og dette vil det som regel være behov for uansett modellbruk/modelltype, selv om man ofte kan klare seg med OD-matriser på et mer aggregert nivå enn det dagens modeller gir. Spesialundersøkelser for framskaffelse av OD-matriser er kostbare og tidkrevende og resultatene kan være av varierende kvalitet.
6. Ved å benytte ett og samme modellapparat på ulike utredningsoppgaver unngår man en stadig diskusjon om egenskaper og brukbarhet for ulike modeller.

De motforestillinger man møter er gjerne at modellene ikke er gode nok og at man ikke stoler på resultatene. Dette er i og for seg legitime innvendinger, men de begrunnes sjelden mer spesifikt. Inntil nå har også det også vært et problem at regionmodellene for øst og sør har vært så vidt ”tunge”. Det har også til tider vært ”tekniske” problemer som har gitt rare resultater, men dette har stort sett blitt oppklart. Opplegget med å integrere modellresultater i EFFEKT har tydeligvis også skapt en del problemer. Disse burde strengt tatt vært unødige. Det er f.eks. helt kurant å beregne endringer i trafikantnytte med trapesformelen innenfor modellsystemene og man kan med litt smidighet også gjøre de fleste beregninger som tar utgangspunkt i lenkevolum innenfor modellsystemene uten at man taper nevneverdig i nøyaktighet i forhold til å gjøre beregninger i EFFEKT.

### Er modellene gode nok?

Med ”modellene” menes de modeller som er nevnt ovenfor. Det er det ikke noe enkelt svar på dette spørsmål. Det man ønsker av en modell eller et modellsystem er normalt at a) det skal kunne reprodusere ”dagens situasjon” med tilfredsstillende nøyaktighet, b) gi troverdige framskrivninger av trafikktviklingen og c) gi rimelige/realistiske effekter av infrastruktur prosjekter og andre transportpolitiske tiltak.

#### *Reproduksjon av ”dagens situasjon”*

Et generelt problem her er at man ikke alltid har så god kunnskap om ”dagens situasjon”. Vi har RVU-er med ca 5 års mellomrom. Dette er utvalgsundersøkelser og relativ usikkerhet øker jo mer disaggregerte tall man ser på. For RTM-modellene foretas det såkalte rammetallskalibreringer. Dette innebærer justering av en del konstanter som gjør at modellene treffer aggregerte tall fra RVU-er når det gjelder antall reiser fordelt på reisemål og reisemåte for det modellområdet modellen dekker. Etter kalibrering vil modellene ha en moderat overestimering av antall hjemreiser som skyldes at man ikke har med lengre turkjeder (mer enn to besøkte steder). Særlig i bykjerner som er attraktive mål for flere reisemål kan man også ha litt for mange bil- og kollektivreiser. Dette skyldes en modellteknisk forutsetning om at alle delturer i en rundtur (som alltid har start og mål i eget hjem) gjøres med samme reisemåte. I realiteten vil en del av disse delturer foregå til fots mens bilen står parkert, og noen vil være så korte at folk går i stedet for å

reise kollektivt. Selv om en modell er kalibrert mot en RVU, så vil den derfor produsere litt flere turer enn det som er i RVU-en og trolig ha en liten systematisk skjevhet, hovedsaklig i forbindelse med trafikk internt bykjerner. På den annen side må vi regne med at de fleste RVU-er vil ha en liten underrapportering av reiser slik at de nevnte forhold neppe har så stor praktisk betydning. Generelt vil det derfor være slik at en kalibrert modell (dette gjelder også TASS-varianter) vil ha tilfredstillende aggregerte nøyaktighet (reiser fordelt på formål og reisemåte) i den utstrekning den oppblåste RVU det kalibreres mot ikke har nevneverdige skjevheter eller mangler.

For lange reiser har man tilsvarende kalibreringsmuligheter, men her blir utvalgene små i forhold til regioner eller delområder av regioner og ”rammetallskalibrering” skjer normalt på nasjonalt nivå.

Dagens situasjon samsvarer ikke alltid med et ”RVU-år”. Man oppdaterer transporttilbud og andre inputdata og vil gjerne sammenlikne mot de siste data man har tilgjengelig. Da blir det som regel spørsmål om hvor godt modellene treffer på tellepunkter eller tellesnitt og eventuelt de senere års utvikling der man har trafikkregistreringer. Her finner man da også avvik, og i noen tilfeller relativt store avvik. Det er som regel i forhold til slike sammenlikninger at det blir uttrykt skepsis til modellene.

I utgangspunktet vil det være helt urimelig å forvente at en modell skal treffe tilfredsstillende overalt. Selv den om treffer tilfredsstillende på aggregert nivå, kan det være større eller mindre skjevheter på matrisenivå eller i forbindelse med veivalg. Man kan f.eks. godt ha store avvik på veilenker selv med en tilfredsstillende OD-matrise, spesielt når veivalget håndteres med en deterministisk modell. Dette skyldes at små forskjeller i generalisert kjørekostnad i blant kan skifte relativt store trafikkvolumer fra en reiserute til en annen.

Bompenger representerer av og til også et problem når det gjelder veivalg, siden veivalget forutsetter at trafikantene har full informasjon. Modellene kan da finne omkjøringer som en stor del av trafikantene i realiteten ikke er oppmerksomme på eller tar seg bryderiet med å innhente informasjon om. I slike tilfeller kan man selvsagt finne en ad hoc løsning på veivalgsproblemet, men man bør da være sikker på at det er dette som er problemet og ikke OD-matrisen. Faktisk kjørehastighet har også vært et problem for deler av det kodede veisystem fordi skiltet hastighet ikke gir et adekvat uttrykk for den gjennomsnittshastighet det er mulig å holde over lenger strekninger. Dette har blitt bedre ved introduksjon av en fartsmodul for beregning av kjørehastighet. Til slutt kan det også nevnes at man utenfor byer tidvis har køproblemer knyttet til utfartshelger mm. Disse køproblemer fanger modellene ikke opp pr i dag. Det kan dreie seg om store forsinkelser i forhold til situasjoner med ”fri flyt”, men berører en relativt liten del av trafikken på årsbasis.

Når det gjelder kollektivtrafikk kunne rutevalgsalgoritmene i eksisterende modeller vært bedre (Larsen og Sunde 2008), men foreløpig er det ikke så mye å gjøre med det. I forhold til Oslo-området (og spesielt jernbanereiser) er det også en ulempe at park&ride ikke er modellert. Ellers er det sikkert en del som kan gjøres når det gjelder koding av busstopp og adkomst både til busstopp og stasjoner/terminaler.

Det kan være hensiktsmessig å knytte drøftingen av modellbruk til et eksempel. Eksemplet i Tabell 6 er fra pågående KS1 for Langangen-Grimstad hvor Møreforsking (MFM) gjør egne modellberegninger.

Tabell 6: Telling og modell på noen nivå 1 punkter på E18.

	Telling	Herav:			Herav:	
	2006	Tunge	Lette	RTM710	Tunge	Lette
Lanner	14259	2625	11634	14943	3126	11817
Stokkebakken	9265	1539	7726	9909	1816	8093
Søndbøvann	6162	1232	4930	7397	1521	5876
Vinterkjær	7314	1346	5968	6198	1356	4842
Omre	9422	1524	7898	9527	1524	8003
<b>Sum</b>	<b>46422</b>	<b>8266</b>	<b>38156</b>	<b>47974</b>	<b>9343</b>	<b>38631</b>

Kilde: TØI rapport 1011/2009

Hvordan skal man f eks vurdere et resultat som dette? Modellen treffer nesten perfekt på sum lette biler over alle tellepunkter, men på 2 av tellepunktene er det prosentvise avvik mellom telling og modell relativt stort og går tilfeldigvis i motsatt retning med omtrent like mye. For tunge biler er det "innertier" på 2 tellepunkter, mens nivået er en god del for høyt på de 3 andre. I et tilfelle som dette kunne det f eks vært av interesse å vite om de store avvik primært skyldes OD-matrisene eller veivalget, men da trenger man tilsvarende tellinger for parallelle veier. Antagelig vil man i mange tilfeller kunne finne vesentlig større avvik mellom telling/registrering enn det er i denne tabellen.

Det er en rekke vurderinger og forhold man bør ta hensyn i forbindelse med vurdering av modellresultat mot tellinger/registreringer av trafikk:

- Er veivalget rimelig korrekt, eller finner man f eks avvikene igjen som for mye eller for lite trafikk på parallelle veier. I så fall er det ofte mulig å "skru" veivalget rimelig på plass.
- Ligger ett eller flere tellepunkter på steder hvor man har ekstra trafikk i forhold til det modellene produserer (turisttrafikk, hytte/hotellområder, utenlandstrafikk etc).
- I tellinger er det vanskelig å skille mellom lette biler i persontrafikk og lette biler i varetransport.
- Modellene produserer i prinsippet et reisemønster som skal representere langsiktig tilpasning. I områder hvor det er gjennomført betydelige tiltak i nær fortid må man regne med at reisemønsteret ikke nødvendigvis har stabilisert seg.
- Omregninger fra modell til ÅDT (RTM produserer i utgangspunktet tall for "normale" virkedøgn) eller fra kortidstillinger til ÅDT kan også gi avvik.

#### *Troverdig fremskriving av utviklingen*

En innvending mot modellene har vært at de gir for lav trafikkvekst i forhold til det man har observert de senere år. Basisåret for modellberegningen for

Langangen- Grimstad skal være 2014. Vi får da en sammenlikning som i Tabell 7 for tellepunktene langs E18.

Modellen predikerer altså en veksttakt 2006-2014 som er vesentlig lavere enn det man faktisk observerte fra 2002 til 2008. Er det akseptabelt?

Tabell 7: Utvikling på nivå 1 punkter og modellberegnet utvikling 2006-2014.

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	Vekst2002-08	RTM2006	RTM2014	Vekst2006/14
Lanner	11847	12957	13528	14093	14259	14974	15215	28 %	14943	16623	11 %
Stokkebakken	7979	8479	8781	9027	9265	9844	9983	25 %	9909	10981	11 %
Søndbøvann	5114	5375	5399	5948	6162	6430	6550	28 %	7397	8289	12 %
Vinterkjær	6536	6573	6735	7081	7314	7728	7880	21 %	6198	7125	15 %
Omre	8356	8513	8730	9108	9422	10140	10549	26 %	9527	11450	20 %

Kilde: TØI rapport 1011/2009

Ved vurdering av utvikling skal man være klar over at modellsystemene forutsetter en jevn vekst, mens registrert trafikkutvikling influeres av konjunktursituasjonen. Perioden 2002-2008 er gir omtrent veksten fra bunn til topp i et konjunkturforløp og man må nødvendigvis regne med at dette gir unormalt sterk vekst sett i et mer langsiktig perspektiv.

I mange tilfeller vil man kunne observere trafikkvekst på en del tellepunkter som er influert av at en rekke større prosjekter er gjennomført eller at den region man ser på har hatt spesielt sterk vekst. Et typisk tilfelle av dette hadde man f eks når det gjelder Rogfast hvor observert trafikkvekst over en lenger periode har vært større enn modellene normalt gir. Her må man også regne at store samferdselsprosjekter, endringer i fergetilbud og meget sterk regional vekst, dels generert av oljerelatert virksomhet, sammen med konjunkturforløpet har gitt en trafikkvekst som ikke kan forventes å vedvare over lang tid. Antagelig er det en litt for sterk tendens til at modellprediksjoner sammenliknes med trafikkutvikling observert over relativt korte perioder og at man tar for gitt at observert utvikling vil fortsette. Vi må også være klar over at modellene etter hvert gir tilnærmet et metningspunkt når det gjelder biltilgang og fanger opp demografiske endringer som f eks "eldrebølgen". Begge forhold vil tendere til å gi lavere fremtidig vekst for personbiltrafikk.

### Troverdige effekter av tiltak

Det er ikke noen grunn til å tro at modellene gir systematisk feil størrelsesorden på effekter av tiltak. Et modellsystem av NTM/RTM-typen gir logiske resultater når det gjelder retningen på ulike typer effekter og så langt vi er i stand til å bedømme parametere og resultater av anvendelse, virker størrelsesorden rimelig. Dette forhindrer selvsagt ikke at fagfolk kan ha ulike oppfatninger av dette. Det man skal være litt forsiktig med å sammenlikne med er resultater beregnet på grunnlag av etterspørselastisiteter – enten det gjelder pris eller generaliserte reisekostnader. Vi har ikke grunnlag for å si at slike elastisiteter er konstante uavhengig av den konkrete situasjon.

Når det gjelder beregning av tiltakseffekter skal man være oppmerksom på at modellene - i sin filosofi – tar hensyn til tilpasninger som til dels tar tid. De

beregner derfor en del effekter som kanskje kan ta 5 år eller lenger før man får fullt utslag. Dette er for så vidt en parallell til at man etter gjennomføring av større prosjekter ofte kan registrere en sterkere trafikkvekst en ”normalt” i flere år etter at prosjektet er gjennomført.

#### *Konklusjon:*

Eksisterende modeller blir kalibrert på aggregert nivå og vil vanligvis ”treffe” bra når det gjelder reiser fordelt på hensikt og reisemåte og også på gjennomsnittsdistanser mm. Man vil vanligvis allikevel finne større eller mindre avvik i forhold til tellinger og registreringer av trafikk. Noen ganger vil det være naturlig forklaringer på slike avvik – enten tidsbegrensede eller geografisk spesifikke - og man kan justere for dette, mer eller mindre ad hoc. Av og til vil det kreve en del lokalkunnskap og stille en del krav til modellbrukere.

Ved store og uforklarlige avvik mellom tellinger/registreringer og modellberegnete tall på steder som kan være av stor betydning for det tiltak man skal analysere, bør man antagelig vurdere alternativer til bruk av eksisterende modeller. Før man avskriver modellene bør man imidlertid sjekke at inputdata og nettverk er OK. Den erfaring MFM har hatt med bruk av modellene har imidlertid i all hovedsak vært god. Modellene har bl a vært benyttet i forbindelse med analyser av større prosjekter som Hardangebro, Vossapakke, fergefri forbindelse over Romsdalsfjorden, dobbeltspor Oslo-Ski, Langangen-Grimstad og flere mindre prosjekter.

## **8.2 Akseptable forenklinger**

Mens transportmodeller er nesten helt nødvendig i en del analyser hvor det er viktig å få med de tilpasninger som ligger i en 4-trinnsmetode, vil det også være situasjoner hvor man kan klare seg uten en modell i tradisjonell forstand eller med en sterkt forenklet modell. Fordelen er at man ikke trenger tilgang til et relativt stort modellapparat med mange unødige detaljer og heller ikke trenger den kompetanse som er nødvendig for å bruke det.

En forenklet modell kan f eks bestå av noen få soner og et stilisert og enkelt nettverk og en eller flere OD-matriser for denne soneinndeling. Da nærmer man seg det gamle standardopplegg for EFFEKT-beregninger. Dette vil normalt fungere akseptabelt når man ikke kan forvente endringer i OD-matriser av betydning. Problemet er vel at man for større samferdselsprosjekter nettopp må forvente større endringer i OD-matriser.

I enkleste tilfellet kan man f eks tenke seg et ferjeavløsningsprosjekt for en øy hvor man kanskje kunne tenke seg 2 soner, fastland og øy. Man vil da ha sikre data for basissituasjon i form av registrert ferjetrafikk og hovedproblemet vil være å predikere trafikk og trafikksammensetning for avløsningsalternativet. Alle reiserelasjoner som benytter sambandet vil da få samme endring i generalisert reisekostnad og da trenger man strengt tatt bare endring i etterspørselen for selve sambandet. Selv om problemstillingen er enkel er det ikke nødvendigvis enkelt å finne riktig etterspørselseffekt verken på kort eller lang sikt.



For et bynært samband kan selvsagt problemstillingen fort bli mer komplisert hvis man samtidig får større endringer i kollektivbetjening eller fordi trafikken sluses inn i et veisystem som allerede har kapasitetsproblemer. Man har sett eksempler på hvor det har vært bommet stort fordi plassering/trasé for et fast samband har vært ugunstig i forhold til fergesambandet.

I Rogfast-prosjektet ble det også benyttet et slikt forenklet opplegg i tillegg til modellberegninger som man ikke helt stolte på. Dette var riktignok mer komplisert enn "øy-fastland" og det viste seg å være flere effekter som ikke ble tilfredsstillende ivaretatt.

Et typisk eksempel som kan oppstå for tilsynelatende enkle situasjoner med ferjeavløsning er at man i tillegg til eventuelle bompengeneinntekter for de nye anlegg kan få utslag på bompengeneinntekter andre steder i systemet (i prinsippet både positive og negative). Disse effekter kan avhenge av detaljer i OD-mønsteret som ikke kommer fram i en enkel analyse hvor man bare fokuserer på trafikken over sambandet.

Det er ingen grunn til å stille krav om at man skal benytte eksisterende transportmodeller, hovedpoenget bør at man får best mulig anslag på de effekter man har bruk for i analysen. Fordelen med en eksisterende transportmodell er at den direkte og indirekte gir de fleste effekter man er ute etter og at dette arbeidsmessig er meget effektivt.

### 8.3 Minimums databehov

I en N/K – analyse for samferdselsprosjekter vil endringer i trafikantnytte nesten alltid være en viktig komponent på nyttesiden. For å beregne denne trenger man stort sett estimater på de størrelser som inngår i trapes-formelen, kort sagt etterspørsel før og etter tiltak og generalisert reisekostnad før og etter. Til beregning av det siste trenger man reisetider/kjøretider, avstander (for beregning av kjørekostnader) og direkte pengeutlegg sone til sone. For sone til sone relasjoner hvor det ikke skjer noen endring i generalisert reisekostnad blir selvsagt differansen mellom før og etter også null. For beregning av trafikantnytte trenger man strengt tatt bare de sonerelasjoner hvor det skjer en endring i generalisert reisekostnad. Og hvis alle berørte relasjoner får samme endring kan man egentlig aggregere resten og benytte trapesformelen på aggregatet. Dette er imidlertid et særtilfelle som sjelden oppstår. Det kan f.eks oppstå i eksemplet øy-fastland hvis den traseé som avløser en ferje omtrent går fra ferjeleie til ferjeleie.

Ved bompengefinansierte prosjekter vil også bompengeneinntektene bli en sentral størrelse. Trafikantnyttene reduseres da, og dette blir delvis kompensert ved bompengene på inntektssiden.

## 9 Utredningsbehovet i tilknytning til bypakker

### 9.1 Finansieringsanalyse

Bypakkene, slik de nå er konstruert, inneholder et investeringsprogram og et finansieringsopplegg basert på brukerbetaling og statlige tilskudd. To ulike finansieringsforutsetninger må slå til dersom pakka skal kunne realiseres etter intensjonen. For det første må kollektivselskapene kunne oppnå overskudd etter offentlige kjøp av transporttjenester, og for det andre må investeringsprogrammet kunne realiseres med de midlene som blir til overs etter at denne forutsetningen er oppfylt. Flere forhold kan bidra til å rokke ved finansieringsforutsetningene: Investeringene kan bli dyrere enn planlagt, inntektene fra brukerbetalingen kan bli mindre enn planlagt, kollektivselskapenes kostnader kan bli høyere enn planlagt, eller statlige og kommunale bevilgninger kan utvikle seg annerledes enn planlagt. Siden vi må være rimelig trygge på at alternativene er realiserbare, hører det derfor med en finansieringsanalyse i KVVU av bypakker.

To sammenhenger står sentralt i en slik finansieringsanalyse. Den ene er det samlede budsjettet for operatørselskapene, dvs. bomselskapet, kollektivselskapene og parkeringsselskapene. Den andre er budsjettet til bypakka. Operatørens resultat i år  $n$ ,  $P^n$ , består av inntekt  $J$  minus kostnad  $C$  og minus private infrastrukturinvesteringer og andre private infrastrukturkostnader  $K$ . Tilskudd  $T$  til kollektivselskapene (offentlig kjøp), minus overføringer til staten,  $Y$ , fra bomselskapet og eventuelle offentlige parkeringsselskaper, kommer i tillegg:

$$P^n = J^n - C^n - K^n + T^n - Y^n$$

Bypakkas årlige finansieringsbehov (underskudd)  $F_B^n$  består av offentlig kjøp av transporttjenester  $T$ , offentlige investeringer  $I$  og offentlige etaters driftskostnader  $D$ , minus overføringer fra bom- og parkeringsselskaper og andre inntektskilder,  $Y$ , statlige bevilgninger  $Q$  og nå også muligens inntektene fra en lokal avgift på drivstoff,  $R^+$ :

$$F_B^n = -Y^n - R^{+n} - Q^n + T^n + I^n + D^n$$

Alle variable i disse to likningene gjelder årlige verdier. Men forutsatt at alle de involverte kan spare og låne til samme faste rente  $r$ , dreier finansieringsanalysen seg bare om nåverdier over hele analyseperioden. Vi antar den dreier seg om  $N + 1$  år. For hver av variablene definerer vi nåverdien over alle  $N + 1$  år slik: La  $X$  være et hvilket som helst av variablene  $C, D, F, I, J, K, P, R^+, T, Y$  eller  $Q$  – med eller uten indeks  $n$ . For alle gjelder:

$$X = \sum_{n=0}^N (1+r)^{-n} X^n$$

Da har vi følgende sammenhenger mellom nåverdiene:

$$P = J - C - K + T - Y$$

$$F_B = -Y - R^+ - Q + T + I + D$$

Nå kan de to finansieringsforutsetningene for bypakker skrives:

$$F_B \leq 0, P \geq 0$$

Her betyr  $F_B \leq 0$  at bypakka som helhet ikke skal pådra seg underskudd som ikke er finansiert, og  $P \geq 0$  betyr at kollektivselskapet ikke skal gå med underskudd etter offentlig kjøp av transporttjenester.

I bypakkene er gjerne offentlige kjøp av transporttjenester behandlet som et virkemiddel. Vi må anta at virkemidlet blir brukt slik at kollektivselskapene ikke pådrar seg underskudd på langt sikt. Den motsatte antakelsen vil innebære at takstene blir økt eller tilbudet innskrenket i forhold til det som er forutsatt i konseptalternativet, og det skaper store problemer for bedømmelsen av alternativet. Følgelig må vi anta at  $P \geq 0$  er oppfylt for kollektivselskapenes del, og det vil også alltid være oppfylt for bomselskapet og parkeringsselskapene. Vi må også anta at overskuddet i slike selskaper ikke tillates å bli vesentlig større enn null i det lange løp, dels fordi kollektivselskapene er utsatt for anbudskonkurranse, og dels fordi bomselskapet må overføre sitt overskudd til det offentlige. Parkeringsselskapene vil vi også for enkelhets skyld anta er offentlig eid. Følgelig kan vi sette  $P = 0$ .

Under disse forutsetningene er finansieringskravet  $P \geq 0$  som sagt alltid oppfylt, men forpliktelsen til å finansiere et gitt kollektivtilbud er overført til det offentlige. Offentlige kjøp av transporttjenester,  $T$ , er da ikke lenger et sjølstendig virkemiddel, men en funksjon av kollektivtilbudet og kollektivtakstene. Heller ikke overføringen  $Y$  fra bomselskapet og parkeringsselskapene til det offentlige er et virkemiddel, men  $T - Y$  tilpasser seg tvert imot slik at  $P = 0$ . Eliminerer vi  $T - Y$  fra de to budsjettene, kan det offentliges underskudd  $F$  skrives:

$$(1) \quad F_B = (I + D + C) - (J + R^+ + Q) \leq 0$$

Når det offentlige har ansvaret for kollektivtransporten, har vi ikke bruk for å skille mellom offentlige og private investeringer. Vi har derfor satt  $K = 0$  i ulikheten (1).

$J$  omfatter billettinntekter, bompenger og parkeringsselskapenes overskudd. Sammen med statlige bidrag og eventuelle lokale avgifter skal dette minst dekke investeringen  $I$  i pakka, kollektivselskapets kostnader og drift og vedlikehold av infrastrukturen  $D$ .

Bare konseptalternativer som tilfredsstillir ulikheten (1) kan kalles realistiske. Konseptvalgutredningen må åpenbart kontrollere om alternativet tilfredsstillir denne forutsetningen om det i det hele tatt skal kunne anbefales. Vi har sett at Stavangerpakka fra rundt tusenårsskiftet, Oslopakke 2, Tønsbergpakka og nå sist Oslopakke 3 har vist seg å ikke ha realistisk finansiering. Det fører til mye støy rundt den helt nødvendige politiske omkampen og rundt spørsmålet om det er bompengene som skal heves eller investeringsprogrammet som skal trimmes. Siden vi aldri kan være sikre på at det ikke oppstår uventet inntektssvikt eller kostnadssprekk undervegs, har dette spørsmålet også en konseptuell side: Bypakka kan ha én av to eller tre veldefinerte tilnærminger til løsningen av slike

situasjoner. Den første er å garantere investeringsprogrammet og la bompengene være justeringsmekanismen, den andre er å garantere takstene i bommen og la investeringsprogrammet være justeringsmekanismen, og den tredje er å styre hele prosjektet slik at begge deler holdes mer eller mindre åpent og kan justeres i tråd med erfaringer underveis.

Vi må ha metoder og verktøy som tillater oss å gjøre en finansieringsanalyse med best mulig sikkerhet allerede på konseptvalgsstadiet. I tillegg må vi betrakte finansieringen som usikker og gjøre en usikkerhetsanalyse av den. Disse to oppgavene må løses allerede på konseptvalgsstadiet av to grunner: For det første fordi det (i alle fall slik det ser ut nå) er det eneste punktet hvor pakka som helhet blir tatt opp til samlet vurdering, og for det andre fordi det allerede på dette stadiet vil ha festnet seg lokalpolitiske løfter og forventninger til pakka, og det er skadelig om de hviler på bristende grunnlag. Kravet vil da også lettere bli reist mot staten om å tre inn med ekstramidler om noe går galt.

Vi ser hva dette innebærer for metoder og verktøy: En best mulig prognose for bompenginntektene, billettinntektene og inntektene fra en lokal miljøavgift, i tillegg til gode kostnadsanslag for investeringer, drift og vedlikehold sv infrastrukturen og kollektivselskapenes kostnader. Etter vårt skjønn bør det brukes en god bytransportmodell som bør kjøres for minst ett år i tillegg til åpningsåret, i kombinasjon med en god kollektivkostnadsmodell som kan bekrefte at den beregnede etterspørselen kan avvikles med det forutsatte driftsopplegget, til en kostnad som holder seg innafor det forutsatte offentlige kjøpet.

I tillegg til dette er det ønskelig å ha en best mulig oppfatning av hvordan kollektivtilbudet vil endre seg med etterspørselen, for å øke nøyaktigheten i finansieringsanalysen. Det kan kreve en egen analyse av driftsopplegget i framtida eller en tilbudsmodell. Dersom kjøprising er aktuelt, er det også ønskelig å undersøke hvordan optimale kjøavgifter vil endre seg med etterspørselen.

### **Finansieringsanalyse i ordinære bomprosjekter**

I ordinære bomprosjekter er finansieringsanalysen enklere av flere grunner. For det første behøver vi ikke bry oss om kollektivselskapets kostnader og inntekter. I ulikheten (1) kan vi se bort fra variablene  $R^+$  og  $Q$ , og  $C$  og  $J$  innskrenker seg til å omfatte bomselskapets kostnader og bominntektene. For det andre behøver vi som regel ikke å vurdere etterspørselen etter kollektivtransport særlig nøye.

Det som imidlertid er viktig med slike analyser, er å tidfeste inn- og utbetalinger til det året de skjer og neddiskontere. Det skjer ikke i det som kalles finansieringsanalyse i vegvesenet i dag. Det er også viktig å ha en best mulig analyse av avvisningseffekten. Det kan være aktuelt i den forbindelse å ha en modell som estimerer overgangen fra bilfører til kollektiv og fra bilfører til bilpassasjer.

Bompenger eller ikke bompenger har stor betydning for vurderingen av konseptalternativene.

## 9.2 Beslutningssituasjonen

Det vil være en overforenkling å anta at alle bypakker springer ut av samme prosjektutløsende behov. Formodentlig kan vi skille mellom tre typer av prosjektutløsende behov: køer og trengsel, miljøproblemer (inklusive klimamål) og byutvikling. Et fjerde, mer illegitimt prosjektutløsende behov lurker nok av og til i bakgrunnen, nemlig behovet for å maksimere statlige overføringer til det lokale transportsystemet. Uansett hvordan det er med den saka, så gir de tre legitime typene av behov opphav til ulike overordede mål. Den kanskje viktigste beslutningen i forbindelse med en bypakke er en lokal politisk avklaring *før* KVU av hva de overordede målene skal være. Bare det kan gi en tilnærmet fordomsfri diskusjon om virkemidlene og konseptalternativene og en stabil styring seinere, i gjennomføringsfasen.

Hovedelementene i bypakkene, slik vi nå kjenner dem, er investeringsprogrammet og finansieringsopplegget. I tillegg kommer flere andre elementer som kanskje vil spille en viktigere rolle i framtida, nemlig driftsopplegget for kollektivtrafikken, bruken av prisvirkemidler til trafikkstyring (køprising, kollektivtakster, parkeringsavgifter, andre lokale avgifter), og fordeling av knapp gategrunn og andre arealer mellom de ulike transportformålene. Vi nevner med vilje ikke offentlig kjøp av transporttjenester, siden det er residuelt bestemt av driftsopplegget og kollektivtakstene. Arealplanleggingen i breiere forstand, dvs. hva som skal (eller kan) bygges hvor, og hvor det ikke skal bygges, faller utenfor bypakkene, men må ligge som et avklart premiss i bønn.

Konseptalternativene vil skille seg ad ved hvilken vekt de legger på de ulike elementene og den konkrete utformingen av investeringsprogrammet, driftsopplegget, prisvirkemidlene og gatebruksplanen (inklusive kollektivfelt og kollektivgater, gågater, kollektivstrenger osv.). De kan også atskille seg ved om de låser fast disse elementene nå eller overlater avgjørelsen til framtida.

KVU og KS1 munner ut i en anbefaling om en regjeringsbeslutning. Det er statens redskap til å sørge for at midlene til store samferdselsprosjekter brukes på beste måte. I bypakkesammenheng er det statens redskap til å sørge for at de midlene de skyter inn, brukes effektivt, og dessuten ivareta andre behov den måtte ha for å gripe inn i byenes transportpolitikk. Et av disse behovene er behovet for framtidig handlefrihet.

Men staten er likevel ikke den viktigste beslutningstakeren i denne sammenheng. Konseptvalget er i vel så stor grad de lokale myndighetenes sak. Etter vårt skjønn mangler det noe – enten det er retningslinjer, faste organer, diskusjonsfora eller hva det kan være – som kan gjøre at de to beslutningstakerne har en enhetlig oppfatning om overordnede mål og aktuelle virkemidler *før* en bypakke eller en bytransportplan kommer til KVU og KS1. Som det nå er, blir konseptutformingen og alternativvurderingen en politisk stridssone, og en faglig forsvarlig utredning risikerer å bli oppfattet som et politisk innlegg for eller mot staten eller lokale myndigheter. Det ville være å håpe at konseptvalgsutredninger av bypakker i framtida hadde klarere politiske føringer, og at disse føringene var akseptert av alle beslutningstakerne.

### 9.3 Handlingsrommet

Handlingsrommet for bytransportpolitikk er i prinsippet enormt, og større jo mer detaljert de enkelte elementene i pakka skal presiseres og jo flere virkemidler som anses aktuelle.

Hvis det finns  $N$  påtenkte infrastrukturprosjekter, så finns det  $2^N$  måter å plukke ut de av dem som skal inn i planen. Med 9 kandidatprosjekter gir det 1024 alternativer. Med 30 kandidater (omtrent som Oslopakke 3) gir det rundt en milliard alternativer. For *hver* av de mulige investeringspakkene skal det på plass et driftsopplegg for kollektivtrafikken, dvs. et antall kollektivlinjer med en bestemt frekvens i høybelastningsperioden og eventuelt en lavere frekvens i lavtrafikkperioden. For *hver* slik kombinasjon av investeringspakke og driftsopplegg skal det på plass en prispolitikk – kjøpris eller bomtakst, billettpris og parkeringsavgift. Mulige gatebruksplaner utvider mulighetsrommet ytterligere.

Det finns åpenbart en del restriksjoner som begrenser dette mulighetsrommet noe. Planen skal kunne finansieres, dvs. ulikheten (1) må være oppfylt. Driftsopplegget for kollektivtrafikken må være kjørbart, dvs. det må være plass på infrastrukturen slik at hver avgang kan avvikles etter rutetabellen. Driftsopplegget må også være i stand til å avvikle etterspørselen, slik at ingen blir stående igjen på holdeplassen. Dette er de tre viktigste restriksjonene. Politiske føringer kan begrense bruken av prisvirkemidlene, men det håper vi jo ikke skal skje i større omfatning, siden dette er svært effektive virkemidler.

### 9.4 Utredningsbehovet

Et konsept som *ikke* låser fast investeringsplanen nå, men overlater avgjørelsen til framtida, vil redusere det umiddelbare utredningsbehovet vesentlig. I valget mellom to slike konsepter vil en måtte ta i bruk andre kriterier enn kvantifiserbar samfunnsøkonomisk lønnsomhet, slik som konsistente og klare mål, klare og gode prinsipper for bruk av virkemidlene, beslutningsfleksibilitet og gjennomførings-evne. Se KS1 av Oslopakke 3 (Dovre og TØI 2008) for en nærmere beskrivelse av hva man i så fall bør legge vekt på. (Stilt overfor to alternativer som kvalitets-sikringen fant var urealiserbare, anbefalte kvalitetssikrerne en tredje veg, bygd på målavklaring, porteføljestyring og løpende evaluering og revisjon av programmet.) I valget mellom en tradisjonell bypakke og et slikt mer åpent konsept, vil en måtte legge vekt på verdien av de opsjonene som det åpne konseptet har skaffet seg og kostnadene ved å anskaffe dem, dvs. ved å ikke binde seg til gjennomføring straks. Å fastsette opsjonsverdiene krever en del modellkjøring og nytteberegning av det mulige tapet ved å utsette investeringer og av den mulige gevinsten ved å kunne tilpasse investeringsprogrammet til utviklingen etter hvert.

Vender vi da tilbake til de tradisjonelle bypakkene, så må vi først skille mellom tilfellet hvor infrastrukturprosjektene er uavhengige og tilfellet hvor de er gjensidig avhengige av hverandre. Praksis tyder vel på at avhengighet mellom prosjektene er et mindre problem enn det gjerne gjøres til. Det betyr at lønnsomheten av hvert prosjekt kan beregnes for seg, fordi den ikke påvirkes vesentlig av hvilke andre prosjekter som gjennomføres. Man har trodd at et jernbaneprojekt

og et vegprosjekt i samme korridor ville være avhengige av hverandre, men tydeligvis betjener jernbanen og vegen oftest to forskjellige markeder, slik at vegprosjektet ikke stjeler mange kunder fra jernbanen og omvendt. Det samme vil trolig være tilfelle for vegprosjekter på ulike steder i samme by så lenge det ikke er vesentlige køproblemer. Vi veit ikke nok om hvor grensa går, men på et visst nivå av kø og trengsel, når den ene trafikkstrømmen skaper framkommelighetsproblemer for den andre, blir prosjekter som påvirker trafikken i det købelastede området avhengige av hverandre og kan i prinsippet ikke lønnsomhetsberegnes enkeltvis.

Implikasjonene for utredningsbehovet av de to situasjonene – kø og avhengige prosjekter, og lite kø og uavhengige prosjekter – er meget betydelige.

Uansett om det er lite kø og uavhengige prosjekter, må lønnsomheten av hvert av prosjektene beregnes. Hvis det er ti prosjekter, så innebærer det ti beregninger. I byer med et velutviklet kollektivsystem vil det heller ikke være tilstrekkelig med en grovvurdering av nytte og kostnader (GNK), siden krysspriselastisitetene mellom bil og kollektiv kan være relativt store. Vi må altså basere beregningene på bruk av en modell som har transportmiddelvalg – i praksis RTM. Videre vil det være en viss gjensidig avhengighet mellom prisvirkemidlene og infrastrukturprosjektene, slik at lønnsomheten under ulike forutsetninger om bompris og billettpris bør undersøkes. Utredning av driftskonsepter vil også være nødvendig. Her kan det oppstå en ny form for avhengighet til infrastrukturprosjektene, i det det beste driftskonseptet når prosjekt A eller B er på plass, kanskje ikke er det beste når både A og B er på plass. Alt i alt er altså utredningsoppgavene omfattende om ikke det allerede foreligger omfattende byanalyser.

Kan dette arbeidet forenkles? Kan vi ikke nøye oss med å beregne den prosjektkombinasjonen som hører med til hvert av konseptalternativene? Hvis vi veit, eller er rimelig sikre på at alle enkeltprosjektene er lønnsomme, så ja. Hvis vi kan være sikre på at konseptet ikke er spikret når det har vært gjennom KS1, så er det også akseptabelt. Ulønnsomme prosjekter kan da plukkes vekk ved konsekvensutredningen. Men så lenge bypakkene presenteres for staten og befolkningen som et fait accompli, så mener vi det er KVVU-ens plikt å undersøke om pakka kan gjøres bedre ved å ta ut ulønnsomme prosjekter.

Under enhver omstendighet må det gjøres prøve på konseptalternativene i form av en finansieringsanalyse. Alternativer som ikke kan finansieres må forkastes eller modifiseres.

Ved mye kø bør modellen skille mellom høybelastningsperioden og lavbelastningsperioden, og prinsippet for løsning av rutevalgsmodeller bør være brukerlikevekt<sup>14</sup>. Det finns pr. i dag en slik modell bare i Oslo, og det bør være en prioritert oppgave å få det på plass i noen andre store byer.

Hvis vi i tillegg har avhengige prosjekter, vokser oppgava å beregne lønnsomheten av ti prosjekter til i prinsippet en oppgave med å beregne tusen prosjekt-kombinasjoner. Det er naturligvis umulig. Vi har da to muligheter: Den første er å teste hele pakka pluss et mindre sett av alternativer der prosjekter vi mistenker er

---

<sup>14</sup> Hvis reisekostnadene i rutevalgsmodellen er forskjellige fra reisekostnadene i etterspørselsmodellen, og disse igjen er forskjellige fra reisekostnadene i nytteberegningssmodellen, oppstår det inkonsistensproblemer. Dette har vist seg å være en plage som vi kanskje burde gjøre noe med.

ulønnsomme, er tatt bort. I tillegg bør vi teste kombinasjoner av det vi mener er de aller beste prosjektene for å se om det er bedre enn hele pakka.

Den andre muligheten er å anvende en nettverksdesignmodell. Det finnes et brukbart dataprogram for å bygge opp en slik modell og løse nettverksdesignproblemer. Det er dokumentert i Ivanova og Minken (2003), men har aldri vært brukt. Det er et problem at det er sterkt begrenset hvor mange noder og lenker modellen består av. Det betyr at nettverket må bli en stilisert gjengivelse av det virkelige transportnettverket i en større by. Det finnes ingen vitenskapelig metode til å oversette et detaljert nettverk til et aggregert, og det er her svakheten ligger. På den andre sida finns det en konsistent metode for å aggregere etterspørselen i en detaljert nested logit-modell til noen få soner, og denne metoden er bygd inn i programmet. Det skal altså være mulig å laste inn Fredrik eller et utklipp fra RTM og få en etterspørsel og reisekostnad mellom de aggregerte sonene som oppfører seg på samme måte som den detaljerte modellen ville gjort.

Tre typer av prosjekter kan analyseres i programmet: 1) Bygging, forbedring eller stenging av veger, 2) Oppretting, nedlegging eller utbedring av kollektivruter (linjer), og 3) Endret avgangshyppighet på kollektivruter. For hver kombinasjon av slike prosjekter løser programmet for brukerlikevekt og finner de tre mest lønnsomme prosjektkombinasjonene under en budsjettbetingelse. Deretter velger det optimale billettpriser og optimale bomsatser på et utvalg av mulige innkrevingspunkter, gitt den optimale kombinasjonen av infrastrukturprosjekter. I prinsippet burde det altså kunne hjelpe til å ”skille skitt fra kanel” i en bypakke for en by med køproblemer, sjøl om resultatene trenger å bli kontrollert i en større modell.

Så langt om mulighetene for å utrede sammensetningen av infrastrukturprosjektene. Dersom dette ikke kreves, er det jo mulig å bruke eksisterende modellsystemer som Fredrik eller RTM23<sup>+</sup> for å beregne lønnsomheten av prosjektpakkene i hvert av konseptalternativene, men modellen må som sagt ha to perioder på dagen og bruke brukerlikevekt i rutevalget. Når det gjelder å finne optimale priser og takster, er det også mulig å komme fram med eksisterende modeller. Erfaringen viser at optimale satser på et på forhånd definert bomssystem krever vel 15 kjøring pr. tidsperiode.

Skal man bruke eksisterende modellsystemer til alle utredningsoppgaver som knytter seg til bypakker i de største byene, kommer man ikke unna å bruke skjønn for å velge ut hvilke kjøring som bør foretas. Det er mulig at skjønnet kan suppleres med stiliserte modeller som gir en pekepinn om hvordan den optimale virkemiddelbruken vil endre seg når trafikken vokser eller forutsetningene endres på annen måte. Et par arbeidsdokumenter om slike modeller er under arbeid.

## 9.5 Konklusjon

Utredningsbehovet knyttet til bypakker krever vesentlig mer av modeller og verktøy enn andre typer av konseptvalgsutredninger. Det gjelder spesielt om vi skal gå inn i pakka og finne ut hvilke elementer som bidrar positivt og hvilke som uten skade kan tas ut. Dette er en oppgave som *bør* gjøres, enten den gjøres i



KVU eller utsettes til utredningsarbeid knyttet til den organisasjonen som skal følge opp pakka som helhet.

Når vi skal foreta en slik ”dekonstruksjon” av pakker i byer med mye kø og prosjekter som er avhengige av hverandre, kan det være bruk for nye verktøy, eller i det minste verktøy som hittil ikke har vært tatt i bruk. Man kommer imidlertid et stykke på veg med godt skjønn pluss det eksisterende modellsystemet, men må ha satt av tid til ganske mange kjøring.

Det er ikke tilstrekkelig å gjøre nyttekostnadsanalyser av alternativene. I tillegg må man også forsikre seg om at finansieringen er realistisk, og gjøre en usikkerhetsanalyse av finansieringen. Det gjelder for så vidt også bomprosjekter utenom byene, men der er problemstillingen mye enklere, fordi en ikke har eventuelle tilskudd til kollektivsystemet å ta hensyn til.

Det er tenkelig at bypakkene utvikler seg mer i retning av strategiske planer, som overlater avgjørelsene om det konkrete investeringsprogrammet til et gjennomføringsorgan i framtida. Det gjør oppgava i KVU vesentlig mindre krevende hva bruk av modeller og verktøy angår. Men det innebærer ikke at en kan droppe de oppgavene vi har drøftet her, bare at man utsetter dem til seinere.

## 10 Behandlingen av usikkerhet

### 10.1 Betydningen av å ta hensyn til usikkerhet i KVV

Begrepene *risiko* og *usikkerhet* har mange forskjellige tolkninger i ulike sammenhenger. Risiko er ofte definert som sannsynligheten for at en gitt hendelse inntreffer, multiplisert med konsekvensen dersom denne hendelsen inntreffer. Usikkerhet betyr *mangel på sikkerhet* og er dermed et mer generelt begrep som ikke er avgrenset til at definerte hendelser oppstår, slik som risiko. På grunn av ulik begrepsbruk i referansedokumentene, benytter vi imidlertid her begrepene usikkerhet og risiko om hverandre, med identisk betydning.

Prosjekter er komplekse av natur, ofte med ambisiøse mål, lang gjennomføringstid og store investeringer. Det vil som regel være vesentlig *usikkerhet* knyttet til forutsetninger, tidsplaner, kostnadsestimater, markedsforhold, teknisk innhold, organisatoriske forhold, samt fremtidige driftskostnader og virkninger i form av lønnsomhet eller samfunnsøkonomisk nytte. I prosjektsammenheng benytter vi følgende definisjon av begrepet usikkerhet:

*Usikkerhet er gitt ved differansen mellom den informasjon som er nødvendig for å ta en sikker beslutning og den tilgjengelige informasjon (PS2000, 1997).*

En samfunnsøkonomisk analyse skal pr. definisjon baseres på *forventningsverdier* for alle parametere som inngår i analysen. En forventningsverdi er ikke det samme som den mest sannsynlige verdi, men det vektete gjennomsnittet av alle mulige verdier en usikker faktor kan ha.

I forbindelse med økonomiske analyser og beslutninger er det viktig å finne realistiske anslag for:

- *Forventningsverdi*
- *Spredning* rundt forventningsverdi

Forventningsverdien for en faktor kan beregnes ved at det defineres et utfallområde i form av en *kontinuerlig sannsynlighetsfordeling* (som oftest angitt ved estimer for minimum, mest sannsynlig og maksimal verdi), eller et *hendelsestre* med definerte utfall og tilhørende sannsynligheter. I begge tilfeller kan både forventningsverdien og antatt spredning rundt forventningsverdien beregnes. Antatt spredning er et uttrykk for usikkerheten knyttet til den faktoren.

Ved å benytte forventningsverdier i analysen vil de resulterende verdiene fra analysen også være forventningsrette. For å få et samlet bilde av usikkerheten er det imidlertid nødvendig å aggregere usikkerheten for hver faktor, noe vi kommer tilbake til senere i kapittelet.

Usikkerhetsbildet med de enkelte faktorene kan struktureres på ulike måter, f.eks. i henhold styrbarhet og eierskap, men det er en inndeling som er særlig interessant i forbindelse med en samfunnsøkonomisk analyse, nemlig inndelingen i henholdsvis *usystematisk* og *systematisk* usikkerhet.

Usystematisk usikkerhet er *diversifiserbar*. Spesifikke forhold som er knyttet til et prosjekt eller en gruppe prosjekter vil kunne inntreffe uavhengig av utviklingen i andre prosjekter og økonomien for øvrig. Spredningen som følge av slike forhold vil dermed jevnes ut i henhold til «de store tall lov» når vi betrakter en større portefølje eller økonomien i samfunnet som helhet. Usystematisk usikkerhet blir derfor i økonomiske analyser representert ved sine forventningsverdier.

Systematisk usikkerhet er *ikke diversifiserbar*. Generelle forhold som påvirkes av konjunktorene vil ikke kunne utjevnes ved diversifisering som beskrevet over. Definisjonen på systematisk usikkerhet er knyttet til *konjunkturfølsomhet*, hvor størrelsen på den systematiske usikkerheten er knyttet til graden av samvariasjon mellom prosjektavkastningen og avkastningen på nasjonalinntekten.<sup>15</sup>

Resten av dette kapitlet er organisert slik at vi først behandler analyse av usikkerhet i prosjekter, deretter behandling av systematisk usikkerhet. Vi går gjennom gjeldende bestemmelser og veiledninger, sammenligner med nåværende praksis og fremmer forslag til forbedringer.

## 10.2 Krav om usikkerhetsanalyse

### Finansdepartementets veileder i samfunnsøkonomiske analyser

Finansdepartementets veileder i samfunnsøkonomiske analyser (Finansdepartementet 2005b) definerer i kapittel 5.2 forventede verdier og viser i boks 5.1 beregninger for å finne frem til denne ved et enkelt regneeksempel, men presiserer i fotnote 17 følgende:

«Eksempelet må ikke betraktes som en anbefalt metodikk for virkelige prosjekter. I et virkelig prosjekt må det legges betydelig arbeid i å kvalitetssikre inngangsdataene, og for prosjekter med en viss kompleksitet vil det være vanskelig å få et korrekt grep om usikkerheten uten å utarbeide en egen usikkerhetsanalyse. En usikkerhetsanalyse er en systematisk fremgangsmåte for å identifisere, beskrive og beregne usikkerhet. Beregningsmetodikken er, i motsetning til i vårt enkle regneeksempel, basert på kontinuerlige sannsynlighetsfordelinger med korreksjoner for korrelasjoner mellom usikkerhetsdriverne».

Oppsummeringen i kapittel 5.11 inneholder en oversikt over tre hovedpunkter som må ivaretas når prosjektalternativer gjennomgås i en samfunnsøkonomisk analyse, hvorav det første er:

«Beregn forventet verdi. Det forutsettes benyttet alminnelig anerkjente metoder».

Finansdepartementets veileder med andre ord er rimelig klar på at det for hvert enkelt alternativ skal utføres stokastiske usikkerhetsanalyser for å beregne forventede inntekter og kostnader.

---

<sup>15</sup> Se Veileder i samfunnsøkonomiske analyser kapittel 5.2.2 og 5.3.2

## Rammeavtalen

Finansdepartementet (2005a), «Rammeavtale om kvalitetssikring av konseptvalg, samt styringsunderlag og kostnadsoverslag for valgt prosjektalternativ» angir i kapittel 5.7 at det skal foreligge en alternativanalyse med nullalternativet og minst to andre alternative hovedkonsepter, og at disse skal være bearbeidet i en samfunnsøkonomisk analyse. Det vises i denne forbindelse til den til enhver tid gjeldende versjon av Finansdepartementets veiledning i samfunnsøkonomiske analyser. Dette medfører at det stilles krav til at det utføres en stokastisk usikkerhetsanalyse for å finne forventede verdier for inntekter og kostnader.

Videre stiller rammeavtalen krav til at kvalitetssikrer skal «utføre en usikkerhetsanalyse etter samme mønster som for KS 2 for investeringskostnadene knyttet til hvert enkelt alternativ, men tilpasset det presisjonsnivå for spesifiserte og uspesifiserte poster som etter god prosjektstyringsskikk kan forventes på forprosjektstadiet». Kvalitetssikrer skal også «gjøre beregninger av usikkerhet knyttet til drifts-, vedlikeholds- og oppgraderingskostnader og over nyttesiden relatert til samfunns mål og effektmål, herunder eventuelle kontantstrømmer».

For detaljert beskrivelse av krav i forbindelse med usikkerhetsanalyse for KS 2 vises det til rammeavtalens kapittel 6.6 til 6.11.

## Konklusjon: Krav om usikkerhetsanalyse

Finansdepartementets veileder for samfunnsøkonomiske analyser er klar på at det for hvert enkelt alternativ skal utføres stokastiske usikkerhetsanalyser og beregnes forventede inntekter og kostnader. Rammeavtalen viser til veilederen og stiller også klare krav til usikkerhetsanalysen som skal utføres av kvalitetssikrer.

Disse kravene kan ikke uten videre oppfattes som at de automatisk også gjelder som krav for usikkerhetsanalysen i KVVU. Det stilles imidlertid krav til stokastisk usikkerhetsanalyse, og kravene til kvalitetssikrer gjenspeiler etter vår vurdering god praksis for slike analyser. Vi vil derfor anbefale at de samme kravene legges til grunn ved utarbeidelse av usikkerhetsanalyser i forbindelse med KVVU.

## 10.3 Metodikk for usikkerhetsanalyse

Finansdepartementets veileder definerer, som nevnt tidligere, en usikkerhetsanalyse som følger:

«En usikkerhetsanalyse er en systematisk fremgangsmåte for å identifisere, beskrive og beregne usikkerhet. Beregningsmetodikken er [ ... ] basert på kontinuerlige sannsynlighetsfordelinger med korreksjoner for korrelasjoner mellom usikkerhetsdriverne».

Det finnes mange ulike definisjoner og ikke minst analyseprosesser, jf. referanselisten, men Finansdepartementets definisjon dekker det essensielle og benyttes videre i dette kapitlet.

## Identifisering

Målet for analysen bør være å få frem all relevant usikkerhet i forbindelse med valg av konsept for et tiltak, det er derfor viktig at analysen gjennomføres så forutsetningsløst som mulig, slik at usikkerhet som påvirker samfunns mål, effekt-mål, krav og både prissatte og ikke prissatte konsekvenser i den samfunnsøkonomiske analysen blir identifisert på en dekkende måte.

Ved analyse av usikkerhet vil det alltid være forhold som vil være *årsak* til usikkerhet som gir seg utslag i *virkinger* i prosjektets mål eller lønnsomhet. Det er disse årsakene, eller driverne som noen kaller dem, vi er på jakt etter, og som vi kaller usikkerhetselementer eller usikkerhetsfaktorer. Disse begrepene brukes om hverandre.

De identifiserte usikkerhetselementene må deretter struktureres og bearbeides slik at de er *gjensidig uavhengige* av hverandre, *men samtidig dekkende* for det samlede usikkerhetsbildet. Dette medfører at usikkerhetselementer med gjensidig avhengighet normalt bør grupperes sammen, og at det samlede antallet usikkerhetselementer derfor blir begrenset.

Ofte vil mange poster i et kostnadsestimat eller lønnsomhetsanalyse være påvirket av de samme årsakene til usikkerhet. For eksempel vil markedsusikkerhet påvirke de fleste postene i et kostnadsestimat, og like naturlig er det at trafikkmengde (etterspørselen) vil påvirke både trafikantnytte og en rekke andre virkninger. Usikkerheten må derfor ikke knyttes til postene i lønnsomhetsanalysen, men til usikkerhetselementene markedsusikkerhet og trafikkmengde.<sup>16</sup> På denne måten står usikkerhetselementene og deres påvirkning på postene i et direkte årsak-virkning forhold. Dette er viktig for å kunne få beregnet den samlede usikkerheten på en realistisk måte.

Deretter bør usikkerhetselementene struktureres i henhold til om de påvirker investeringskostnader, driftskostnader eller nyttesiden, og videre bør de kategoriseres som henholdsvis usystematisk eller systematisk usikkerhet (med henblikk på senere kvantifisering av systematisk usikkerhet).

## Kvantifisering

Prognoser og estimater omhandler normalt fremtidige forhold som av natur er usikre, noe som medfører at prognosene og estimatene bør si noe om forventet utvikling, men også usikkerheten i anslagene m.a.o. spredningen rundt forventet verdi. Ulike tilnærminger til å lage gode prognoser og estimater.

- For faktorer som holder seg på et stabilt og forutsigbart nivå over tid, kan det ofte være hensiktsmessig å basere seg på historiske data, eller eventuelt lage enkle prognoser på bakgrunn av informasjon om utviklingen i demografiske størrelser eller lignende.
- Dersom en ikke har historiske data om en gitt faktor, kan en benytte tall fra sammenlignbare forhold eller innhente ekspertuttalelser. I mange tilfeller må

---

<sup>16</sup> Usikkerheten knyttet til trafikkmengde kan være gjensidig knyttet til usikkerheten i enhetspris. I et slikt tilfelle bør trolig usikkerhetselementet være definert som produktet av trafikkmengde og pris.

en tilordne subjektive sannsynlighetsfordelinger etter beste skjønn. Det finnes en rekke anerkjente metoder for å gjøre dette på en strukturert og rimelig objektiv måte.

- I andre tilfeller, hvor fremtiden er svært usikker, vil det være behov for en grundigere utredning av mulige scenarioer, f.eks. ved hjelp av scenario-analyser (se Finansdepartementets veileder kapittel 5.5).

Kvantifisering foretas som oftest ved å definere en kontinuerlig sannsynlighetsfordeling - angitt ved hjelp av estimater for minimum, mest sannsynlig og maksimum verdi - for det enkelte usikkerhetselement, men også hendelsesusikkerhet med definerte utfall og tilhørende sannsynlighet bør tas med.

Den anbefalte måten å foreta kvantifiseringen på er, med utgangspunkt i kostnads-estimatet eller lønnsomhetsanalysen, å endre en variabel av gangen og minimum, mest sannsynlig og maksimum verdi for denne hver for seg og beregne hvilken virkning dette vil gi på samlet kostnad eller lønnsomhet. Vi kvantifiserer med andre ord *virkingen* hver enkelt *årsak* (usikkerhetselement), og eliminerer behovet for komplekse beregningsmodeller<sup>17</sup>.

Deretter beregnes den samlede virkingen av disse i form av forventningsverdi og spredning i form av standardavvik eller sannsynlighetsfordeling (s-kurve). Det anbefales i tillegg å presentere en oversikt over hvilke usikkerhetslementer som har størst påvirkning på resultatet (tornadodiagram).

For mer detaljert beskrivelse av anbefalt metode for kvantifisering og modellering viser vi til vedlegg 3 som gir en nærmere beskrivelse av Dovre Group sin foretrukne analysemodell AnRisk ©, og også til vegvesenets anslagmetode (SVV, 2000).<sup>18</sup>

## Mål, krav og ikke-prissatte konsekvenser

Det er ikke bare kostnadsanslaget og nyttekostnadsanalysen som er usikker. Graden av oppfyllelse av mål og krav, og styrken og omfanget av ikke-prissatte konsekvenser, er minst like usikkert. Dersom måloppfyllelsen eller konsekvensen er uttrykt kvantitativt i fysiske eller andre naturlige enheter, lar mye av den samme metodikken seg anvende på denne typen usikkerhet. Under enhver omstendighet bør en drøfte usikkerheten og gjøre følsomhetsanalyser av den endelige rangeringen av alternativene med hensyn på ulike realistiske kombinasjoner av alternativenes resultater når det gjelder oppfyllelsen av mål og krav og ikke-prissatte konsekvenser. I den forbindelsen bør man huske på at disse indikatorene ikke kan varieres fritt i forhold til hverandre, men samvarierer med hverandre og med prissatt nytte og kostnad i den grad de har felles årsaker (drivere).

---

<sup>17</sup> I enkelte tilfeller denne forenklingen kunne gi noe redusert nøyaktighet i resultatene, men neppe i en slik grad at det vil ha avgjørende betydning for konklusjonene fra analysen.

<sup>18</sup> Annen litteratur som kan være av interesse omfatter Austeng m.fl. (2005), Chapman og Ward (1997, 2002), Copeland og Weston (1988), Kilde m.fl. (1999), SSØ (2006).

## 10.4 Behandling av systematisk risiko

### Finansdepartementets veileder i samfunnsøkonomiske analyser

Finansdepartementets veileder i samfunnsøkonomiske analyser gjelder generelt for statlige prosjekter, både store statlige prosjekter som faller inn under kvalitetssikringsregimet og mindre statlige prosjekter som ikke kommer inn under kvalitetssikringsregimet. I veilederens kapittel 5.3 redegjøres det for to ulike måter å ivareta *systematisk risiko* på i samfunnsøkonomiske analyser generelt.

*Sikkerhetsekvivalenter*: «Å erstatte usikre, fremtidige prosjektoverskudd med sikkerhetsekvivalenter og deretter neddiskontere de sikkerhetsekvivalente størrelsene med den risikofrie alternativavkastningen. Vi definerer sikkerhetsekvivalenten i en periode som det minste sikre beløpet vi er villige til å bytte den usikre netto prosjektinntekten med».

*Risikojustert rente*: «Å justere opp kalkulasjonsrenten med et risikotillegg og deretter neddiskontere de usikre, fremtidige prosjektoverskuddene med en risikojustert kalkulasjonsrente».

Begge metodene forutsetter at vi kjenner til graden av systematisk risiko for hvert enkelt tiltak, og for hvert enkelt alternativ, samt samfunnets eller statens holdning til denne type risiko.

For prosjekter som faller inn under kvalitetssikringsregimet, presiseres det imidlertid i kapittel 5.4 følgende:

«I alternativanalysen inngår samfunnsøkonomiske analyser av nullalternativet og minst to alternative hovedkonsepter. Det benyttes inngangsdata fra egne usikkerhetsanalyser, hvor det beregnes forventningsverdier og spredningsmål på de ulike usikkerhetselementene. Gjennom usikkerhetsanalysen får en beregnet direkte den systematiske usikkerheten som er relevant for staten. En får med seg bl.a. forskjeller i systematisk usikkerhet knyttet til investeringsutgiften, variasjoner i nivået på den systematiske usikkerheten knyttet til nyttevirkningene og ikke minst variasjoner i hvordan usikkerheten i nytte løses opp over prosjektets levetid. Dette gir et sikrere uttrykk for den systematiske usikkerheten enn et sjablonmessig risikotillegg i kalkulasjonsrenten. Det generelle risikotillegget i kalkulasjonsrenten gjøres derfor ikke gjeldende for prosjekter som faller inn under statens regler for ekstern kvalitetssikring».

Veilederen uttrykker klart at systematisk usikkerhet for store statlige prosjekter skal beregnes direkte, og at det generelle tillegget i kalkulasjonsrenten ikke skal benyttes for disse prosjektene.

### Rammeavtalen

I rammeavtalen mellom Finansdepartementet og kvalitetssikringsgruppene heter det om alternativanalysen i KS 1:

«Leverandøren skal utføre en usikkerhetsanalyse etter samme mønster som KS 2 for investeringskostnadene knyttet til hvert enkelt alternativ, men tilpasset det presisjonsnivå for spesifiserte og uspesifiserte poster som etter god prosjektstyringspraksis kan forventes på forstudiestadiet. Leverandøren skal også gjøre beregninger over usikkerheten knyttet til drifts-, vedlikeholds- og oppgraderings-

kostnader og over nyttesiden relatert til samfunns mål og effektmål, herunder eventuelle inntektsstrømmer.

Leverandøren skal utføre en samfunnsøkonomisk analyse av alternativene i henhold til Finansdepartementets veiledning. Som inngangsdata i analysen inngår forventningsverdiene fra usikkerhetsanalysen/-beregningene, samt den stokastiske spredningen knyttet til de systematiske usikkerhetselementene. Valutausikkerhet skal likevel ikke medtas, da staten har en risikonøytral holdning til denne typen usikkerhet. Men en slik direkte beregning av den systematiske usikkerhet bortfaller behovet for å vurdere plassering i risikoklasse ved fastsettelsen av diskonteringsrenten. Størrelsen på den risikofrie diskonteringsrenten vil bli oppgitt av finansdepartementet».

Rammeavtalen henviser generelt til veilederen i samfunnsøkonomiske analyser, men presiserer at den stokastiske spredningen knyttet til systematiske usikkerhets-elementer skal beregnes og at risikofrirente skal benyttes.

### **Samferdselsmyndighetenes retningslinjer for KVV**

Utover rammeavtalen finnes det ingen nærmere beskrivelser fra departementet av hvordan systematisk risiko skal behandles i KVV. SVV og JBV (2006) behandler heller ikke spørsmålet, men nevner på side 32 og 33 at det er Finansdepartementets forutsetning at beregningene skal baseres på en risikofri rente på 2 prosent. Dersom dette gjøres uten at graden av systematisk risiko overhodet blir vurdert vil dette imidlertid bryte med konsistensbetingelsene.

### **Finansdepartementets veileder for systematisk usikkerhet**

Veilederen (Finansdepartementet 2008) bygger på kravene som beskrevet i rammeavtalen og veilederen i samfunnsøkonomiske analyser, men er også presisering av disse og inneholder en trinnvis prosess for behandling av systematisk risiko. Veilederen gjelder for prosjekter som faller inn under kvalitetssikringsregimet:

«Rammeavtalen<sup>19</sup> beskriver at det for hvert enkelt alternativ skal utføres en usikkerhetsanalyse for henholdsvis:

- Investeringskostnader
- Drifts-, vedlikeholds- og oppgraderingskostnader
- Nytte / Eventuelle inntektsstrømmer

I disse usikkerhetsanalysene skal det totale usikkerhetsbildet beskrives. Analysene vil derfor inkludere både systematisk og usystematisk usikkerhet.

Forventningsverdiene fra usikkerhetsanalysene skal deretter inngå som inngangsdata til de samfunnsøkonomiske analysene for hvert alternativ, sammen med «den stokastiske spredningen knyttet til de systematiske usikkerhetselementene». Ved en slik direkte beregning av systematisk usikkerhet, faller behovet for et sjablong-

---

<sup>19</sup> Finansdepartementet (2005a), kapittel 5.7 femte avsnitt



messig risikotillegg i kalkulasjonsrenten bort. Risikofri diskonteringsrente skal derfor benyttes.<sup>20</sup>

Fremgangsmåten beskrevet av Finansdepartementet medfører en mer direkte tilnærming til beregning av systematisk usikkerhet enn risikojusteringen av diskonteringsrenten som kapitalverdimodellen<sup>21</sup> benytter. De to tilnærmingene bygger imidlertid på de samme prinsipper og står ikke i motsetning til hverandre.

Rammeverket for identifisering og behandling av systematisk usikkerhet må inkludere følgende forhold, etter at usikkerhets- og samfunnsøkonomiske analyser er utført:

- Trekke ut systematiske elementer fra analysene
- Vurdering av relevans for staten samlet sett
- Beregning av samlet stokastisk spredning
- Vurdering av mulighet for tilpasninger
- Oppsummering av alternativene

Disse forholdene kan ses som en sjekklister eller som konkrete trinn i analyseprosessen, og de følgende kapitlene er derfor strukturert i henhold til denne inndelingen».

For detaljer om denne prosessen viser vi til veilederen.

Behandling av systematisk risiko i henhold til finansdepartementets veileder medfører at samfunnsøkonomisk lønnsomhet beregnes med risikofri rente, og at størrelsen på systematisk risiko uttrykkes som en stokastisk størrelse som beslutningstakerne på vegne av samfunnet kan ta stilling til direkte. Utreder og kvalitetssikrere trenger derfor ikke å gjøre antakelser om hvilken holdning til risiko (normalt nøytralitet eller grader av avers holdning) som skal legges til grunn i analysene av alternative konsepter.

For å synliggjøre graden av robusthet i rangeringen av alternative konsepter, anbefaler vi imidlertid at det gjøres sensitivitetsanalyser i forhold til bruk av ulike kalkulasjonsrenter.

### Metodikk i veileder i forhold til CAPM

Kapitalverdimodellen (CAPM) er prinsipielt gitt ved:

$$(2) \quad E[R_i] = R_f + (E[R_m] - R_f) \cdot \beta$$

$$(3) \quad \beta = \frac{\text{cov}(R_m, R_i)}{\text{var } R_m} = \text{korr}(R_m, R_i) \frac{\text{st.avv}(R_i)}{\text{st.avv}(R_m)}$$

der  $R_i$  er risikojustert avkastningskrav,  $R_m$  er avkastningen på markedsporteføljen og  $R_f$  er risikofri rente. Korr betyr korrelasjonskoeffisienten og st.avv. betyr standardavviket. Fotskriftene  $m$  og  $i$  henviser til henholdsvis markedsporteføljen og investeringsobjektet. Sammensatt kan (2) og (3) uttrykkes slik:

<sup>20</sup> Se Finansdepartementet 2005a, kapittel 5.7 og 2008, kapittel 5.4

<sup>21</sup> Se Veileder i samfunnsøkonomiske analyser vedlegg 2

$$(4) \quad E[R_i] = R_f + \frac{(E[R_m] - R_f)}{\text{st.avv}(R_m)} \cdot (\text{korr}(R_m, R_i) \cdot \text{st.avv}(R_i))$$

*Enhetsprisen* på systematisk risiko er her angitt ved differansen mellom markedsporteføljens avkastning og risikofri rente,  $(E[R_m] - R_f)$ , dividert med standardavviket for markedsporteføljen, mens *mengden* systematisk risiko er angitt ved produktet av standardavviket for investeringens avkastning,  $\text{st.avv}(R_i)$  og korrelasjonskoeffisienten mellom denne og markedsporteføljens avkastning,  $\text{korr}(R_m, R_i)$ . *Enhetsprisen* på systematisk risiko er basert på data om aksjemarkedet og obligasjonsmarkedet og er den samme i alle analyser. En analyse av systematisk risiko i det enkelte prosjekt basert på CAPM tar sikte på å kvantifisere *mengden* av systematisk risiko i dette spesielle prosjektet. Dermed har vi også bestemt prosjektets "beta" og avkastningskrav, som likningene (3) og (4) viser.

Rammeavtalen har krav om at den stokastiske spredningen knyttet til de systematiske usikkerhetselementene skal angis direkte, og Finansdepartementets veileder for systematisk usikkerhet beskriver nærmere hvordan den kan beregnes ved å beregne prosjektets samlede standardavvik knyttet til systematiske usikkerhetslementer. Dersom usikkerhetselementene ikke er kategorisert slik at dette kan gjøres direkte, må en for hvert usikkerhetselement angi standardavviket multiplisert med korrelasjonskoeffisienten i forhold til nasjonalinntekten  $N$ .

Ved bruk av tilsvarende notasjon som over, kan dette uttrykkes som produktet  $\text{korr}(N, R_i) \cdot \text{st.avv}(R_i)$ , altså det samme som mengden systematisk usikkerhet i CAPM, bare at korrelasjonen nå er knyttet til nasjonalinntekten i stedet for markedsporteføljen for aksjer. Ved å multiplisere med enhetsprisen på systematisk risiko kan en da beregne den risikjusterte kalkulasjonsrenten for tiltaket eller alternativet. Dette vil i så fall være å gå lengre enn kravene i rammeavtalen og Finansdepartementets veileder i samfunnsøkonomiske analyser angir.

Det anbefales at Finansdepartementets veileder for systematisk usikkerhet legges til grunn, det vil si at det utarbeides samfunnsøkonomiske analyser ved bruk av risikofri rente og at systematisk risiko presenteres som en egen indikator. For beslutningstakerne vil dette gi et direkte bilde av lønnsomheten og usikkerheten ved de enkelte tiltak og alternativer.

Vi kan imidlertid ikke se at Finansdepartementet legger noen føringer for hvorvidt en *i tillegg* bør integrere de to indikatorene i form av risikjustert kalkulasjonsrente i den samfunnsøkonomiske analysen. Slik integrasjon vil kreve utvikling av en hensiktsmessig metodikk som ligger utenfor omfanget for dette oppdraget.

### Metodik for mindre tiltak

Metodikken som Finansdepartementets veileder i samfunnsøkonomiske analyser legger til grunn for prosjekter som ikke faller inn under kvalitetssikringsregimet, innebærer at et gjennomsnittlig risikotillegg i kalkulasjonsrenten må legges til grunn og at det unntaksvis vurderes et høyere risikotillegg basert på vurderinger av konjunkturfølsomhet og andel faste kostnader.

Minken (2005) har undersøkt et større datamateriale for å kunne beregne hvilket risikotillegg som vil være riktig for ulike typer samferdselsprosjekter. Han påviser

en forskjell i systematisk risiko mellom ulike transportformer og avhengig av om det gjelder persontransport eller godstransport, men konkluderer med at det på grunn av usikkerhet i beregningene anbefales å benytte den samme kalkulasjonsrenten for alle former for landtransport og en liten økning i renten for sjøtransport. Han konkluderer også med at det vil være upraktisk og sannsynligvis umulig grunnet manglende data å beregne en egen kalkulasjonsrente for hvert enkelt tiltak.

Å benytte samme rente for alle former for landtransport innebærer i realiteten å ikke gjøre forskjell for ulike former for transport, men at en avhengig av nivået for risikopåslag vil favorisere prosjekter med kort levetid fremfor dem med lang levetid.

## Finansiering

Vi kan med *sikkerhet* si at et konsept med urealistisk finansiering ikke vil bli realisert i den form som det var planlagt. Usikkerhet om graden av finansiering, både av anlegget og av driften av kollektivtilbudet, er derfor en hovedkilde til usikkerhet i den samfunnsøkonomiske analysen. Dette er fullstendig oversett i KVVU til nå. Rammeavtalen krever ikke bare en usikkerhetsanalyse, men også en finansieringsplan. I en finansieringsplan er det nødvendig å ta hensyn til på hvilket tidspunkt de ulike utbetalingene og innbetalingene kommer.

Det er en rekke usikre forhold som kan påvirke finansieringen og dermed prosjektets mulighet til å bli realisert som planlagt. Vi må derfor kreve en best mulig usikkerhetsanalyse av finansieringsplanen, allerede på konseptvalgsstadiet. Når det gjelder bompengeprojekter må vi ta hensyn til at markedsrenten på selskapets lån er usikker på konseptvalgsstadiet, og at størrelsen på bompengene påvirker etterspørselen. Når det gjelder kollektivselskaper er graden av tilskudd usikker. Innenfor rammene av et gitt tilskudd må vi anta at selskapet tilpasser priser og tilbud slik at de ikke akkumulerer underskudd, men dermed blir nivået på etterspørselen usikkert. Anleggskostnader, framtidige statlige bevilgninger og private bidrag er naturligvis også viktige usikkerhetsfaktorer.

Som et minimum mener vi at en KVVU må inneholde en følsomhetsanalyse av finansieringsspørsmålene i et pessimistisk scenario, omtrent slik som det kreves i bompengeprojekter som krever såkalt betinget refusjon, dvs. en offentlig garanti som bare blir effektiv dersom det går dårligere enn en i verste fall kan vente. Følsomhetsanalysen bør inneholde tallfestede og tidfestede størrelser.

## Nåværende praksis

Ingen gjennomførte konseptvalgutredninger (KVVU) har kommet så langt i den samfunnsøkonomiske analysen at de har hatt angitt størrelsen på systematisk usikkerhet. Mange har heller ikke kvantifisert nytten ved de ulike alternativene. En har i disse tilfellene heller ikke drøftet usikkerhet ved de ulike konseptene på noen måte, hverken kvalitativt eller kvantitativt. Bare noen få KVVU (Oslopakke 3, Rogfast) har gjennomført systematiske følsomhetsanalyser for lønnsomhet og/eller måloppfyllelse med hensyn på den eller de viktigste usikkerhetsfaktorene.

Fraværet av drøfting av usikkerhet knyttet til tiltaket og de ulike konseptene må betraktes som en avgjørende svakhet for de fleste av de KVVU vi har sett til nå. Det er spesielt påfallende i hvilken grad man behandler graden av oppfyllelse av mål og krav som sikre resultater. Nesten ingen har drøftet usikkerhet i forbindelse med måloppfyllelsen, til tross for at det finnes en utbredt oppfatning om at konseptvalgsutredninger er for usikre til at det er tilrådelig med nyttekostnadsanalyse. Hvordan kan vi da være så sikre på måloppfyllelsen?

Så langt har vi ikke sett noen KVVU som har inneholdt noen form for finansieringsanalyse.

## 10.5 Konklusjon

Finansdepartementets veileder i samfunnsøkonomiske analyser og rammeavtalen definerer krav til behandling av usikkerhet i samfunnsøkonomiske analyser som bør legges til grunn ved utarbeidelse av KVVU. Det legges vekt på at de samfunnsøkonomiske analysene må bygge på stokastiske forventningsverdier og at spredning rundt forventningsverdiene må beregnes. Det må videre gis en oversikt over hvilke usikre forhold som i størst grad påvirker prosjektets mål og lønnsomhet. Systematisk usikkerhet skal angis ved den stokastiske spredningen knyttet til systematiske usikkerhetslementer. Risikofri rente skal derfor benyttes. Det er videre påkrevd at analysene av både usystematisk og systematisk gjennomføres for hvert enkelt konseptalternativ.

Nåværende praksis tyder på at det legges alt for liten vekt på analyse og synliggjøring av usikkerhet ved utarbeidelsen av KVVU.

# 11 Eksempler

## 11.1 Oppdraget

I oppdraget er vi bedt om å presentere et eksempel dersom vi fremmer forslag til en ny metode (se pkt 2.1). Eksemplet kan være konkret eller tenkt. Eksemplet skal vise hvordan den samfunnsøkonomiske analysen skal gjennomføres. Videre bør eksemplet vise hvordan den samfunnsøkonomiske analysen bør presenteres i en konseptvalgutredning; herunder tydeliggjøre hvilke data/forutsetninger m.m. som bør presenteres for at analysen skal være gjennomsiiktig og etterprøvbar.

Hovedsakelig mener vi at eksisterende metoder kan benyttes i KVVU-sammenheng. Vi har likevel foreslått en grovvurdering av nytte og kostnader i kapittel 6 og en mer systematisk sammenveing vurdering av konsekvensmatrisen i kapittel 4. Nedenfor gir vi et eksempel på hver av disse metodene. Eksemplene bygger på eksisterende KVVU-er, men vi har ikke lagt vekt på realisme i alle detaljer. I virkeligheten tillater offentliggjorte data fra disse utredningene faktisk litt mer nøyaktige beregninger.

## 11.2 Grovvurdering av nytte og kostnader – Lavik-Skei

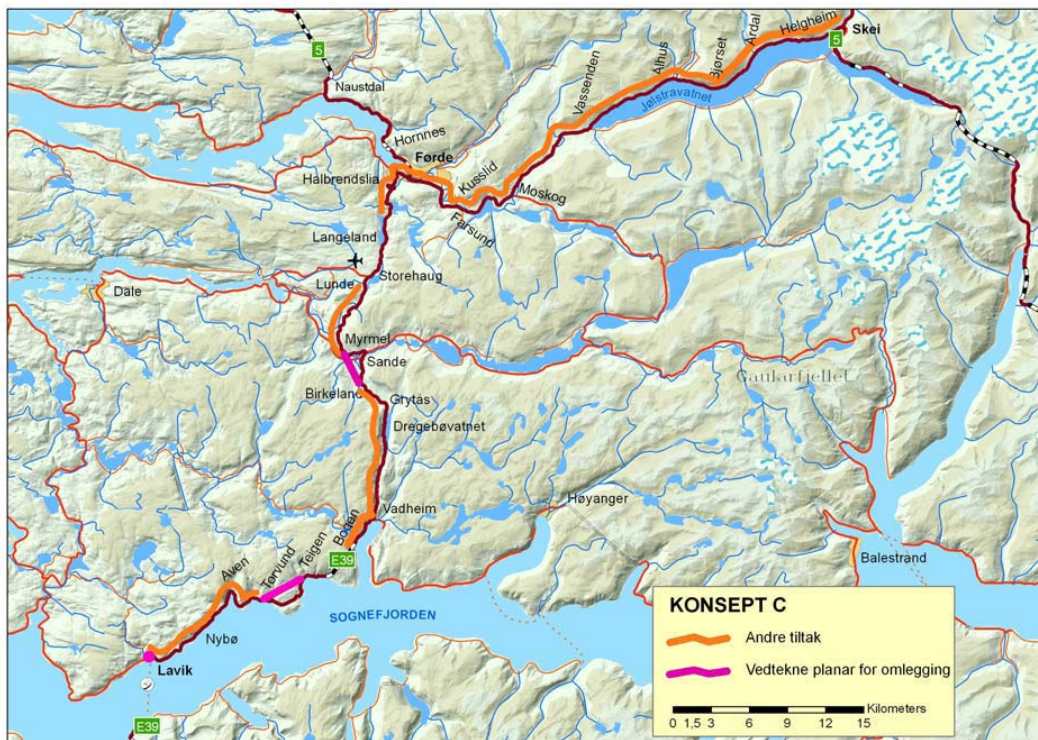
Alternativene i KVVU av E39 fra Lavik til Skei er A, B, C og D, der A er trafikk-reducerende tiltak, B er mindre utbedringer, C er lik B pluss breddeutvidelse til gul midtstripe og D er lik C pluss vegomlegging (bl.a. tunnel utenom Førde). Alternativ A og B blei silt vekk tidlig. Vi har derfor bare data til en vurdering av C og D.

I KVVU-en er det opplyst om ÅDT i år 2007 på 10 punkter langs E39 og 4 punkter langs Rv15. De varierer fra 1500 til 13 000. Ingen steder utenom Førde har ÅDT over 7000 i 2007. Videre har vi data om veginnkorting i Alt C og D og om spart reisetid fordelt på reisetid for personbiler og tunge kjøretøyer. Vi har også sparte ulykker. Både innkorting og reisetidsbesparelse er oppgitt pr. delstrekning.

Dette er dataene vi trenger for en grovvurdering av alternativ C. Siden vi mangler lokalkunnskap og ikke har studert beliggenheten av utbedringene og tellepunktene i detalj, skal vi skjønnsmessig fordele gevinstene av tiltak på to hovedstrekninger, sør og nord for Sande. Etter skjønn setter vi da ÅDT til henholdsvis rundt 2000 og 6000 på de to strekningene. Tungrafikkandelen setter vi til 12 %.

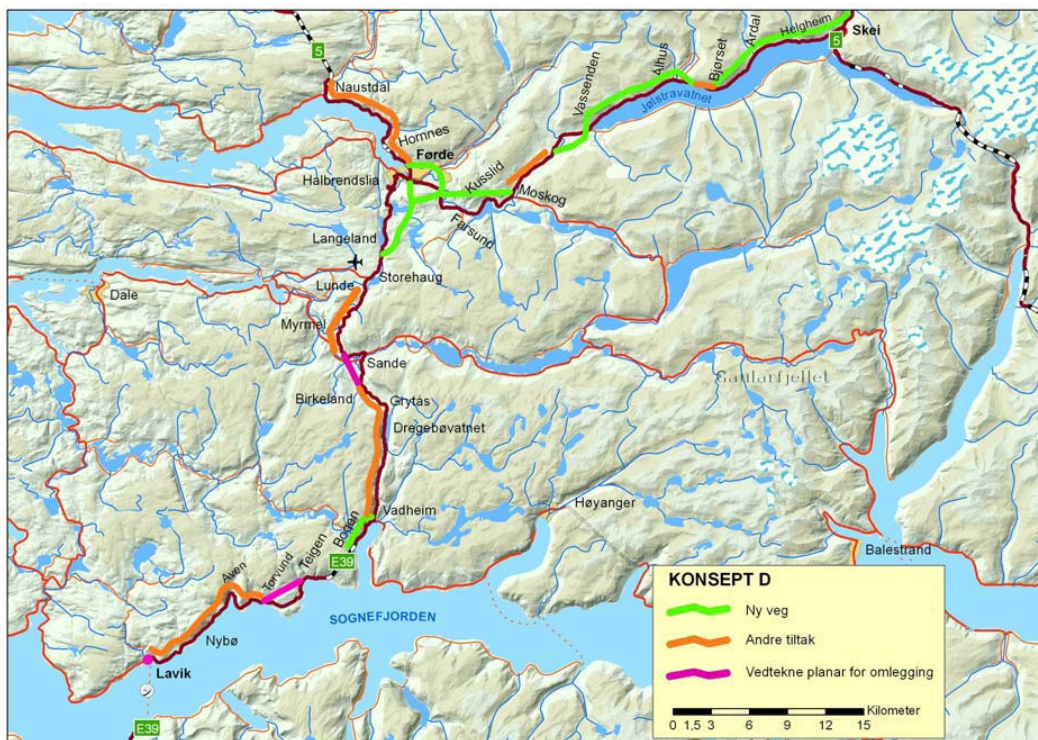
Den vesentlige forskjellen mellom Alternativ C og D er tunnelen utenom Førde. For å bedømme den trenger vi noe mer enn ÅDT langs eksisterende veg, nemlig et anslag på hvor mange som vil benytte tunnelen. Det får vi best fra en modellkjøring, eller til nød fra en vegkantundersøkelse som gir oss tall for hvor mye av trafikken som skal til Førde og hvor mye som er gjennomgangstrafikk. Her legger vi til grunn at 2000 ÅDT er gjennomgangstrafikk som vil benytte tunnelen.

Figur 1 Lavik-Skei, konsept C



Kilde: Konseptvalutgreiing E39 Lavik-Skei

Figur 2 Lavik-Skei, konsept D



Kilde: Konseptvalutgreiing E39 Lavik-Skei

Våre data og antakelser kan vi sette opp i følgende tabell:

Tabell 8 Data til grovvurdering, Lavik-Skei

Alternativ	Strekning	ÅDT	Forkorting (km)	Spart tid lett bil (min)	Spart tid tung bil (min)	Sparte ulykker
C	1	2000	2	3	5	2.9
	2	6000	0	2	2	
D	1	2000	2	4	7	9.6
	2	4000	0	2	2	
	tunnel	2000	8	13	16	

Kilde: TØI rapport 1011/2009

Det er denne typen data som det er viktig å få så riktige som mulig.<sup>22</sup> Resten er rutine. Vi må understreke at vår tabell er satt opp etter en overflatisk gjennomgang av KVVU, og at den sikkert ville vært bedre om lokalkjente fagfolk hadde satt den opp.

Det er ting som tyder på at veksten i tungtrafikken langs E39 er større enn veksten i persontrafikken. I avsnitt 6.3 har vi antydnet en diskonteringsfaktor mellom 20 og 25 avhengig av trafikkveksten. Vi bestemmer oss her for å bruke faktoren 22 på lettbiltrafikken og 25 på tungbiltrafikken.

### 11.2.1 Enhetspriser

Vi trenger tidsverdi og kjørekostnad pr. kilometer for lett og tung bil og verdien av en spart gjennomsnittsylykke. For tidsverdiene bruker vi figur 5.13 og 5.14 i Håndbok 140. Fra figur 5.13 kan vi beregne at en lettbil med landsgjennomsnittlig reisehensikt og belegg har tidsverdi kr. 135,17 pr. biltime. Oppjustert til 2007-priser og avrundet blir det 140 kroner. Tilsvarende tar vi verdien 464 kroner for tunge biler fra figur 5.14 og runder den opp til 490 kroner under en antakelse om at det er spesielt mange trailere på denne strekningen.

Til grunn for hele grovvurderingen ligger at normalt vegvedlikehold, eksterne utslippskostnader og normale ulykkeskostnader pr. kilometer utjamner seg mot drivstoffavgiftene. Det er derfor kjørekostnadene uten avgifter (samfunnsøkonomisk kjøretøykostnad i figur 5.5 i Håndbok 140) som er relevante for oss. Men prisjustering og avrundning setter vi dem til kr. 1,40 for lettbil og kr. 3,90 for tung bil. Verdien av en unngått personskadeulykke settes til 3,56 mill. kr., hvilket samsvarer med KVVU og EFFEKT-manualen.

<sup>22</sup> Så vidt vi kan se har alle konseptvalgsutredningene data av omtrent samme type i rapporten eller i vedleggene. For nærmere beskrivelse av hvordan slike data er produsert, viser vi til utredningene.

### 11.2.2 Beregninger, alternativ C

*Nåverdi spart tid lettbil:*

$$(140/60)\text{kr}/\text{min} * [3\text{min} * 2000 + 2\text{min} * 6000] * 0,88 * 365 * 22 = 297 \text{ mill kr.}$$

*Nåverdi spart tid tungbil:*

$$(490/60)\text{kr}/\text{min} * [5\text{min} * 2000 + 2\text{min} * 6000] * 0,12 * 365 * 25 = 197 \text{ mill kr.}$$

*Nåverdi kjørekostnad lettbil:*

$$1,40 \text{ kr}/\text{km} * [2\text{km} * 2000 + 0\text{km} * 6000] * 0,88 * 365 * 22 = 40 \text{ mill kr.}$$

*Nåverdi kjørekostnad tung bil:*

$$3,90 \text{ kr}/\text{km} * [2\text{km} * 2000 + 0\text{km} * 6000] * 0,12 * 365 * 25 = 17 \text{ mill kr.}$$

*Nåverdi ulykkesreduksjon:*

$$3,56 \text{ mill kr} * 2,9 * 22 = 227 \text{ mill kr.}$$

*Samlet nåverdi(brutto nytte): 778 mill kr.*

Det er grunn til å anta at ulykkesreduksjonen skyldes en blanding av bedre vegstandard og kortere veg. Med den metoden vi har valgt, er virkningen av kortere veg egentlig irrelevant (utjamnes mot mindre avgifter). Men vi lar det stå slik, siden vi ikke kan skille mellom virkningene.

### 11.2.3 Beregninger, alternativ D

*Nåverdi spart tid lettbil:*

$$(140/60)\text{kr}/\text{min} * [4\text{min} * 2000 + 2\text{min} * 4000 + 13\text{min} * 2000] * 0,88 * 365 * 22 = 693 \text{ mill kr.}$$

*Nåverdi spart tid tungbil:*

$$(490/60)\text{kr}/\text{min} * [7\text{min} * 2000 + 2\text{min} * 4000 + 16\text{min} * 2000] * 0,12 * 365 * 25 = 483 \text{ mill kr.}$$

*Nåverdi kjørekostnad lettbil:*

$$1,40 \text{ kr}/\text{km} * [2\text{km} * 2000 + 0\text{km} * 4000 + 8\text{km} * 2000] * 0,88 * 365 * 22 = 198 \text{ mill kr.}$$

*Nåverdi kjørekostnad tung bil:*

$$3,90 \text{ kr}/\text{km} * [2\text{km} * 2000 + 0\text{km} * 4000 + 8\text{km} * 2000] * 0,12 * 365 * 25 = 85 \text{ mill kr.}$$

*Nåverdi ulykkesreduksjon:*

$$3,56 \text{ mill kr} * 9,6 * 22 = 752 \text{ mill kr.}$$

*Samlet nåverdi(brutto nytte): 2211 mill kr.*

Her er det enda større grunn til skepsis når det gjelder ulykkesvirkningen, siden mesteparten må skyldes vegforkortelsen.



### 11.2.4 Resultat og konklusjon

Anleggskostnadene er ca. 2,5 milliarder i alternativ C og 4,7 milliarder i alternativ D. Det gir nåverdi minus 1,7 mrd i alternativ C og minus 2,5 i alternativ D. Nyttekostnadsbrøken er henholdsvis – 0,69 og – 0,53.

Uansett all usikkerhet i beregningen er det tilstrekkelig dårlig til å kunne lede til en revurdering av utformingen av alternativene, dersom et slikt regnestykke hadde vært gjort på et tidlig stadium i utredningen. To veier kunne vært mulige: Enten kunne man forsøke å ta ut fordyrende elementer fra alternativene, dersom de ikke kunne forsvares med positive ikke-prissatte virkninger. Eller man kunne på nytt ha tatt inn alternativ B i varmen.

### 11.3 Karaktersetting – Langangen-Grimstad

Alternativene i KVVU av E18 fra Langangen til Grimstad er nummerert fra 1 til 6, der 1 er nullalternativet, 2 er tiltak som midtrekkverk, avkjørselssanering, planfrie kryss osv. på eksisterende veg, 3 er en kollektivløsning (ekspresbuss og jernbane), 4 er firefeltsveg i nåværende trase, 5 er firefeltsveg i en raskere trase og 6 er firefeltsveg som går innom byene på veggen.

Det prosjektutløsende behovet dreier seg om trafikkikkerhet og forutsigbarhet. Samfunnsålet er ”et sikkert og forutsigbart transportsystem med god fremkommelighet for trafikantene, som gir færre ulykker med skadde og drepte og kortere reisetid enn i dag.” Effektmålene dreier seg om ulykker og reisetid.

Begrepene framkommelighet og forutsigbarhet som er brukt her, ser ut til å være brukt i følgende betydninger: Framkommelighet omfatter reduserte køproblemer i helgene om sommeren og økte fartsgrenser. Det er altså det samme som kortere reisetid. Forutsigbarhet har i første rekke med variasjoner i reisetida å gjøre. Variasjonene skyldes tilfeldige hendelser og andre fenomener som oppstår i tette køsituasjoner. Konsekvensene av hendelser og reisetidsvariasjoner på grunn av kø avhenger av omkjøringsmuligheter.

I rapporten har vi brukt tre begreper som til sammen dekker det som KVVU-en er opptatt av: 1) Framkommelighet, som kan måles om forventet reisetid under normale forhold og er det vi modellerer i transportmodellene og EFFEKT. 2) Pålitelighet, som kan måles som standardavviket til reisetida og som vi *ikke* tar hensyn til i modellene eller nytteberegningen. 3) Sårbarhet, som er de potensielle konsekvensene av at veggen eller jernbanelinja settes ut av drift i en ikke ubetydelig tid. Heller ikke sårbarhet inngår i modellene eller nytteberegningen, men modellene kan brukes til å kartlegge sårbarheten.

KVVU-en er altså opptatt av to ting som måles i nyttekostnadsanalysen, nemlig framkommelighet og trafikkikkerhet, og to ting som ikke inngår, nemlig pålitelighet og sårbarhet. Siden det ikke er målt, har vi ingen indikatorer på pålitelighet og sårbarhet som vi kan putte inn i en konsekvensmatrise. Men under avsnittet om fleksibilitet i KVVU-en er alternativene rangert med etter hvor *fleksible* de er. Det viser seg at fleksibilitet i denne forbindelsen er forstått som omkjøringsmulighetene ved hendelser, og sannsynligvis også som faren for hendelser. Vi kan altså ta dette som en grov, subjektiv samleindikator på pålitelighet og sårbarhet.

KVU-en har også rangert alternativene etter hvor bra de gjør det på ikke-prissatte konsekvenser slik de er definert i Håndbok 140. Som hjelpemiddel for en samlet vurdering av ikke-prissatte konsekvenser bruker de *størrelsen* av arealene der ikke-prissatte konsekvenser kan oppstå. Det er sannsynligvis en veldig god ide i KVU-sammenheng. Dersom vi også hadde priser på arealene og visste hvordan verdien blei påvirket av nærheten til vegen, ville vi jo ha kunne ta det med i nytteberegningen. Det har vi ikke (markedspriser kan ikke brukes til dette), men vi kan komme et steg videre ved å vurdere *potensialet for konflikt* med andre interesser som knytter seg til det arealet som påvirkes. Det kan gi en indikator på sida av nytteberegningen, men i samme skala som nyttekostnadsbrøken, dvs. nytte eller kostnad pr. verdienhet. Vi kunne kanskje også utvikle noe i retning av vegens økologiske fotavtrykk.

For vårt formål her er det tilstrekkelig som en illustrasjon å ta det påvirkede arealet og oversette til den karakterskalaen vi vil bruke.

Som vi har framholdt i rapporten, er det ikke riktig å operere med separate indikatorer for oppfyllelse av mål og krav som dekkes av nyttekostnadsanalysen, slik KVU gjør. Vi ser heretter bort fra KVU-ens rangering av alternativene etter trafiksikkerhet, reisetid osv. Regional utvikling og fordelingsvirkninger spiller også en rolle i mål og krav i KVU-en, men det er så mange ulike og delvis motstridende interesser involvert at KVU-en klokkelig avstår fra å rangere alternativene etter disse kriteriene. Vi skal følge dem i det.

Vi lager derfor en konsekvensmatrise med de tre konsekvensene samfunnsøkonomi (nyttekostnadsbrøken), ikke-prissatte konsekvenser og sårbarhet, og omgjør den deretter til en karaktermatrise etter oppskriften i avsnitt 4.9. Men først gjengir vi de relevante resultatene og rangeringene fra KVU-en:

Tabell 9 Noen resultater fra KVU Langangen-Grimstad

Alternativ	Netto nytte (mrd. kr.)	Netto nytte pr. budsjettkrone	Ikke-prissatte konsekvenser (km <sup>2</sup> )	Sårbarhet ("fleksibilitet") (rangering)
1	0	0	0	5
2	-0,3	-0,2	21	5
3	-8,5	-0,6	111	4
4	-9,9	-0,6	60	3
5	-8,9	-0,5	121	1
6	-14,5	-0,7	132	1

Kilde: TØI rapport 1011/2009

Vår karaktersetting bygger på de tre siste kolonnene i tabell 9 og retningslinjene i avsnitt 4.9:

Tabell 10 Karaktersetting, Langangen-Grimstad

Alternativ	Samfunns- økonomi	Ikke-prissatte konsekvenser	Sårbarhet
1	0	1	-1
2	0	0	0
3	-1	-1	1
4	-1	0	1
5	-1	-1	2
6	-1	-1	2

Kilde: TØI rapport 1011/2009

Tre celler i tabellen er skyggelagt fordi de trenger en kommentar. Når det gjelder samfunnsøkonomien i alternativ 2 (som vi oppfatter som en moderne tofeltsveg med midtdeler) har vi antatt at den er noe undervurdert i KVVU. En hovedgrunn er at det (så vidt vites) ikke er gjort separate beregninger med forsinkelsesfunksjoner på lenkene for de køutsatte tidspunktene, og vi tror at alternativet vil være en forbedring i den situasjonen. Når det gjelder de ikke-prissatte konsekvensene i kollektivalternativet (alternativ 3), samsvarer vår karakter ikke med rangeringen i KVVU. Vi har bare holdt oss til opplysningen om areal som påvirkes, men KVVU har også foretatt kvalitative vurderinger, og kan godt være riktigere enn vår mekaniske vurdering. Når det gjelder sårbarheten av tofeltsvegen, er det vår vurdering at sårbarheten tross alt vil bli redusert med en bedre og noe breiere veg.

Vi har gjort disse grepene for å vise at skjønn som det kan redegjøres tydelig for, må være tillatt ved karaktersettingen.

### 11.3.1 Hovedkarakter og sluttvurdering

Alternativene 3-6 faller automatisk vekk fordi de har karakter -1 i samfunnsøkonomi (se avsnitt 4.9). Det er altså ikke godt gjort at det er klokt å bruke mange milliarder på å forbedre vegstandarden vesentlig på hele strekningen. Det er ikke rart: ÅDT varierer mye fra delstrekning til delstrekning. Noe av forklaringen ligger nok også i at nyttekostnadsanalysen ikke fanger opp variabilitet i reisetida forårsaket av kø og hendelser.

Alternativ 1 og 2 står likt, begge med hovedkarakter 0. (Det spiller ikke noen rolle hvilken vekt vi tillegger samfunnsøkonomien i dette tilfellet.) Det tilsier at det meget vel kan finnes mange steder langs vegen der den bør forbedres og moderniseres, men å gjøre dette *gjennomgående* på hele strekningen er sannsynligvis ikke nødvendig. Mye avhenger av en nærmere utredning av sårbarhets- og forutsigbarhetsproblematikken.

Vi ser her et felles trekk ved konseptvalgsutredningene av lange sammenhengende vegstrekninger, nemlig at de har en tendens til å ta opp vegbyggingsspørsmålene i feil geografisk skala. Av og til berører de spørsmål som burde vært løst i en større sammenheng, som øst-vestforbindelsene over fjellet når det gjelder KVVU av Haukeli, men oftere burde de egentlig vært oppdelt i mindre prosjekter, som ville gitt bedre muligheter til å finne de lønnsomme tiltakene.

Når det gjelder anbefalingen som faktisk er gjort i KVVU, samsvarer den godt med vår vurdering her. Også den ender opp med ulike konkrete anbefalinger på delstrekninger.

## 12 Konklusjoner

### 12.1 Kort svar på hovedproblemstillingene

I kapittel 2 er det stilt tre hovedproblemstillinger som skal avklares gjennom forprosjektet. Svaret på de to første oppsummeres her. (Den tredje, eksempler på foreslåtte nye metoder, er dekket i kapittel 11.)

1. Hva er rett/påkrevd detaljeringsnivå i samfunnsøkonomiske analyser i konseptvalgsutredninger?

Vårt svar er at det er nødvendig å uttrykke både årlig nytte i åpningsåret og investeringskostnaden i kroner, anslå årlig netto nytte for øvrige år ved hjelp av en forutsatt trafikkvekst, neddiskontere og presentere netto nåverdi og nyttekostnadsbrøken. Et *minste* detaljeringsnivå på data som trenges til dette er gitt i kapittel 6, og omfatter

- Vegstandard uttrykt ved dimensjoneringsklasse eller ved de data som bestemmer en dimensjoneringsklasse. For jernbanen: tilsvarende, dvs. antall spor, dimensjonerende gjennomsnittshastighet, maksimal kapasitet under ulike forutsetninger om trafikken sammensetning på togslag.
- Antatt innslag av bruere, tunneler, stasjoner, gang- og sykkelveger, kryss, krysningsspor
- Antatte traselengder
- Antatt driftsopplegg for kollektivtrafikken
- Lenketraffikk i nåsituasjonen
- Gjennomsnittlig årlig trafikkvekst

Dette skal gi grunnlag for å anslå investeringskostnad med hjelp av erfaringsbaserte løpemeterpriser og enhetspriser, og for å beregne lenke- eller strekningsvise tidsbesparelser, ulykkesreduksjoner og utslippsreduksjoner, og bruke enhetspriser for å verdsette det.

2. Hvilke verktøy anbefales for trafikkanalyser og samfunnsøkonomiske analyser på et tidlig stadium?

Som hovedregel anbefaler vi å ta i bruk eksisterende verktøy (NVDB, Jernbaneløpemetertabaser, EFFEKT, RTM og de nasjonale modellene) både som kilde til data om nåsituasjonen og nullalternativet, og som det greieste når det gjelder å kode inn og beregne virkningene i tiltaksalternativene.

Unntaket gjelder bypakker, spesielt i byer med mye kø, nå eller på mellomlangt sikt. Her har vi stilt krav som kan kreve modellutvikling, bl.a. krav om to perioder på dagen og brukerlikevekt som løsningsprinsipp. Vi har også framhevet at med mindre det kan sikres at en grundig analyse av sammensetningen av pakka vil bli

foretatt på et seinere stadium, vil det også trenge mer omfattende analyser og flere modellkjøringer i KVU av bypakker enn i andre KVU-er.

En grov vurdering av nytte og kostnader bør uansett gjennomføres selv om data ikke tillater en fullstendig analyse. En kostnadskrone må tillegges samme vekt som en kvantifiserbar nyttekroner i KVU. Det sikres ikke med de metoder som ofte har vært i bruk til nå. I flere KVU-er er det eneste som gjøres å gi en rangering av nytten av de ulike alternativene i forhold til hverandre. Forholdet mellom nytte og kostnader framgår ikke klart, eller er ikke nevnt med et ord.

Vi har skissert hvordan en grovvurdering av nytte og kostnader (kalt GNK) kan gjennomføres. Primært er den tenkt til prosjektintern bruk som en første vurdering av mulige alternativer, men om ikke andre metoder har latt seg gjennomføre, vil den også kunne brukes i KVU-rapporten, med nødvendige forbehold om unøyaktighet.

Til å foreta en samlet vurdering av prissatte konsekvenser og graden av måloppfyllelse for mål og krav som ikke er inkludert i nyttekostnadsanalysen, foreslår vi en systematisk metode bygd på karaktersetning og beregning av en hovedkarakter.

## 12.2 Behov for endringer i opplegg av konseptvalgsutredningen

I kapittel 4 har vi forsøkt å avklare forholdet mellom de nasjonale transportøkonomiske målene og behov, mål og krav i KVU. Hvis avklaringen aksepteres trengs det noen mindre justeringer i malen som KVU gjennomføres etter (SVV 2006).

- Avsnitt 4.1 Hensikten med prosjektet bør flyttes opp til kapittel 2 Behov, trolig som konklusjon på kapitlet.
- Kapittel 4 Krav bør organiseres slik at relevante deler av nasjonale transportpolitiske mål, relevante lover, forskrifter og stortingsvedtak, føringer gitt av Samferdselsdepartementet og etatsinterne bindende veiledere kommer naturlig inn.

I kapittel 9 har vi framhevet betydningen av finansieringsanalyse for bypakker og bomprosjekter. Alternativer med urealistisk finansiering kan ikke anbefales. Følgelig:

- Finansieringsanalyse og usikkerhetsanalyse av finansieringen tas inn som eget punkt i KVU-ens kapittel 7 Effekter.

På bakgrunn av denne rapportens kapittel 3 ser vi et stort behov for systematikk i den avsluttende fasen av konseptvalgsutredningen, prioriteringen mellom alternativene og anbefaling av et alternativ. I kapittel 4 har vi kommet med forslag til en slik systematikk. Dersom dette aksepteres, virker det naturlig å gi dette momentet breiere omtale i KVU-rapporten:

- Avsnitt 7.6 Oppsummering og konklusjon i skrivemalen løftes ut og gjøres til eget kapittel 8, med underpunktene "Sammenstilling av de vesentligste konsekvensene" (konsekvensmatrisen), "Vurdering av konsekvensmatrisen" og "Konklusjon" (anbefaling).

Det er behov for å endre den systematikken knyttet til samfunnsøkonomiske analyser som har utviklet seg, kanskje ved at KVVU-utredningene har brukt tidligere utredninger som mal. Denne systematikken bygger på at nyttevirksomheter som kunne ha vært uttrykt i kroner, i stedet behandles som ikke prissatte konsekvenser, med den følge av en ikke klarer å identifisere lønnsomme og ulønnsomme alternativer.

På et mer grunnleggende plan er det behov for en bedre og tydeligere sammenheng mellom etatenes strategiske planlegging og NTP-analyser på den ene sida og konseptvurderingene på den andre sida. Vi ser dette når det fremmes konseptforslag på enkeltstrekninger som egentlig burde vært løftet opp til å gjelde stamvegruta som helhet, og når høyhastighetsjernbane inngår som alternativ i en KVVU, men forkastes fordi det ikke imøtekommer det lokale transportbehovet. Dersom en slik sammenheng var etablert, ville utredningsbehovet knyttet til behov, mål og krav i KVVU-sammenheng kunne reduseres.

Opplysninger om behov, virkninger, nytte og kostnader i KVVU bør i større grad enn nå settes i samband med statistikk for landet som helhet. Da vil det bli lettere å bedømme om konseptet har noe for seg i en større sammenheng, eller om innsatsen kanskje ville kastet mer av seg andre steder.

### 12.3 Behov for verktøyutvikling

Arbeidet med å forbedre RTM må fortsette. I vår sammenheng er det særlig viktig å kunne klippe ut delområder tilsvarende de store byene og utstyre dem med to tidsperioder, gode volume-delayfunksjoner på lenkene og et kollektivtilbud som varierer med periode på dagen.

Det bør vurderes å etablere en egen modul tilpasset RTM som kan beregne eksterne kostnader på grunnlag av lenkedata (ulykkeskostnader, drift- og vedlikeholdskostnader, regional luftforurensning og klimagassutslipp).

Skisseplanleggingsverktøy for byanalyser er drøftet i kapittel 4 og 9. Behovet springer ut av ønsket om å beregne optimal bruk av prisvirkemidlene og optimal sammensetning av investeringspakka. Men dette må avveies mot kostnadene ved å bygge nye modeller som kanskje blir lite brukt.

Konsekvenser for godstransporten er åpenbart underkommunisert eller stemoderlig behandlet i nær sagt alle KVVU til nå. Dette kan ha metodiske årsaker, og det bør vurderes om det er behov for modellutvikling når det gjelder lokal gods-transport.

Vi ser fram imot bedre metoder for behandling av pålitelighet og sårbarhet og nytte for gående og syklende. Indikatoren fra NTP på tilgjengelighet for alle bør prøves ut i KVVU-sammenheng.

En bør se på muligheten for å etablere en tilbudsmodell for kollektivtransporten, med enkel feedback til etterspørselsmodellen, slik at driftstilbudet kan endres med etterspørselen på en realistisk måte. Dette har betydning for beregning av tilskuddsbehov (og dermed finansieringsanalyse), for å sikre at driftstilbudet faktisk kan avvikle den forutsatte etterspørselen, osv.

## 12.4 Behov for veiledning og opplæring

Vi tror det er et stort behov for praktisk opplæring av EFFEKT-brukere i de funksjonalitetene i programmet som særlig kommer til nytte i KVU-sammenheng. Det finns nok også et behov for flere folk med dypere kunnskaper om RTM og bruk av RTM i KVU-sammenheng.

KVU har ikke helt funnet sin plass i etatenes planleggingssystem enda. Dette smitter over på de som skal utføre analysene. Leser vi mellom linjene i svarene på spørreundersøkelsen, aner vi en viss usikkerhet om hvilket fornuftig formål utredningen kan ha, og kanskje tanker om at det mest er et nytt byråkratisk pliktlop. Det trengs en felles forståelse av at KVU er nyttig arbeid, og hvorfor. Dette må naturligvis også vise seg i praksis. De to tingene henger sammen.

## 12.5 Behov for avklaringer

Det er identifisert et behov for å avklare bedre hvordan beregningene av systematisk usikkerhet skal integreres i nyttekostnadsanalysen i KVU-sammenheng. Alternativene er: (1) Neddiskontere forventet årlig nytte med den risikofrie renta og beholde mengden av systematisk risiko som en separat indikator, (2) bruke den til å beregne risikotillegget i kalkulasjonsrenta, eller (3) bruke den til å beregne sikkerhetsekvivalenter. Siden dette angår rammeavtalens bestemmelser, antar vi avklaringen bør gjøres av Finansdepartementet.

Det er heller ikke fullstendig klart om KVU skal oppfylle alle rammeavtalens bestemmelser fullt ut, eller om det skal stilles noe mindre krav til KVU enn til KS1. Også det er en sak for departementene.

Forholdet mellom de nasjonale transportpolitiske målene og behov, mål og krav i KVU mener vi å ha avklart i kapittel 4 i denne rapporten, men det kan vel være flere enn etatene som vil ha synspunkter på dette. Blant annet må det spilles inn overfor departementene og det såkalte prosjekteierforum, som har satt i gang en prosess med å lage flere nye veiledere til KVU. Videre må etatenes skrivemal revideres.

## 12.6 Videreføring i hovedprosjekt?

Siden vår hovedkonklusjon er at eksisterende verktøy kan anvendes i de aller fleste tilfeller, ser vi ikke behov for noe hovedprosjekt. Derimot finns det ulike saker som kan enten kan utredes videre internt i etatene eller gjennom egne eksterne oppdrag.

- Det mest omfattende arbeidet knytter seg til utvikling av gode bytransportmodeller på grunnlag av RTM.
- Parallelt, eller i kjølvannet av dette, kunne det være nyttig med et prosjekt som tok i bruk og videreutviklet modellen som er beskrevet i Ivanova og Minken (2003).

- Det bør lages retningslinjer for å sette karakterer på de ulike typene av konsekvenser i konsekvensmatrisen, og metoden bør prøves ut på alle gjennomførte KVVU og et utvalg konsekvensstudier (KV) og sammenliknes med faktiske prioriteringer og anbefalinger. Metodene for kvalitetssikring bør også prøves ut på samme materiale.
- Det bør lages håndbok i usikkerhetsanalyse for KVVU i samferdsel.



## Litteraturliste

- Austeng, K., Torp, O., Midtbø, J.T., Helland, V. og Jordanger, I. (2005). Usikkerhetsanalyse – Metoder. Concept Rapport Nr 12.
- Brekke, K.A., H. Lurås and K. Nyborg (1996) Allowing Disagreement in Evaluations of Social Welfare. *Journal of Economics* **63**, 303-324.
- Chapman, C. and Ward, S (1997). *Project Risk Management*. John Wiley & Sons Ltd. West Sussex, UK.
- Chapman, C. and Ward, S (2002). *Managing Project Risk and Uncertainty*. John Wiley & Sons Ltd. West Sussex, UK.
- Copeland, T.E. and J.F. Weston (1988). *Financial Theory and Corporate Policy*. Third Edition. Addison-Wesley, Reading, Massachusetts.
- Dahl, G. og H. Minken (2009) A note on permutations and rank aggregation. Upublisert.
- Dovre og TØI (2008) Oslopakke 3. Kvalitetssikring av konseptvalg (KS1).
- Finansdepartementet (2005a). Rammeavtale. Kvalitetssikring av konseptvalg, herunder styringsunderlag og kostnadsoverslag for valgt alternativ.
- Finansdepartementet (2005b). Veileder i samfunnsøkonomiske analyser.
- Finansdepartementet (2008). Systematisk usikkerhet. Veileder nr. 4 i kvalitetssikring av konseptvalg samt styringsunderlag og kostnadsoverslag for valgt prosjektalternativ. <http://www.concept.ntnu.no/KS-ordningen/KS-ordningen.htm>
- Fosgerau, M. and A. Karlström (2007) The value of reliability. Upublisert manuskript. <http://mpra.ub.uni-muenchen.de/5733/>
- Gottschalk, P. og F. Wenstøp (1983) *Kvantitativ beslutningsanalyse for ledere og planleggere*. Universitetsforlaget, Oslo.
- Ivanova, O. og H. Minken (2003) NDP-1. Verktøy til valg av prosjektpakker når prosjektene er avhengige av hverandre. TØI-rapport 665/2003.
- Jordanger, I., S. Malerud, H. Minken og A. Strand (2007) Flermålsanalyser i store statlige investeringsprosjekt. Concept rapport nr. 18, NTNU.
- Keeney, R. and H. Raiffa (1976) *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs*. John Wiley & Sons, Chichester, UK.
- Kilde, H., Huseby, O., Klakegg, O.J., Torp, O., Berntsen, S. og Samset, K. (1999). Usikkerhet som gevinst – styring av usikkerhet i prosjekter.
- Larsen, O.I. og T. Hamre (2000) Tidsdifferensiering av satsene for bompengeringen i Oslo. TØI-notat 1155/2000.
- Larsen O.I. and Øyvind Sunde (2008) Waiting time and the role and value of information in scheduled transport, *Research in Transportation Economics*

- Minken, H. (2005). Nyttekostnadsanalyse i samferdselssektoren: Risikotillegget i kalkulasjonsrenta. TØI-rapport 796/2005.
- Minken, H. (2009) Bensinavgift, bompenger og skattefinansiering. Upublisert utkast til arbeidsdokument.
- Minken, H., K.S. Eriksen, H. Samstad, og K. Jansson (2001) Nyttekostnadsanalyse av kollektivtiltak – veileder. TØI-rapport 526a/2001.
- Minken, H. og H. Samstad (2005). Nyttekostnadsanalyse i samferdselssektoren: Rammeverk for beregningene. TØI-rapport 798/2005.
- Minken, H., T. Lerstang og S. Johansen (2005) Forholdet mellom prissatte og ikke prissatte konsekvenser i Håndbok 140. Arbeidsdokument TØ/1763/2005, TØI.
- Minken, H. og H. Samstad (2006) Virkningsberegning av tiltak for raskere og mer pålitelig godstransport. TØI-rapport 825/2006.
- Minken, H., G. Dahl og C. Steinsland (2008) Samfunnsøkonomisk vurdering av vedlikeholdsstrategier, oppgradering og standardutforming i vegnettet. TØI-rapport 957/2008.
- Nyborg, K. (2000) Project analysis as input to public debate: Environmental valuation versus physical unit indicators. *Ecological Economics* 34(3), 393-408.
- Nyborg, K. (2002) Miljø og nytte-kostnadsanalyse. Noen prinsipielle vurderinger. Rapport nr. 5/2002, Frischsenteret.
- Nyborg, K. og I. Spangen (1996) Politiske beslutninger om investeringer i veier. Intervjuer med medlemmer av Stortingets samferdselskomite. TØI-notat 1026/1996, TØI.
- Nyborg, K. and I. Spangen (2000) *Cost-Benefit Analysis and the Democratic Ideal*. *Nordic Journal of Political Economy* 26(1), 83-93.
- Ramjerdi, F. (2007) Equity measures and their performances in transport. *Transportation Research Record* No. 1983, 2006, pp. 67-74.
- SACTRA (1999) Transport and the economy.  
<http://www.dft.gov.uk/pgr/economics/sactra/transportandtheeconomyfullre3148>
- Samferdselsdepartementet og Fiskeridepartementet (2006) Supplerende retningslinjer om målstruktur for transportetatenes og AVINOR AS sitt arbeid med Nasjonal transportplan 2010-2019. [http://www.ntp.dep.no/2010-2019/pdf/20061121\\_retningslinjer\\_maalstruktur.pdf](http://www.ntp.dep.no/2010-2019/pdf/20061121_retningslinjer_maalstruktur.pdf)
- Samset, K. (2008) *Prosjekt i tidligfasen*. Tapir, Oslo.
- SSØ (2006). Behandlingen av usikkerhet i samfunnsøkonomiske analyser. Veileder. [www.sfs.no](http://www.sfs.no)
- Statens vegvesen (2000). Håndbok 217: Kvalitetssikring av kostnadsoverslag - Anslagmetoden. <http://www.vegvesen.no/Fag/Publikasjoner/Handboker/>
- Statens vegvesen (2006) Behovsutredninger i Statens vegvesen. Mal for behovsutredning.

Statens vegvesen (2007). Håndbok 115: Analyse av ulykkessteder. Vedleggsdel for manuelle beregninger.

<http://www.vegvesen.no/Fag/Publikasjoner/Handboker/>

Statens vegvesen og Jernbaneverket (2006). KS1 – Ekstern kvalitetssikring i samferdselssektoren. Versjon 3.

Steinsland, C. (2008) Systemdokumentasjon Stratos. Arbeidsdokument ØL/2097/2008, TØI.

Welde, M. (2005) Bompengefinansieringen – innkrevingskostnadene avhenger av mange forhold. *Økonomisk Forum* nr.1/2005.

# Vedleggsdel

## Kort orientering om vedleggene

**Vedlegg 1** er spørreskjemaet som gikk ut til de ansvarlige for gjennomførte konseptvalgutredninger. Svarene er oppsummert i kapittel 3.

**Vedlegg 2** er en drøfting av metodene i vegvesenets Håndbok 140 når det gjelder sammenregning av prissatte og ikke-prissatte konsekvenser. Dokumentet er utarbeidet ved siste revisjon av håndboka. Det tas med her fordi de samme problemstillingene dukker opp igjen i forbindelse med avveining av mål og krav mot resultatet av den samfunnsøkonomiske analysen i konseptvalgssammenheng, se kapittel 4.

**Vedlegg 3** er en kort beskrivelse av AnRisk ©, som er Dovregroups metode for analyse av usikkerhet. Det utfyller teksten i kapittel 10.

**Vedlegg 4** er en systembeskrivelse av nyttekostnadsanalyse i transportsektoren. I alt vesentlig samsvarer den med det transportmiddelovergripende beregnings-systemet som er beskrevet i TØI-rapport 798/2005 og som er implementert i form av Trafikantnyttmodulen og Kollektivnyttmodulen i EFFEKT. Den kan imidlertid brukes også til beregninger utenom EFFEKT. Beskrivelsen av kjørekostnader og miljøkostnader er forenklet i forhold til tilsvarende beregninger i EFFEKT, men opplegget står ikke i motsetning til å gjennomføre de lenkebaserte delene av beregningene i EFFEKT, om ønskelig. Beskrivelsen kan også brukes som rettesnor ved enklere nytteberegninger i konseptvalgssammenheng.

Vedlegget utfyller også omtalen av finansieringsanalyse i kapittel 9.

**Vedlegg 5** behandler kollektivselskapets kostnader, og utfyller vedlegg 4 på det punktet. Det tar også for seg kollektivselskapets optimale tilpasning under ulike tekniske og budsjettmessige restriksjoner. Endelig inneholder det formler for nyttekostnadsanalyse av tiltak som fjerner hindre for økt frekvens og økt kapasitet pr. avgang, og for nyttekostnadsanalyse av framkommelighetstiltak og tiltak som for eksempel kjøprising, som overfører trafikk fra personbil til kollektivtransport.

Kostnadsberegningen kan brukes når vi ikke har beregninger fra kollektivnyttmodulen eller eb transportmodell. Den kan også brukes til å sammenlikne med kostnadene fra KNM eller transportmodellen og gjøre nødvendige justeringer i disse. Men den viktigste grunnen til å gjøre kostnadsberegningen som beskrevet i vedlegg 5, er at det legger grunnlaget for å beregne optimal frekvens og billettpris. Med det som grunnlag kan vi *på forhånd*, uten modellkjøringer, bedømme hvilke alternative tiltak på kollektivsida som har noen hensikt. Vi kan også lage prognoser for hvordan kollektivtilbudet vil utvikle seg når befolkningen øker eller rundturhastigheten øker.

Alt i alt kan vedlegg 5 både brukes til å unngå unyttige tiltak, identifisere potensielt nyttige tiltak, og gi en første grovvurdering av lønnsomheten av et nyttig tiltak eller en utenfra gitt økning i etterspørselen.

# Vedlegg 1

## Spørreskjema om samfunnsøkonomiske analyser i konseptvalgsutredning

Du vil først bli bedt om å karakterisere den samfunnsøkonomiske analysen i konseptvalgsutredningen du hadde ansvar for (spm 1). Deretter følger 7 spørsmål om nyttekostnadsanalysen (prissatte konsekvenser), 3 spørsmål om mål, krav og ikke prissatte konsekvenser, og ett spørsmål om analysen av usikkerhet. Til slutt spør vi om forslag til framtidige metodeforbedringer.

Skriv inn svarene direkte i skjemaet. Gi den utfylte fila et navn som viser hvilken KVVU det gjelder, før du legger den ved når du svarer på mailen du fikk fra oss.

- 1. Karakteriser kort den samfunnsøkonomiske analysen som er gjennomført i KVVU-en. Metode, detaljeringsgrad, verktøy, mangler.*
- 2. Hvis den samfunnsøkonomiske analysen er gjennomført fullt ut etter vanlig metode og med vanlige verktøy: Vil du tru at dette kan gjøres generelt i KVVU-sammenheng? Er det ønskelig, eller er det noe som taler for forenkling? Har du tanker om hva slags forenklinger som bør kunne gjøres?*

Spørsmål 3-7 nedenfor gjelder tilfellet hvor den samfunnsøkonomiske analysen ikke er gjennomført fullt ut med vanlige metoder og med vanlige verktøy.

- 3. Hva var grunnen eller grunnene til at den samfunnsøkonomiske analysen ikke blei gjennomført fullt ut etter vanlig metode og med vanlige verktøy? Gi en kort begrunnelse for svaret:*
  - Mangler ved verktøyene generelt*
  - Mangler ved verktøyene i KVVU-sammenheng*
  - Mangel på tid*
  - Mangel på data*
  - Full samfunnsøkonomisk analyse anses unødvendig for konseptvalg*

En forenklet eller ikke-standardisert analyse kan gjøres på ulike måter, og vi ber nå om en nærmere beskrivelse av hva som er gjort i "din" KVVU, og erfaringene dere gjorde. (Hvis svaret på det innledende spørsmålet i hvert av punktene nedenfor er nei, gå videre til neste punkt.)

- 4. Er eksisterende verktøy brukt på en forenklet måte? Hvis ja, hva var bakgrunnen for dette valget? Hvilke erfaringer har dere gjort?*

5. *Er verktøy fra vegsida og jernbanesida kombinert? Hvis ja, hvorfor så dere det som nødvendig? Hvilke problemer ga det opphav til? Hvilke andre erfaringer har dere gjort med dette?*
6. *Er det anvendt egne enkle eller stiliserte modeller og beregninger? Hvorfor valgte dere dette, og hvilke erfaringer har dere gjort?*
7. *Er det beregnet nytte i bare ett år, og/eller har dere latt være å sammenstille resultatene? Hvis ja, hvorfor har dere nøydt seg med det?*
8. *Har dere bare kvantifisert, ikke verdsatt virkningene? Hvis ja, hvordan har det da vært mulig å prioritere mellom alternativene? Hvilke erfaringer for øvrig har dere gjort?*
9. *Prøv å beskrive hvordan oppfyllelsen av mål og krav er brukt ved den endelige rangeringen eller utvelgelsen av alternativene.*
  - *Bare brukt til å eliminere ubrukbare alternativer. Nyttekostnadsanalysen alene avgjør endelig valg av alternativ eller alternativer som skal videreføres til forprosjekt.*
  - *Tillagt vekt sammen med nyttekostnadsanalysen ved det endelige valget av alternativ eller alternativer som skal videreføres til forprosjekt. Beskriv hvordan!*
  - *Brukt i stedet for nyttekostnadsanalysen ved det endelige valget av alternativ eller alternativer som skal videreføres til forprosjekt.*
10. *Er ikke prissatte konsekvenser utredet i henhold til etaten (etatenes) veiledere? Hvis ikke, hvorfor ikke?*
11. *Prøv å beskrive hvordan hensynet til ikke prissatte konsekvenser (til forskjell fra mål og krav) har spilt inn ved det endelige valget av alternativ eller alternativer.*
12. *Hvordan er usikkerheten i nyttekostnadsanalysen behandlet? Hvordan er usikkerheten om oppfyllelse av mål og krav og om ikke prissatte konsekvenser behandlet?*
13. *Har du forslag til forbedring av metodene i alternativanalysen i KVU?*

# Vedlegg 2



## Transportøkonomisk institutt

Postboks 6110 Etterstad, 0602 Oslo  
Telefonnr: 22 - 57 38 00    Telefaxnr: 22 - 57 02 90  
<http://www.toi.no>

Arbeidsdokument av 9. juni 2005  
1926 Småprosjekter TØ  
Harald Minken  
Tor Lerstang  
Steinar Johansen

TØ/1764/2005

# Forholdet mellom prissatte og ikke prissatte konsekvenser i Håndbok 140

## Innhold

<b>Oppdraget .....</b>	<b>5</b>
<b>Føringer og grunnleggende valg .....</b>	<b>5</b>
<b>Hva skal konsekvensanalysen produsere? .....</b>	<b>7</b>
Indikatorer .....	7
Samlet lønnsomhetsvurdering .....	8
Prioriteringskriterier .....	10
Nærmere om kvantifisering og vektning.....	11
Etterprøvbarehet.....	12
Medvirkning .....	12
<b>Dobbelttellinger .....</b>	<b>13</b>
Dobbelttelling av prissatte og ikke prissatte konsekvenser.....	13
Dobbelttelling ved analysen av lokale og regionale samfunnsendringer.....	14
Fordelingsvirkninger og dobbelttellinger.....	15
<b>Romlig og sosial utvikling.....</b>	<b>16</b>
Effektive virkemidler i regional- og distriktspolitikken.....	17
<b>Litteratur .....</b>	<b>17</b>

## Oppdraget

TØI har fått i oppdrag av Statens vegvesen å komme med en vurdering av høringsutkastet til Håndbok 140, spesielt med hensyn til koplingen mellom de prissatte og ikke prissatte konsekvensene og metoden for sammenstilling av disse. Oppdragsgiveren har ønsket synspunkter fra personer med ulik erfaringsbakgrunn. Vi har valgt å la en transportøkonom, en planleggingsekspert og en regionaløkonom se på saka. Transportøkonomen, Harald Minken, har redigert og stilt sammen bidragene.<sup>1</sup>

## Føringer og grunnleggende valg

Kapittel 1 og 2 i håndboka gjør greie for de føringer og grunnleggende valg som ligger til grunn for høringsutkastet.

*Hensikten med håndboka* er å gi prosjektledere i utredningsprosjekter oversikt over prosess, metode og krav til presentasjon i hovedrapporten, og samtidig informere fagutrederne om krav til metoder og fagutredninger. Håndboka skal gjelde for *alle plannivåer*, prosjektplanlegging så vel som strategisk planlegging. Håndboka må derfor være i samsvar med *lover og regler på området*, blant annet Finansdepartementets retningslinjer og veileder i samfunnsøkonomiske analyser, bestemmelsene om konsekvensutredning etter plan og bygningslova og rikspolitiske retningslinjer for samordnet areal- og transportplanlegging.

En har avgrenset og strukturert konsekvensanalysen ved å si at den består av fire deler (figur 1.1). De to analysene av prissatte og ikke prissatte konsekvenser utgjør til sammen den samfunnsøkonomiske analysen. Om den blir det sagt at den gjelder bare første ledd i konsekvenskjeden. Dette leddet omfatter de umiddelbare virkningene i transportsystemet, andre prissatte virkninger (grovt sett utslipp og støy, ulykker og budsjettvirkninger for det offentlige), samt de umiddelbare virkningene for landskapsbildet, nærmiljø og friluftsliv, kulturmiljøet, naturmiljøet og naturressurser (ikke prissatte virkninger).

Analysen av de *prissatte* virkningene (nyttekostnadsanalysen) oppsummeres i form av nytte for trafikantene, nytte for operatørene, nytte for det offentlige og nytte for samfunnet for øvrig, og videre i netto nåverdi og netto nytte pr. budsjettkrone. Analysen av de *ikke prissatte virkningene* utføres separat for hvert av de fem fagtemaene og resulterer i en bedømmelse på en skala med ni grader. Deretter sammenholdes de fem resultatene for hvert alternativ i en totalbedømming med fire grader, to negative, en nøytral og en positiv. I tillegg skal de vurderte alternativene rangeres i forhold til hverandre (avsnitt 7.3). Til slutt i den samfunnsøkonomiske analysen sammenholdes de prissatte og ikke prissatte konsekvensene, og konklusjon trekkes med hensyn til samfunnsøkonomisk lønnsomhet av hvert alternativ og rangering av alternativene (avsnitt 7.4).



Utenom den samfunnsøkonomiske analysen består konsekvensanalysen også i noen tilfeller av en analyse av sannsynlige samfunnsendringer som tiltaket bidrar til, lokalt og regionalt (kapittel 8). Dette dekker altså de seinere leddene i konsekvenskjeden.

Det er eksplisitt uttrykt at målene med tiltaket ikke skal trekkes inn som egne momenter i konsekvensanalysen. Det er vel slik å forstå at samfunnsøkonomisk effektivitet er et mål for alle tiltak, og at den samfunnsøkonomiske analysen skal gi graden av måloppfyllelse med hensyn til dette målet, og ikke noe annet. Imidlertid hører det også en anbefaling med til konsekvensanalysen (kapittel 9). Her kommer en vurdering av graden av måloppfyllelse med hensyn til andre mål inn i bildet, sammen med en vurdering av om alternativene oppfyller føringer gitt i rikspolitiske retningslinjer eller på annen måte.

Vi har ikke sett det som vår oppgave å rokke ved hovedstrukturen i høringsutkastet, slik det er gjengitt ovenfor. Med hensyn til dette har vi bare noen mindre merknader:

1. En kan sjølsagt diskutere om det er hensiktsmessig å kalle summen av analysene av prissatte og ikke prissatte konsekvenser for analyse av samfunnsøkonomisk lønnsomhet. På den ene sida kan det bidra til å utvanne begrepet samfunnsøkonomisk lønnsomhet, som allerede brukes svært upresist i den politiske debatten. På den andre sida er det et naturlig valg, gitt den økte graden av sammenveining eller sammenfatning av de prissatte og ikke prissatte konsekvensene som man nå vil innføre.
2. Flere forhold kan raskt komme inn og kreve en revurdering av større eller mindre deler av håndboka. Spesielt tenker vi på en ny versjon av Finansdepartementets veileder i samfunnsøkonomiske analyser, som nå er ute på høring (unntatt offentlighet, så vi har ikke mulighet til å vurdere den), og på kommende krav til konseptvurdering og kvalitetssikring av konseptvurderinger (KS1).
3. Det er understreket at håndboka skal gjelde for analyser på alle plannivå, også det strategiske. Slik vi oppfatter det, vil det strategiske nivået nødvendigvis omfatte avveininger mellom flere overordnede mål, for eksempel samfunnsøkonomi, fordelingsmål, miljømål og ulykkesmål. Det virker derfor som en naturlig framtidig utvidelse av håndboka om man delte kapittel 9 i to deler, en som omfatter en strategisk analyse av måloppnåelse og målkonflikter med hensyn til grunnleggende mål, og en som dreier seg om anbefalinger. Dette vil muligens også være vegen å gå for å tilpasse håndboka til de nye kravene til konseptvurdering og KS1. Konseptvurderingen kan kanskje sees som en forenklet gjennomgang av konsekvensanalysen fram til kapittel 9, deretter en grundigere vurdering av måloppfyllelse og målkonflikter, før prosessen begynner på nytt igjen med de forberedende arbeidene (kapittel 3) i en mer detaljert utredningsprosess.

## Hva skal konsekvensanalysen produsere?

En kan spørre seg: Hva skal konsekvensanalysen produsere? Skal den hovedsakelig resultere i en verdinøytral beskrivelse av konsekvensene? I så fall vil hovedresultatet være et sett av overordnede indikatorer som sammenfatter de ulike virkningene. Eller er det i tillegg essensielt at den også rangerer de vurderte alternativene? I så fall, trenges det en fullstendig rangering, eller er det tilstrekkelig at den forkaster noen og beholder andre? Må den nødvendigvis peke ut et beste alternativ? Hvilken rolle spiller de som blir berørt i beslutningsprosessen?

### Indikatorer

Vi kan kalle netto nåverdi, netto nytte pr. budsjettkroner og ”karakteren” som gis til hver av de fem fagtemaene i analysen av ikke prissatte virkninger, for indikatorer.

Enhver indikator bygger på verdier og bygger opp under verdier. ”*We try to measure what we value. We come to value what we measure*”, som Donella Meadows sier (Meadows 1998). Derfor er det viktig at vi har gode indikatorer på alle de konsekvensene vi bryr oss om. Grunnleggende sett er det dette som driver oss til å diskutere og revidere håndboka i konsekvensanalyser med jamne mellomrom.

Indikatorerne må være sammenfattende og aggregerte. Vi har behov for forenkling og aggregering – i et alt for detaljert bilde er det ingen som kan finne de store linjene, og ingen som kan se hvordan *deres* verdier skal ivaretas. Men de må ikke være mer aggregerte enn det som er nødvendig for formålet. Indikatorerne fra nyttekostnadsanalysen og analysen av ikke prissatte konsekvenser er allerede nokså aggregerte. Nyttan for ulike trafikanter er regnet sammen uten å ta hensyn til fordelingsmål. Konsekvensene innen hvert fagtema er vurdert etter alvorlighetsgrad og implisitt vektet sammen. Var det ikke for at enhver som vil, kan finne detaljene og grunnlaget for vurderingene ved å se nærmere etter i rapporten, måtte vi konkludere at aggregeringen på dette nivået allerede hadde gått for langt.

Så hva er et riktig aggregeringsnivå? Hvilke indikatorer er *tilstrekkelig* enkle og sammenfattende til at beslutningstakerne kan ta sine beslutninger, uten å være så aggregerte at de skjuler vesentlige verdikonflikter og målbarhetsproblemer?

Allerede i analysen av de *prissatte* konsekvensene ligger det prinsipielle målbarhetsproblemer som bare kan overkommes dersom vi kan gå ut fra at beslutningstakerne deler vesentlige verdivurderinger (Nyborg 2002). Om dette er et problem, er egentlig et empirisk spørsmål. Dersom beslutningstakerne kan gjøre seg god nytte av resultatene fra nyttekostnadsanalysene i transportsektoren, er det liten grunn til å bli filosofisk på dette punktet. Nå veit vi imidlertid at mange beslutningstakere ikke er spesielt opptatt av netto nåverdi og netto nytte pr. budsjettkroner. Kanskje som et svar på dette har den reviderte håndboka gått til det skritt å presentere resultatene mer disaggregert, slik at det skal være lettere å bedømme hvem som vinner og hvem som taper. Vi får se om dette fører til økt interesse for og bruk av informasjonen i nyttekostnadsanalysen.

Når det gjelder de ikke prissatte konsekvensene, er målbarhetsproblemene større. Om det i tillegg også kreves en større grad av felles verdier og normer for å avveie dem i forhold til hverandre på en skjønnsmessig måte, er usikkert. Vi mener derfor at erfaringen får avgjøre om framgangsmåtene i avsnitt 7.3 vil føre til sammensatte indikatorer på de ikke prissatte konsekvensene som det vil kunne være brei enighet om nytten av, og som faktisk vil bli brukt av beslutningstakerne. På den ene sida har en tatt hensyn til målbarhetsproblemene ved å definere en indikator med bare fire verdier. På den andre sida er det betydelige tolkningsproblemer knyttet til å telle plusser og minuser. En fast regel for hvordan det skal gjøres kan være like galt som et reint subjektivt skjønn basert på de verbale beskrivelsene.

## Samlet lønnsomhetsvurdering

Nyborg skiller mellom to ulike hensikter som nyttekostnadsanalysen kan tjene. Den første er prioritering mellom alternativer eller rangering av prosjektene. Dette krever som regel et mer eller mindre vidtgående normativt grunnlag (unntak er hvis prosjektet har positive nettovirkninger for alle, eller hvis ett alternativ er bedre enn de øvrige i alle dimensjoner). Det krever også at alle viktige virkninger er kvantifisert og tatt inn i analysen, ellers blir jo rangeringen skeiv. For å tjene dette formålet må analysen resultere i en eneste oppsummerende indikator, som kan sammenliknes med tilsvarende indikator for de andre alternativene.

Men hva skal vi med en rangering? Nyborg ser det som langt på veg overflødig, eller som et forsøk fra planleggerens side på å overta den rolla som beslutningstakeren skal ha:

*Å analysere prosjekter med det formål å gi en endelig rangering kan tolkes som at analytikeren selv er beslutningstaker, og derfor selv må foreta normative vurderinger. Alternativt kan bakgrunnen for et slikt formål være at vi tjener en bestemt beslutningstaker som vi kjenner de normative synspunktene til (...). En tredje mulighet kan være at et demokratisk valgt organ har besluttet at akkurat den typen avgjørelser vi for øyeblikket ser på rutinemessig skal fattes kun ut fra hensynet til samfunnsøkonomisk lønnsomhet, slik dette beregnes ved nyttekostnadsanalyse.*

Vi slutter oss ikke helt til dette synspunktet. Det kan ofte finnes situasjoner der alternativene er så mange og virkningene så forskjelligartede at det virker opplysende å foreta en rangering. Det kan også være god grunn til å sammenlikne prosjekter som faller under ulike beslutningstakers myndighetsområde, eller å framheve den høyere lønnsomheten til alternativer som beslutningstakerne ikke umiddelbart vil falle for.

Den andre hensikten er å gi faktagrunnlag for en demokratisk debatt. I den sammenhengen er det mindre behov for en sammenfattende indikator. Ved å unnlate sammenveining slipper utrederen å foreta så mange normative valg, og kan konsentrere seg om en objektiv faktabeskrivelse. Behovet for å veie sammen alle virkninger er ikke lenger tilstede, så det gjør ikke noe om noen virkninger ikke kan prissettes. Fram til nå har konsekvensanalysene i vegsektoren vært det som Kostnadsberegningssutvalget og Nyborg (2002) kaller kostnads-virkningsanalyser. Det vil si at ikke alle virkninger er vurdert i penger og tatt inn i nyttekostnads-

analysen, og at indikatorene på virkningene i ulike ikke prissatte dimensjoner er presentert for beslutningstakerne uten noen form for sammenveing.

Spørsmålet om det er behov for å sammenstille de prissatte og ikke prissatte konsekvensene er altså et spørsmål om hvilke hensikter den samfunnsøkonomiske analysen skal tjene, i tillegg til at det naturligvis er et spørsmål om det lar seg gjøre. Vi mener at det i mange sammenhenger er behov for at konsekvensanalysen resulterer i en sammenfattende indikator som gir grunnlag for å prioritere alternativene og prosjektene med hensyn på samfunnsøkonomisk lønnsomhet. Vi mener også at i prinsippet hører de ikke prissatte konsekvensene med i et samfunnsøkonomisk regnestykke. Derimot er vi sterkt i tvil om det lar seg gjøre å inkludere dem på en meningsfylt måte. Vår vurdering av avsnitt 7.4 i utkastet er derfor at denne sammenstillingen er å gå for langt.

Vi må likevel skille mellom steg 1 og steg 2 i dette avsnittet.

Dersom steg 1 hadde latt seg gjøre på en meningsfylt måte, ville resultatet ikke vært en fullstendig rangering av prosjektene, men bare en todeling i lønnsomme og ulønnsomme. Det svarer jo ikke helt til behovet for rangering. Nyten ved å få todelt prosjektene i lønnsomme og ulønnsomme, er altså begrenset, men den oppnås til en høy pris. Prisen er at grunnlaget for todelingen har blitt mye mer diskutabelt enn før. Hvis man godtar avsnitt 7.3 (noe vi er villig til å gjøre som et forsøk), følger det at tabell 7-3 lar seg oppstille. Det gir avgjørelse om lønnsomhet i noen få tilfeller. I tillegg kan en kanskje ofte finne alternativer som er dominert av andre, dvs. som er dårligere både med hensyn til prissatte og ikke-prissatte konsekvenser. Det gir en delvis rangering med påfølgende utsortering av noen alternativer. Men utfyllingen av tabell 7-4 på grunnlag av diskusjoner i tverrfaglig gruppe tror vi ikke er tilrådelig.

For det første er det en fare for at advarslene på side 178 ikke alltid blir hørt og fulgt. For eksempel kan det være vanskelig i praksis å få gruppa til å ta inn over seg at prosjekter i gruppe II og III meget vel kan være bedre enn prosjektene i gruppe I. Om de er det, avhenger jo av hvordan man avveier ikke prissatte og prissatte konsekvenser, og den tverrfaglige gruppa vil nesten nødvendigvis være uenig om det. Dessuten vil den være klar over at dette også er noe beslutningstakerne vil være uenig om. Da ligger det kanskje nær å samle seg om gruppe I-prosjektet som et kompromiss.

For det andre vil avgjørelsen være avhengig av hvordan den tverrfaglige gruppa er sammensatt. Ikke alle fag og tema vil være like godt representert, og spørsmålet om en bør la være å trekke en konklusjon vil dessuten kanskje ofte avhenge av personlighetstrekkene og autoriteten til medlemmene i den tverrfaglige gruppa.

Når det gjelder steg 2 i avsnitt 7.4, er gevinsten ved en mer eller mindre fullstendig rangering av alternativene kanskje større, men problemene med metodene er enda større. Dette vurderer vi nærmere nedafor.

## Prioriteringskriterier

Når vi har plassert de ulike alternativene som er lønnsomhetsvurdert innenfor en av kategoriene I til IV, er det på tide å rangere dem. Rangeringen følger, i følge utkastet til håndbok, ikke av plasseringen i kategorier. I håndboka anbefales det at man bruker tilsvarende metode som ved lønnsomhetsvurdering når alternativer skal rangeres (dvs en tverrfaglig gruppe).

Kriteriene for rangering for prissatte konsekvenser er netto nytte per budsjettkrone. Jo større netto nytte per krone, desto høyere rangering. For ikke-prissatte konsekvenser er det antall pluser og minuser som nyttes når et prosjekt skal rangeres. Dette gjelder ikke prosjekter som bryter med nasjonale forutsetninger.

Dersom metoden følges, er vi altså i stand til å rangere alternativene langs de to dimensjonene netto nytte per krone og rangering av ikke-prissatte konsekvenser. Dersom nå et alternativ er best etter begge rangeringer, har vi en vinner. Men det vil nok være unntaket.

I alle andre tilfeller er vi egentlig like langt. Sjøl om vi har en fullstendig rangering i to dimensjoner, følger det ikke at det er mulig å sette sammen disse to rangeringene til en entydig og fullstendig rangering i en eneste dimensjon. En kan tenke seg tusen ulike måter å gjøre det på. Egenskapene til noen av måtene er studert i den såkalte "social choice"-teorien. Det viser seg for eksempel at om vi har mange som sammen skal komme fram til en felles rangering, har avstemningsmetoden fra Melodi Grand Prix en del gunstige egenskaper (på fagspråket heter den "Borda rule"). En annen tenkelig metode er plassiffermetoden, som lenge blei brukt i kunstløp. En tredje er å se bort fra de ikke prissatte konsekvensene under rangeringen, slik man implisitt nå gjør. Det kan faktisk være like bra som noe annet, for det gjør det i hvert fall mulig å benytte nyttekostnadsbrøken (netto nytte pr. budsjettkrone) fra nyttekostnadsanalysen.

Det ser ut til at man har gått ut fra som opplagt at den indikatoren man skal bruke fra nyttekostnadsanalysen for å få til en endelig rangering, må være netto nytte pr. budsjettkrone. Det er feil. NNK er et gyldig kriterium for prioritering av prosjekter bare i et eneste tilfelle, nemlig når det finns en og bare en budsjettrestriksjon og heller ingen andre restriksjoner. Eksistensen av flere målsetninger som skal oppfylles i størst mulig grad i tillegg til at man skal oppnå størst mulig samfunnsøkonomisk gevinst, er for eksempel et forhold som gjør nyttekostnadsbrøken blir ugyldig som valgkriterium. Nettopp dette er situasjonen når man også skal ta hensyn til de ikke prissatte konsekvensene. Det man egentlig burde gjort i et slikt tilfelle, var å løse et maksimeringsproblem der visse minimumskrav til de ikke prissatte konsekvensene inngikk sammen med budsjettrestriksjonen som bibetingelser. Ingen enkle regler for løsningen av et slikt problem finns.

Dette at man egentlig ikke kan bruke nyttekostnadsbrøken i metoden i steg 2 i avsnitt 7.4, er et hovedargument for å forkaste steg 2. Det er tre typer av indikatorer som man må ha med seg dersom man skal komme fram til en gyldig metode for "samlet samfunnsøkonomisk lønnsomhet", nemlig netto nåverdi, budsjettet og en samleindikator for de ikke prissatte virkningene. Ignorerer vi den siste, kan vi danne nyttekostnadsbrøken som forholdet mellom de to første, og det viser seg å være et gyldig kriterium. Men siden "ikke prissatt konsekvens pr. budsjettkrone"

som regel blir et nokså meningsløst begrep, kan vi ikke inkorporere den tredje indikatoren på denne måten. Følgelig må vi formulere maksimeringsproblemet ”gjør samfunnsøkonomien størst mulig, gitt budsjettet og kravene til de ikke prissatte virkningene”. Kanskje vil erfaringer med løsningen av det kunne gi oss en slags tommelfingerregel? Før vi veit mer om det, kan vi like gjerne fortsette som før.

## Nærmere om kvantifisering og vekting

Det er viktig å understreke at metoden til å vurdere de ikke prissatte konsekvensene, sjøl på sitt beste, ikke innebærer noe mer enn å bruke en *ordinal* målestokk. Sjøl om den kan gi oss et inntrykk av om et alternativ er bedre eller dårligere enn et annet i det ene eller andre henseende, gir det mye mindre mening å tolke forskjellene mellom la oss si to og tre pluss. Det endrer ikke på dette at det blir gitt presise instruksjer, slik at alle utredere bruker skalaen på samme måte. Så snart vi utreder et nytt prosjekt, med sin egen miks av problemer, vil forskjellen mellom plussene bety noe annet enn før.

Gitt dette ordinale grunnlaget, lar det seg da gjøre å sammenveie de fem områdene for et bestemt alternativ? Naturligvis, men det vil alltid hefte noe vilkårlig og skjønnsmessig ved det, uansett om det skjer til faste regler. Eller faktisk kanskje i høyere grad om det skjer etter faste regler!

På side 109 i utkastet til håndbok gis det kriterier for hvordan brukeren skal kategorisere alternativer i den samlede vurderingen av alternativer:

1. Negativt, strider mot nasjonale mål: Brukes dersom ett eller flere tema har fire minus, eller to eller flere tema har tre minus.
2. Negativt bidrag til netto nytte: Brukes der det er tydelig overvekt av negative konsekvenser
3. Bidrag nær null: Brukes der de positive konsekvensene i stor grad oppveier de negative
4. Positivt bidrag til netto nytte: Brukes der det er overvekt av positive konsekvenser

Dersom en ser bort fra alternativ 1, sier dette at man skal vekte plusser og minuser likt. At man havner på nettopp lik vekt, er kanskje et uttrykk mer for at man ikke har noe bedre å finne på enn at dette faktisk bør være den riktige vektningen. Men hvis vi nå hadde definert analyseområdet eller delt det opp på en annen måte, ville vi ha fått et annet antall plusser og minuser og dermed et annet resultat. Hvis man derimot hadde brukt mindre faste regler, ville man sannsynligvis ikke latt seg influere så mye av inndelingen av området.

Svært negative konsekvenser (enten fire minus på ett tema eller tre minus på minst to) regnes for å stride mot nasjonale mål. Alternativ som har såpass store konsekvenser, bør ikke anbefales i følge utkast til håndbok side 109. De mange minusene kan altså ikke oppveies av mange plusser andre steder. Dette tilsvarer en uendelig kostnad. Det er greit hvis det er opplagt at prosjektene av denne typen er fullstendig uaktuelle. Men er de det?

Hva blir konsekvensene av denne kritikken? Å slutte med slik vekting? Ikke nødvendigvis. Faktisk kan noe av den samme kritikken også rettes mot nyttekostnadsanalysen (Nyborg 1982).<sup>2</sup> Vi tror konsekvensene må være at man i hvert fall må høste erfaringer som viser at den sammenveide indikatoren samsvarer godt med de vurderingene beslutningstakerne gjør seg, og at de har nytte av den.

## Etterprøvbarehet

Økt etterprøvbarehet er en egenskap man har lagt vekt på i utkastet til håndbok. Ting kan være etterprøvbare på mange måter. Det gjelder forutsetningene for nyttekostnadsanalysen, bla valg av parametere i Effekt, og det gjelder på samme måten konsekvensene for de fem fagtemaene som ikke er prissatt. Men etterprøving av vekting og anbefalinger tror vi er vanskelig. Det vil for eksempel være svært vanskelig, også ut fra de eksempler som er nytta i utkastet til håndbok 140, å skille mellom tre og to minuser, og mellom to og tre plusser. Dette taler mot for omfattende sammenveing. For mange formål kan nyttekostnadsanalysen, resten av konsekvensutredningen og de regionale effektene fint stå med hver sin benevning, slik at den faglige anbefalingen begrenses til dette. Da øker muligheten for etterprøving også.

## Medvirkning

Vi savner en prosessuell tilnærming til behandlingen av fagtemaene i kapittel 6, noe som ville vært i tråd med de intensjoner om medvirkning som ligger i både den norske og internasjonale KU-tradisjonen. Medvirkning fra berørte interesser er her sentralt både i den innledende scopingfasen (kfr utredningsprogram/planprogram) og i den senere fasen med konsekvensanalyse. Det er derfor med undring vi ser på den rene "fagliggjøringen" av spørsmål som går på fastsetting av verdi og omfang. Som minimum må spørsmål som gjelder verdi drøftes inngående med berørte, mens spørsmål som gjelder omfang klarere kunne adressere rene effekter. Fraværet av medvirkning i tekst og metode er iøynefallende og internasjonalt for lengst historie i KU-sammenheng (Børset og Lerstang 1981, Sadler 1996, Lerstang og Leknes 2003).

Et helt sentralt spørsmål i fastsetting av konsekvenser er å få fastsatt aggregerte konsekvenser for berørte interesser og grupper, f eks barn som skal leke i nærmiljøet til et bestemt boligfelt eller må krysse en veg som kan gi sterke barrierевirkninger. I slike situasjoner må konsekvenser aggregeres for relevante grupper som er identifisert gjennom en *medvirkningsprosess*. Ordet medvirkning finnes overhodet ikke i ordlisten bakerst i rapportutkastet. Det sier seg selv at aggregering på tvers av de ulike fagtemaene blir vanskeligere når gruppe- og medvirkningsaspektet trekkes inn. I det hele er den rene fagtematiske tilnærming et stort prinsipielt problem, noe som er nærmere drøftet av Lerstang og Leknes i en rap-

---

<sup>2</sup> Mot Nyborg kan det imidlertid innvendes at under visse forutsetninger, som er oppfylt i transportmodellene, er Nyborgs innvendinger ikke gyldige. Hvis altså modellene ser ut til å forklare virkeligheten, er det ingen grunn til å droppe nyttekostnadsanalysen.

port til MD med forslag til kvalitetskriterier for det norske KU-systemet (Lerstang og Leknes 2003). Aggregering med vekt på mål, måloppnåelse og interessgrupper er imidlertid et klassisk problem, noe som bl a er fanget opp i N. Lichfields Planning Balance Sheet, Morris Hill's Goals Achievement Matrix, Beslutningtre og andre metoder.

## **Dobbelttellinger**

Når vi verdsetter samme konsekvens på to forskjellige måter og inkluderer begge i en sammenfattende indikator, foreligger en dobbelttelling. Opprinnelig er dette en problemstilling fra nyttekostnadsanalyse, men vi har registrert at noen også anser dobbelttellinger som et problem i analyser med flere mål enn samfunnsøkonomisk lønnsomhet. Om dobbelttelling er et problem eller ikke, avhenger etter vårt skjønn av hvor mange separate mål man har. Hvis en og samme konsekvens må vurderes med hensyn til hvordan den påvirker to ulike mål, er det i prinsippet ikke dobbelttelling å vurdere ("verdsette") virkningen med hensyn på hvordan den oppfyller begge målene. Om man seinere lager en indikator som veier sammen begge målene (en multikriterie-målfunksjon), vil det heller ikke være dobbelttelling å ta med virkningen for begge målene i den.

Problemsstillingen med dobbelttelling endrer seg altså når man endrer definisjonen av samfunnsøkonomisk lønnsomhet til også å omfatte de ikke prissatte virkningene. Dersom det finnes elementer av disse som også er vurdert i nyttekostnadsanalysen, vil det foreligge dobbelttelling, mens det ikke er tilfelle hvis hver av de ikke prissatte virkningene måler måloppfyllelse med hensyn til et annet mål enn samfunnsøkonomisk lønnsomhet. Hvis man eksplisitt veker sammen de to målene ut fra et annet prinsipp enn samfunnsøkonomi, foreligger det heller ikke dobbelttelling.

### **Dobbelttelling av prissatte og ikke prissatte konsekvenser**

De fem ikke prissatte konsekvensene gjelder temaer som i utgangspunktet ikke i det hele tatt er berørt i nyttekostnadsanalysen. Dette i motsetning til nåværende håndbok. Det skulle derfor i prinsippet ikke foreligge dobbelttelling i den samfunnsøkonomiske analysen i utkastet, sjøl om den er utvidet til å omfatte disse temaene.

Ser vi nærmere på detaljene, oppstår det en viss fare for dobbelttelling ved en overordnet vurdering av temaet nærmiljø og friluftsliv. En grunn til det er at mange former for friluftsliv vil være å regne som gang- og sykkelturner i reisevaneundersøkelsens forstand. Vi kan vel anta at turer som gjennomføres for å oppleve skog og mark eller bylivet, ikke har nytte av tiltak som gir mulighet til å forkorte opplevelsen (derimot kan det være nyttig om reisa til og fra utgangspunktet for slike turer blir raskere). Hvis det er tilfelle, oppstår dobbelttellingen hvis denne typen turer er tatt med i beregningene av nytte for gående og syklende.

Støy er delt i prissatt og ikke prissatt slik at innendørs støy er prissatt, mens utendørs støy hører under det ikke prissatte temaet nærmiljø og friluftsliv (avsnitt



5.7.1 på side 86 og ”Avgrensning mot andre fagtemaer” på side 124). Dette skillet kan umulig la seg praktisere, og vi har her en klar dobbelttelling. Innendørs og utendørs støy har samme årsak. Utendørs støy omtales og presenteres dessuten begge steder. Sjøl om antall svært plagede personer skulle være definert på grunnlag av innendørs støy, hjelper det lite dersom enhetskostnaden pr. svært plaget ikke er framkommet ved en metode som klarer å eliminere utendørs støy fra verdsettinga. Vi har ikke i dette prosjektet fått sett nærmere på dette, men vi trur at verdsettingen av støy i nyttekostnadsanalysen (enhetsprisen pr. svært plaget person) også er så grov og overordnet at det ikke er mulig å bedømme om den har tatt opp i seg de momentene som teller med i den ikke prissatte konsekvensen nærmiljø og friluftsliv. Muligens vil enhetsprisen også delvis gjenspeile hensyn til naturmiljøet.

Verdsettingen av utslipp kan enten baseres på betalingsvillighetsundersøkelser eller på skadekostnader. I det siste tilfellet kan vi være nokså sikre på at det ikke foreligger dobbelttelling med *naturmiljø* (skadene som er anslått, gjelder vel alltid bare menneskers helse, bygninger og produksjon). I det førstnevnte tilfellet er det et åpent spørsmål om folk tar hensyn til naturen når de svarer. Det kan ikke utelukkes. Siden både betalingsvillighetsundersøkelser og skadekostnader er brukt som grunnlag for enhetskostnadene i avsnitt 5.7.3 (det førstnevnte ved prosjektvurdering, det sistnevnte ved strategiske analyser), og siden også kostnaden for avbøtende tiltak er brukt for regionale forurensninger, er det komplisert å utrede omfanget av dobbelttelling mellom prissatte utslipp og temaet naturmiljø. Men faren er åpenbart tilstede for at man har laget et system der noen ikke-prissatte konsekvenser presenteres under de prissatte uten å verdsettes, samtidig som deler av de ikke-prissatte konsekvensene i temaene naturmiljø og naturressurser faktisk er verdsatt.

Vår konklusjon er at det trenges avklaringer på dette området. Mulige tiltak på kort sikt kan være å flytte mer av beskrivelsene av støy og utslipp over til de ikke prissatte virkningene, samtidig som en gjør klarere oppmerksom på muligheten for dobbelttelling.

## **Dobbelttelling ved analysen av lokale og regionale samfunnsendringer**

Faren for dette er behandlet i avsnitt 8.1, til og med med et fareskilt som illustrasjon! Det er likevel ingen garanti mot at beslutningstakerne kan foreta en implisitt dobbelttelling om de legger stor vekt på både de samfunnsøkonomiske og regionale virkningene. En bør derfor enda klarere uttrykke at verdien av de regionale virkningene som regel er fanget opp i netto nåverdi, og sørge for at dette også sies i analyserapporten der det er behov for det.

Skal analyser etter kapittel 8 bli gjennomført, presentert og oppfattet på den rette måten, trenges det en klargjøring av transportpolitiske mål. Dersom samfunnsøkonomi er eneste mål, kan en betrakte analysen i kapittel 8 som utgangspunkt for en vurdering av om de videre leddene i konsekvenskjeden ville ha gitt en endring i netto nåverdi, dersom vi hadde hatt mulighet til å beregne dem nøyaktig. Men som antydnet til slutt i avsnitt 8.3, er det trolig at samfunnsøkonomi ikke er eneste

mål, og at vi også har regionaløkonomiske og andre mål som virkningene i kapittel 8 kan bidra til å nå. Dersom dette er *legitime* mål i den sammenhengen som beslutningene står i, vil det ikke være dobbelttelling å ta hensyn til konsekvenser med hensyn på slike mål i tillegg til vurderingen av konsekvensene for samfunnsøkonomien, etter det vi har sagt ovenfor.

Det er for eksempel legitimt for en fylkeskommune å ta hensyn til om prosjektet bidrar til økonomisk vekst i fylket. Men det er ikke uten videre legitimt for nasjonale beslutningsorganer å ta over den samme vurderingen. For at det skal bli legitimt, må de nasjonale organene også ta hensyn til om veksten i fylket går på bekostning av veksten i andre fylker, og om dette i så fall er i samsvar med den distrikts- og regionalpolitikken man vil følge.

Vi mener derfor at det ikke uten videre er gitt at man skal bruke lokale og regionale målformuleringer fra kommune- eller fylkesplaner som grunnlag for å bedømme virkningene i kapittel 8. I mange sammenhenger vil det snarere være en konkretisering av målene i nasjonale transportplaner og nasjonale distriktpolitiske planer som er det relevante. Derfor kunne vi ønske oss at målene fra NTP og andre relevante dokumenter blei tatt inn i håndboka og om mulig konkretisert her. Kanskje det også burde vært nevnt at i tillegg til at det av og til kan være hensiktsmessig å dele opp det geografiske området når de regionale virkningene skal vurderes, kan det også av og til være hensiktsmessig å utvide det.

Det er mulig at en drøfting av måloppfyllelse med hensyn på andre mål enn samfunnsøkonomi best kan gjøres samlet i et eget kapittel, jfr. vårt forslag over om å dele opp kapittel 9.

En særskilt fare som knytter seg til kapittel 8 er om data i tabellene 8.1-8.4 blir brukt direkte av beslutningstakerne som egne argumenter for prosjektet, i tillegg til den samfunnsøkonomiske analysen. Det må gjøres klart at den umiddelbare virkningen av reisetidsforkortingene og effektiviseringene i disse tabellene allerede er fanget opp i nyttekostnadsanalysen, og at det man må ta stilling til, er hvordan disse tingene virker til å forsterke eller svekke samfunnsøkonomien på lang sikt, og hvordan en slik utvikling kan fremme andre mål enn samfunnsøkonomi. Det relevante beslutningsgrunnlaget er derfor ikke tabell 8.1-8.4, men de oppsummerende indikatorene (eksempel 8-4 til slutt i kapitlet).

## **Fordelingsvirkninger og dobbelttelling**

Fordelingsvirkninger av tiltak er konsekvenser på linje med samfunnsøkonomiske konsekvenser, men med hensyn på et annet mål. Slik begrepet samfunnsøkonomisk analyse nyttes i utkastet til håndbok, kan noen individers ulemper knytta til et tiltak motvirkes av andre individers økte nytte. Det vil si at fordelingseffekter implisitt er godtatt hvis man ikke utreder dem særskilt. Fordelingsvirkningene burde kanskje være et eget emne et sted i håndboka? Det finns både formelle og mer uformelle måter å utrede dem på. Det er da ikke mindre faglig å utrede dette enn det er å utrede effektivitet?

## Romlig og sosial utvikling

For noen vegprosjekter (ikke alle) kan det være aktuelt å gjennomføre supplerende analyser av tiltakets betydning for romlig og sosial utvikling, som med et fellesord betegnes 'regional utvikling' i håndboka. Slike analyser vil trolig ofte framskaffe informasjon som er relevant for politiske valg og prioriteringer.

Troen på at infrastrukturtiltak har store, positive og avgjørende regionale konsekvenser, enten en ser tiltakene i forhold til regional- eller distriktspolitiske målsettinger, er svært sterk, spesielt i næringslivet og blant politikere. Man kan peke på en rekke tilfeller der det *ikke* er de samfunnsøkonomiske vurderingene som står i fokus for prioriteringer av veginvesteringer, men derimot de forestilte regionale konsekvensene. Faglige utredninger av mulige regionale konsekvenser vil kunne bidra til å gi en noe mer balansert framstilling av effektene. Utredningene må rette mot

- Regionale konsekvenser, enten de er positive eller negative, og premissene for disse.
- Tiltakets konsekvenser for den regionale fordeling i vid forstand, altså fordelingspolitiske argumenter

Målsettingen med å beskrive det romlige og sosiale konsekvensene av vegprosjekter må være at slik informasjon skal være beslutningsrelevant og gi faglige bidrag som går ut over synse- og trosnivået. Det er viktig at analyser av regionale virkninger først og fremst plasseres i en ramme der en ser disse virkningene i forhold til den samfunnsøkonomiske analysen (oppjustering eller nedjustering). Dette er også i tråd med hovedregelen om at vegvesenet bør anbefale det alternativet som rangeres først i den samfunnsøkonomiske vurderingen. Dernest bør analysene også kunne besvare fordelingsprosjektspørsmål.

I kapittel 9 går man etter vårt skjønn for langt i å åpne for at romlige og sosiale konsekvenser kan snu helt rundt på prioriteringen fra den samfunnsøkonomiske analysen. Vi etterlyser sterkere dokumentasjon av at samfunnsøkonomisk lønnsomhet faktisk står i veien for og hindrer oppfyllelsen av de andre legitime målene.

En av grunnene til at SVV som hovedregel bør rangere de samfunnsøkonomisk mest lønnsomme alternativene først, er at de mest lønnsomme prosjektene genererer størst overskott til samfunnet. Jo større overskottet blir, desto mer av samfunnets ressurser kan nyttes til å oppnå andre mål. Samtidig bør virkemiddelbruk, generelt sett, være mest mulig målretta. Transportvirkemidler bør være innrettet mot å løse problemer i transportsystemet, og ha det som hovedmål. Ofte finns det bedre virkemidler enn transporttiltak for å oppnå regionaløkonomiske mål. Disse to faktorene trekker i retning av at en ikke bør nytte andre målsettinger enn samfunnsøkonomi når vegprosjekter gjennomføres.

## Effektive virkemidler i regional- og distriktpolitikken

Flere utredninger, blant annet Effektutvalgets og Distriktskommisjonens, har pekt på at målsettinger knyttet til regional utvikling og distriktpolitikk er tverrgående. Med dette menes at de omfatter en rekke samfunnssektorer. Tradisjonelt har derfor både regional- og distriktpolitikken i Norge vært tverrsektoriell. Ved hjelp av en rekke virkemidler, der den smale distriktpolitikken har utgjort en svært liten del (et par mrd kr per år), har myndighetene satset målrettet i regionalpolitikken.

De samme utredningene har pekt på at det generelt sett er slik at sektorpolitiske mål de seinere år har kommet mer og mer i fokus for virkemiddelbruken, på bekostning av de tverrsektorielle målene. I utgangspunktet er dette i tråd med samfunnsøkonomiske mål. Samtidig har en av konsekvensene vært at målsettinger knyttet til regional utvikling og distriktpolitikk har blitt nedprioritert. Utredningene peker derfor på at det er nødvendig at politikken på flere områder igjen blir samordnet med sikte på å oppnå målsettinger knyttet til regional utvikling og distriktpolitikk, dersom myndighetene mener noe med disse målsettingene. Forslaget om samordning gjelder også vegvesenets virkemidler. Det tilsier at romlig og sosial utvikling likevel kan trekkes fram som relevante mål, også for vegvesenet, men at det må vurderes i lys av den breie distriktpolitikken.

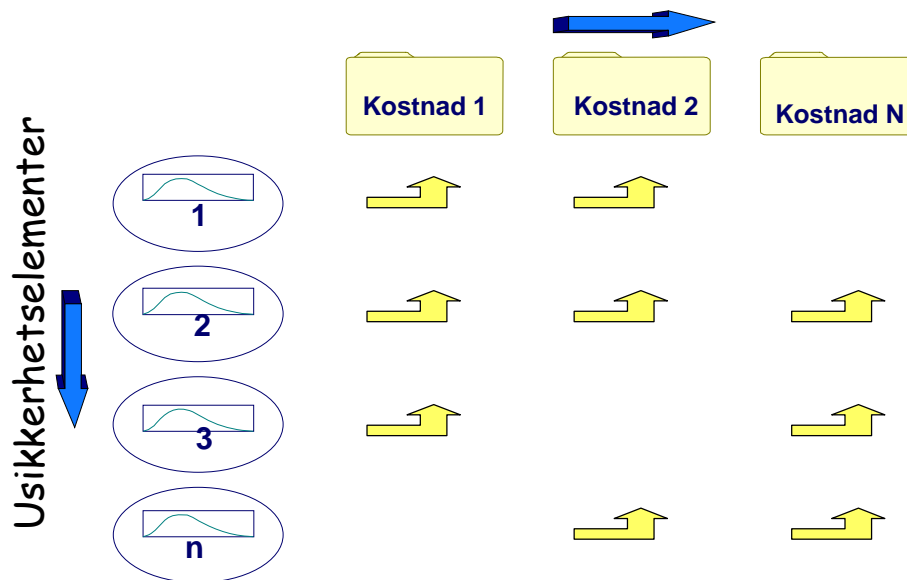
## Litteratur

- Børset, E, og Lerstang, T. (1981): Konsekvensutredninger. Praksis og erfaringer fra noen land. NIBR-rapport 1981:11.
- Leknes, E. Og Lerstang, T. (2003): Konsekvensutredninger etter PBL. Utvikling av kvalitetskriterier. Samarbeidsrapport TØI/RF. RF - 2003/131.
- Lerstang og Leknes (2003) Samarbeidsrapport TØI/RF 2003
- Meadows, D. (1998) *Indicators and information systems for sustainability. Report to the Balaton Group.* [http://www.iisd.org/pdf/s\\_ind\\_2.pdf](http://www.iisd.org/pdf/s_ind_2.pdf)
- Nyborg, K. (2002) *Miljø og nyttekostnadsanalyse. Noen prinsipielle vurderinger.* Rapport 5/2002, Frischsenteret. [http://www.frisch.uio.no/pdf/rapp02\\_05.pdf](http://www.frisch.uio.no/pdf/rapp02_05.pdf)
- Sadler, B. (1996): Environmental Assessment in a Changing World. International Study of the Effectiveness of Environmental Assessment. Final report. International Association of Impact Assessment (IAIA), ISBN 0-662-24702-7.

# Vedlegg 3

## AnRisk © - modell for analyse av usikkerhet

AnRisk © er utviklet av Stein Berntsen og er Dovre Group sin foretrukne metode for analyse av usikkerhet. Metoden baserer seg på å modellere *årsak-virkning* forholdet mellom usikkerhetselementene og de ulike hovedelementene i analysegrunnlaget. Analysegrunnlaget kan eksempelvis være en samfunnsøkonomisk *nyttekostnadsanalyse* (NKA), en bedriftsøkonomisk *lønnsomhetsanalyse*, et *kostnadsoverslag* eller en *tidsplan*. I det videre kalles hovedelementene i analysegrunnlaget for kostnadselementer.



Hovedprinsippene modellen bygger på kan illustreres som følger:

- Kostnadsoverslaget deles i et hensiktsmessig antall elementer i henhold til usikkerhetseksponering. Antallet kostnadselementer bør normalt ikke overstige 20.
- De identifiserte usikkerhetselementene (bør normalt ikke overstige 50) listes i radene og knyttes opp mot de kostnadselementene de påvirker. Ved å knytte et usikkerhetselement opp mot flere kostnadselementer, blir korrelasjon mellom kostnadselementene automatisk ivaretatt.
- Optimistisk, mest sannsynlig og pessimistisk verdi blir beskrevet for hvert kostnadselement som usikkerhetselementet påvirker. Dette gir også mulighet til å modellere ulik eller ikke-lineær virkninger av usikkerhet på det enkelte kostnadselement, dersom dette er relevant.
- For hendelser angis sannsynligheten for at hendelsen inntreffer, samt konsekvensen angitt ved trippelanslag som beskrevet over.

- Korrelasjon mellom usikkerhetselementene knyttes opp dersom det er relevant.

Forventningsverdi og standardavvik/konfidensintervall beregnes for henholdsvis hvert kostnadselement og usikkerhetselement, og totalt.

Resultatene fra analysen kan presenteres i henhold til klassifiseringer av usikkerhet, som for eksempel *intern-ekstern*, *teknisk-organisatorisk-kommersiell*, *systematisk-usystematisk* eller *estimatusikkerhet-hendelsesusikkerhet*.

## Definisjoner

*Estimatusikkerhet*: Usikkerhet på kostnadselementer eller faktorer som påvirker prosjektets kostnader. Beskriver konsekvensen av forhold som en kontinuerlig fordeling.

*Hendelsesusikkerhet*: Hendelser er situasjoner som enten oppstår eller ikke oppstår. Hendelsesusikkerhet = sannsynlighet for at en hendelse inntreffer x konsekvens av hendelsen dersom den inntreffer.

For flere definisjoner refereres det til Finansdepartementets veileder "Felles begrepsapparat", hvor også de overstående definisjonene er hentet fra.

## Matematiske formler som benyttes i analysemodellen

Formlene er basert på Erlang fordelingen med trippelanslag for optimistisk, mest sannsynlig og pessimistisk verdi. Ytterverdiene angis med 10 % og 90 % percentilene, heretter kalt P10 og P90.

En effekt av å velge P10 og P90 som inngangsverdier er, ved siden av å få mer realistiske angivelser av usikkerhetsspennet, at valg av fordelingsfunksjon blir praktisk talt uten betydning. De nedenstående formlene kan derfor uten store feil benyttes for enhver kontinuerlig fordeling.

Formlene for kontinuerlige fordelinger er en videreutvikling foretatt av Stein Berntsen, basert på formler utviklet av Steen Lichtenberg, og er verifisert av NTNU. Disse er videre kombinert med allment kjente formler for diskrete fordelinger. På denne måten er formene gyldige både for estimatusikkerhet og hendelsesusikkerhet (ved estimatusikkerhet er sannsynligheten pr. definisjon 100 % eller faktor 1,0).

### Tegnforklaringer:

a = Optimistisk verdi gitt ved P10  
 m = Mest sannsynlig verdi  
 b = Pessimistisk verdi gitt ved P90  
 E = Forventet verdi  
 SD = Standardavvik  
 Var = Varians

### Basisformler for usikkerhet pr usikkerhetselement:

$$(1) E = p \cdot (a + 0,42 \cdot m + b) / 2,42$$

$$(2) SD = p \cdot (1-p) [(a + 0,42 \cdot m + b) / 2,42]^2 + p \cdot [(b-a) / 2,5]^2$$

Basisformler for total usikkerhet:

- (3)  $E_{\text{tot}} = \sum E$  (summen av forventet verdi for alle usikkerhetselementer)
- (4)  $SD_{\text{tot}} = \sqrt{\sum \text{Var}} = \sqrt{\sum SD^2}$  (summen av varians og kovarians for alle usikkerhetselementer)
- (5) Varians:  $\text{Var} = SD^2$
- (6) Kovarians:  $\text{Kovar}_{ab} = SD_a \cdot SD_b \cdot \text{Korr}_{ab}$
- (7) Korrelasjonsfaktor  $\text{Korr} = [-1,1]$

For å være matematisk korrekt, skal virkningen av et usikkerhetselement beregnes ut fra kostnadens forventede verdi. Det vil si at virkningen av øvrige usikkerhetselementer på forventet verdi må inngå i beregningen. AnRisk © inneholder korreksjonsformler for dette.

## Vedlegg 4

Arbeidsdokument av 30.03.2009  
3460 Samfunnsøkonomiske analyser i KVV  
Cand oecon Harald Minken

ØL/2156/2009

### Rammeverk for nyttekostnadsanalyse og finansieringsanalyse

#### Innhold

<b>1 Innledning</b> .....	<b>2</b>
<b>2 Hovedelementene i det samfunnsøkonomiske regnestykket</b> .....	<b>2</b>
2.1 Finansieringsforutsetninger .....	3
<b>3 Elementene i trafikantnyttens, <math>B^n</math></b> .....	<b>5</b>
3.1 Provenyet av drivstoffavgiftene .....	8
3.2 Eksterne kostnader, $E^n$ .....	9
<b>4 Operatørnytte <math>P</math> og det offentlige nytte <math>F</math></b> .....	<b>9</b>
4.1 Kollektivselskapenes kostnader .....	9
4.2 Det offentlige kostnader .....	11
<b>5 Det fullstendige samfunnsøkonomiske regnestykket</b> .....	<b>11</b>
5.1 Årlig nytte i år $n$ .....	11
Brukernytte .....	11
Nytte for det offentlige .....	13
Nytte for samfunnet for øvrig .....	13
5.2 Netto nytte .....	14
<b>6 Finansieringsanalyse</b> .....	<b>14</b>
<b>7 Tidsverdien og kjørekostnadene over tid</b> .....	<b>14</b>
<b>8 Rammeverket for nyttekostnadsanalyse av utforskende beregninger</b> .....	<b>15</b>
Litteraturliste .....	15



# 1 Innledning

Hensikten med dette arbeidsdokumentet er å gi et mest mulig riktig, men enkelt opplegg for nyttekostnadsanalyse og finansieringsanalyse på grunnlag av transportmodeller, enten det dreier seg om store modellsystemer eller enkle stiliserte modeller. Opplegget kan programmeres opp eller brukes som grunnlag for håndregning.

## 2 Hovedelementene i det samfunnsøkonomiske regnestykket

Teksten i dette avsnittet er hentet fra Minken og Samstad (2005).

All nytte og alle kostnader tilfaller en av fire sektorer. De fire sektorene er brukerne (trafikanterne), produsentene (operatørene), det offentlige og samfunnet for øvrig. En liste over variablene som er brukt i dette avsnittet er gitt i boks 1. Vi kaller brukernytta B, produsentenes overskudd (operatørnytta) P, virkningen på offentlige budsjetter F og virkningene for samfunnet for øvrig E. Nytte og kostnader som tilfaller det offentlige multipliseres med  $1 + S$ , skattekostnaden. Årlig netto nytte i år  $n$  er:

$$V^n = B^n + P^n - (1 + S)F^n + E^n \quad (1)$$

Operatørnytte består av inntekt J minus kostnad C og minus private infrastrukturinvesteringer og andre private infrastrukturkostnader K. Tilskudd T minus overføringer til staten Y kommer i tillegg:

$$P^n = J^n - C^n - K^n + T^n - Y^n \quad (2)$$

Det offentliges finansieringsbehov (underskudd) består av offentlig kjøp av transporttjenester T, offentlige investeringer I og offentlige etaters driftskostnader D, minus overføringer fra bom- og parkeringsselskaper og andre inntektskilder, Y, og skatteinntekter, R:

$$F^n = -Y^n - R^n + T^n + I^n + D^n \quad (3)$$

Nytte for samfunnet for øvrig består av sparte ulykkeskostnader U og sparte miljøkostnader M pluss annen nytte A. Den sistnevnte kategorien er satt inn for å ha et sted å føre inn tilfeldige effekter og justeringer i programmet. Dessuten fører vi Z, skrapverdien av investeringene ved utløpet av perioden, her.

$$E^n = U^n + M^n + A^n + Z^n \quad (4)$$

Alle variable i likning (1) til (4) gjelder årlige verdier. For hver av disse variablene definerer vi nåverdien over alle  $N+1$  år slik: La X være et hvilket som helst av variablene A, B, C, D, E, F, I, J, K, M, P, R, T, U, V, eller Y – med eller uten indeks n. For alle slike variable gjelder:

$$X = \sum_{n=0}^N (1+r)^{-n} X^n \quad (5)$$

der  $r$  er kalkulasjonsrenta. År 1 er "startåret", det første året med trafikk. Ofte vil et tiltak medføre en investeringskostnad som vi regner faller i år 0. Derfor har vi tatt med år 0. For  $Z$  gjelder:

$$Z = (1+r)^{-N} Z^N \quad (6)$$

Skattefaktoren  $S$  er alltid den samme og skal ikke neddiskonteres. Naturligvis har vi nå:

$$V = B + P - (1+S)F + E \quad (7)$$

$$P = J - C - K + T - Y \quad (8)$$

$$F = -Y - R + T + I + D \quad (9)$$

$$E = U + M + A + Z \quad (10)$$

Endringen i virkemiddelbruk fra situasjon 0 til situasjon 1 kalles *tiltaket*. Netto nåverdi av tiltaket, eller kort sagt nåverdien, er  $V$ . Netto nytte pr. budsjettkrone, eller kort sagt nyttekostnadsbrøken, er  $VF^{-1}$ . Da har vi forutsatt at det er  $F$ , dvs. alle inn- og utbetalinger over offentlige kasser, som skal stå under brøkstreken (hvilket bl.a innebærer at momsinntektene på investering og drift kommer inn, slik at investering og drift faktisk blir uten moms under brøkstreken). Hvis det er *etatsbudsjettet* som er den begrensende faktoren, stiller det seg annerledes.

Kaller vi nåverdien  $NNV$  og nyttekostnadsbrøken  $NNB$  (netto nytte pr. budsjettkrone), har vi altså under disse forutsetningene:

$$\begin{aligned} NNV &= V \\ NNB &= VF^{-1} \end{aligned} \quad (11)$$

## 2.1 Finansieringsforutsetninger

Anta vi skal nytteberegne en bypakke. To ulike finansieringsforutsetninger må slå til dersom pakka skal kunne realiseres etter intensjonen. For det første må kollektivselskapene kunne oppnå overskudd etter tilskudd, og for det andre må investeringsprogrammet kunne realiseres med de midlene som blir til overs etter at denne forutsetningen er oppfylt. Flere forhold kan bidra til å rokke ved finansieringsforutsetningene: Investeringene kan bli dyrere enn planlagt, inntektene fra brukerbetalingen kan bli mindre enn planlagt, kollektivselskapenes kostnader kan bli høyere enn planlagt, eller statlige og kommunale bevilgninger kan utvikle seg annerledes enn planlagt.

Både i denne sammenhengen og i andre sammenhenger der brukerfinansiering er forutsatt som en del av tiltaket, er det naturlig å regne statlige og kommunale bevilgninger som en gitt størrelse. Det innebærer at underskuddet på offentlige budsjetter maksimalt kan være et gitt beløp  $F_0$ , altså  $F \leq F_0$  eller  $F - F_0 \leq 0$ . La  $F_B = F - F_0$  være underskuddet i bypakka eller det brukerfinansierte tiltaket etter at statlige og kommunale midler er mottatt. Kravet om at brukerfinansieringen skal dekke de kostnadene ved tiltaket som ikke dekkes av offentlige midler, kan altså skrives  $F_B \leq 0$ .

Operatørselskapene er av fire slag: kollektivselskaper, bomselskaper, parkerings-selskaper og OPS-selskaper. Bruker vi henholdsvis fotskrift K, B, P og O for å betegne overskudd, inntekter og kostnader for hver av dem, har vi åpenbart at  $P = P_K + P_B + P_P + P_O$ . Kravet om at kollektivselskapet ikke skal gå med underskudd etter tilskudd skriver vi  $P_K \geq 0$ .

De to finansieringsforutsetningene vi har omtalt er altså:

$$F_B \leq 0, P_K \geq 0 \quad (12)$$

I et slikt kontosystem som vi bygger nyttekostnadsanalysen på her, vil det framgå av nytteberegningene om disse to forutsetningene er innfridd.

Nå er det klart at vi alltid kan gjøre  $P_K \geq 0$  ved å øke overføringene fra det offentlige,  $T_K$ , tilstrekkelig. Vi står derfor overfor et valg: Skal vi behandle  $T_K$  som gitt eller som en variabel som kan brukes til å sikre overskudd for kollektivselskapene? På den ene sida er tilskudd til kollektivtrafikken et eget virkemiddel i bypakkene, med egne økonomiske rammer. På den andre sida er det enklest å forutsette at det planlagte kollektivtilbudet blir finansiert uansett, slik at vi ikke må gå ekstra planleggingsrunder med nedskjæring av kollektivtilbudet før vi kan si at  $P_K \geq 0$  er oppfylt.

Vårt valg vil være å anta at  $T_K - Y_K$  tilpasser seg slik at  $P_K = 0$ . Det betyr at kollektivtilbudet i praksis er det offentliges ansvar. Trolig kan vi også anta at bompengeselskapet og parkeringsselskapene kan regnes som en del av det offentlige. Vi eliminerer  $T - Y$  fra (8) og (9). Videre skjønner vi at inntektene fra drivstoffavgifter m.m.,  $R$ , ikke tilfaller prosjektet. Det gjør derimot inntektene  $R^+$  fra en eventuell lokal drivstoffavgift.

Når det offentlige har ansvaret for kollektivtransporten, har vi ikke bruk for å skille mellom offentlige og private investeringer. Om det ikke finns noe OPS-selskap, kan vi altså sette  $K = 0$ . Den gjenstående finansieringsbetingelsen for bypakka eller det brukerfinansierte prosjektet kan da skrives:

$$F_B = (I + D - R^+) + (C - J) - F_0 \leq 0 \quad (13)$$

Likning (13) er intuitivt riktig: Kostnaden til investering og drift av veg- og kollektivsystemet må være mindre enn lokale avgifter, billettinntekter, bominntekter, (offentlige) parkeringsinntekter og statlige og kommunale tilskudd.

Resten av det offentlige har i dette tilfellet underskuddet  $F_0 - R$ . Det kan argumenteres for at det bare er denne delen av det offentliges budsjett som skal belastes med skyggeprisen  $(1 + S)$ . Gitt at (13) er oppfylt, vil det jo bare være denne delen som påvirker skattleggingsbehovet. Hvis det er et akseptabelt argument, har det store konsekvenser for beregning av optimal bomavgift, som er svært følsom for skyggeprisen på offentlige midler.

### 3 Elementene i trafikantnytt, $B^n$

Et reisemarked er kjennetegnet ved et startsted, et bestemmelsessted, en reisemåte (bil, kollektivt), den perioden på dagen det reises i (rush, utenom rush), og reisehensikten. Av grunner som vi kommer tilbake til, vil vi ikke skille mellom reisehensikter på annen måte enn at vi regner med en annen miks av reisehensikter i rush enn utenom rush, og dermed ulik gjennomsnittlig tidsverdi i de to periodene. Indekserer vi startsted med  $i$ , bestemmelsessted med  $j$ , reisemåte med  $m$ , og periode på dagen med  $k$ , vil mengden av alle reisemarkeder  $W$  bestå av alle mulige vektorer  $w = (i, j, m, k)$ . Den generaliserte reisekostnaden i marked  $w$ ,  $g_w$ , består av tre deler: kjørekostnaden  $p_w$ , tidskostnaden  $\omega_k t_w$  og et direkte pengeutlegg  $b_w$ :

$$g_w = p_w + \omega_k t_w + b_w \quad (14)$$

I (14) er  $\omega_k$  tidsverdien og  $t$  reisetida. For kollektive reisemarkeder vil  $p_w$  være null, og for bilreisemarkeder som ikke krysser noe bomsnitt eller involverer parkeringskostnader vil  $b_w$  være null.

Vi skal merke oss tre viktige fakta om  $g_w$  i (14).

1.  $g_w$  representerer reisekostnadene etter at trafikanten har valgt rute, dersom hun er bilist, eller kollektivlinje, dersom hun er kollektivreisende. Vi forutsetter at trafikantene velger den ruta som gir minst  $g_w$ , gitt de framkommelighetsforhold som eksisterer når de andre trafikantene har valgt sine ruter og linjer. Vi forutsetter m.a.o. at det eksisterer en Nash-likevekt i transportsystemet – en såkalt brukerlikevekt.

Sjøl om  $g_w$  vil være entydig bestemt når trafikksystemet er i likevekt, vil ikke nødvendigvis oppdelingen på de tre delene være entydig. Når det er køer, kan nemlig likevekten innebære at det finnes mer enn en rute som har kostnadsminimal  $g_w$ . En av dem kan for eksempel være kort men langsom, mens den andre er lang men rask. Den resulterende tvetydigheten i (14) kan bare løses dersom vi splitter opp reisemarkedet på ruter som er i bruk og definerer (14) rutevis. La oss se bort fra det praktiske problemet med å finne alle ruter som er i bruk, og bare forutsette at indeksen  $w$  også skiller mellom ruter der hvor det finnes flere ruter i bruk i reisemarkedet  $(i, j, m, k)$ . Det er viktig for oss å beregne samfunnsøkonomisk lønnsomhet på en måte som gjør tvetydigheten i hvordan  $g_w$  er sammensatt, minst mulig.

2.  $g_w$  vil kunne inneholde kostnader som trafikanten ikke bryr seg om når hun treffer sitt valg av bestemmelsessted og reisemåte. Typisk vil det gjelde slike deler av  $p_w$  som olje- og dekkkostnader, vedlikeholdskostnader og kapitalkostnader for kjøretøyet, osv. Ved beregning av brukernytte (trafikantnytte) er det opplevde kostnader, altså kostnaden eksklusive de ”ikke opplevde” elementene, som er relevant. Besparelser i ”ikke

opplevde” eller ”ikke atferdsrelevante” kostnader vil bli å behandle på samme måte som eksterne kostnader i *nyttekostnadsanalysen*.<sup>1</sup>

3.  $g_w$  vil på den andre sida inneholde elementer som er kostnader for trafikantene, men inntekter for kollektivselskapene eller det offentlige. Dette gjelder bompenger, parkeringsavgifter ut over den marginale kostnaden ved drift av parkeringsplassen, samt skattene i drivstoffprisen. Ved beregning av brukernytte (trafikanntytte) er det opplevde kostnader, altså kostnaden inklusive disse overføringene, som er relevant.

La nå  $x_w$  være antall reiser i reisemarked  $w$ , og la toppskrift 0 og 1 på variablene  $g_w$  og  $x_w$  betegne henholdsvis variabelen med og uten tiltaket som vi skal beregne brukernytten av. La oss samtidig midlertidig sløyfe toppskriften  $n$  for året beregningen gjelder. I henhold til trapesformelen er da brukernytten  $B$ :

$$\begin{aligned}
 B &= \frac{1}{2} \sum_{w \in W} (g_w^0 - g_w^1) (x_w^0 + x_w^1) \\
 &= \sum_{w \in W} (g_w^0 - g_w^1) x_w^0 + \frac{1}{2} \sum_{w \in W} (g_w^0 - g_w^1) (x_w^1 - x_w^0) \\
 &= \frac{1}{2} \sum_{w \in W} (g_w^0 + g_w^1) (x_w^1 - x_w^0) + \sum_{w \in W} (g_w^0 x_w^0 - g_w^1 x_w^1)
 \end{aligned} \tag{15}$$

De tre linjene i formel (15) er tre alternative måter å skrive trapesformelen på. Første linje i (15) representerer trapesformelen på normal form. Andre linje skiller mellom nytte for eksisterende trafikanter (første leddsum) og nytten av nyskapt og overført trafikk (andre leddsum). Med ’eksisterende trafikanter’ mener vi de som ikke endrer atferd som følge av tiltaket, mens den nyskapte og overførte trafikken åpenbart er de som endrer atferd på grunn av tiltaket.

I den tredje linja i (15) er trapesformelen skrevet på en form som egner seg som utgangspunkt for korrigeringer for reelle kostnader som trafikantene likevel ikke har tatt hensyn til i sine beslutninger. Den siste leddsummen her er opplevde kostnader i førsituasjonen minus opplevde kostnader i situasjonen *med* tiltaket. Her er det altså bare å føye til kostnader i før- og ettersituasjonen som trafikantene ikke har tatt hensyn til, eller trekke fra opplevde kostnader som ikke er reelle ut fra et samfunnsøkonomisk synspunkt. Det er dette vi mener med korrigeringer i Minken og Samstad (2005).

Alle elementene i alle tre linjer, unntatt den siste leddsummen i tredje linje, involverer ledd der kostnader i den ene situasjonen skal multipliseres med volumer fra den andre situasjonen. Da er det umulig å beregne disse elementene bare ved å granske data om de to situasjonene hver for seg. Det er derimot mulig

---

<sup>1</sup> I Minken og Samstad (2005) er denne måten å behandle ikke opplevde kostnader på kalt korreksjoner. Både ikke opplevde kjørekostnader, eksterne kostnader, skatter og billett-kostnader blir der betraktet som en form for korreksjoner av brukernytten.

At ikke atferdsrelevante kostnader kan behandles som eksterne kostnader i nyttekostnadsanalysen, betyr ikke at de skal behandles slik når optimale avgifter skal bestemmes. De vil jo ikke være påført andre enn den reisende sjøl.

når det gjelder den andre summen i tredje linje, som består av totale opplevde kostnader uten tiltaket minus totale opplevde kostnader med tiltaket.

Summen av totale opplevde kostnader i en situasjon er – med to unntak! – den samme enten vi summerer over reisemarkeder, ruter eller lenker i nettverket. Å summere over lenkene er overlegent det enkleste, forutsatt at vi ikke skiller mellom ulike reisehensikter innen samme periode på dagen. De to unntakene gjelder kostnader som knytter seg til reisa uansett hvilke lenker eller ruter som brukes, dvs. parkeringskostnader og kollektivbilletten (i den grad den er uavhengig av hvilken linje en velger). Dermed blir det klart at brukernytten kan beregnes ved å legge sammen tre separate beregningsresultater:

1. Den første summen i tredje linje i (15), som kan beregnes ved å multiplisere en turmatrisedifferanse med en kostnadsmatrisedifferanse og ta summen av diagonalelementene,
2. De lenkebaserte kostnadene i den andre summen, og
3. Billettkostnadene og parkeringskostnadene, som kan beregnes på tilsvarende måte som den første summen i tredje linje i (15), men med andre data.

De direkte pengeutleggene,  $b_w$  i likning (14), består av bompenger, billettkostnad og parkeringskostnad. Bompengene fanger vi opp ved en lenkebasert beregning. Parkeringskostnadene i sone  $j$  i periode  $k$  på dagen kaller vi  $b_{jmk}$ , der  $m$  er med fordi parkeringskostnader bare er aktuelt for bil. Billettprisen ved en reise fra  $i$  til  $j$  med reisemåte  $m$  på tidspunkt  $k$  kaller vi  $f_w$ , der  $m$  er med fordi billetter bare er aktuelt ved kollektivreiser, og  $k$  er med fordi det kan være aktuelt å skille mellom kollektivprisen i rush og utenom rush.

Kall mengden av lenker i nettverket for reisemåte  $m$  for  $A_m^0$  uten tiltaket og  $A_m^1$  med tiltaket, og indeks lenkene i nettverket med  $a$ . Trafikkvolumet på lenke  $a \in A_m$  i tidsrom  $k$  er  $v_{ak}$ , og transporttida på lenke  $a \in A_m$  i tidsrom  $k$  er en funksjon av trafikkvolumet:  $t_{ak} = t_a(v_{ak})$ . De opplevde kjørekostnadene på lenke  $a \in A_m$  er  $p_a$ . Bompengesatsen på lenke  $a \in A_m$  er  $b_{ak}$ . Vi kan da beskrive den andre summen i tredje linje i (15) mer nøyaktig slik:

$$\begin{aligned}
& \sum_{w \in W} (g_w^0 x_w^0 - g_w^1 x_w^1) \\
&= \sum_{m,k} \omega_k \left( \sum_{a \in A_m^0} v_{ak}^0 t_a^0(v_{ak}^0) - \sum_{a \in A_m^1} v_{ak}^1 t_a^1(v_{ak}^1) \right) \\
&+ \sum_{m,k} \left( \sum_{a \in A_m^0} p_a^0 v_{ak}^0 - \sum_{a \in A_m^1} p_a^1 v_{ak}^1 \right) \\
&+ \sum_{m,k} \left( \sum_{a \in A_m^0} b_{ak}^0 v_{ak}^0 - \sum_{a \in A_m^1} b_{ak}^1 v_{ak}^1 \right) \\
&+ \sum_{w \in W} \delta_{jmk}^w (b_{jmk}^0 x_w^0 - b_{jmk}^1 x_w^1) \\
&+ \sum_{w \in W} (f_w^0 x_w^0 - f_w^1 x_w^1)
\end{aligned} \tag{16}$$

Andre linje i (16) er tidsbesparelsen ved tiltaket. Legg merke til at volume-delay-funksjonen  $t_a$  kan ha endret seg som følge av tiltaket. Tredje linje er kjørekostnadsbesparelsen. Fjerde linje er endringen i bompengekostnadene (= bompenginntekten for bomselskapet). Femte linje er parkeringskostnaden (hvorav en del er inntekt for parkeringsselskapet). Kroneckerdeltaket er 1 hvis  $jmk$  er en komponent i  $w$ , 0 ellers. Siste linje er billett-kostnaden, som naturligvis også er billettinntektene for kollektivselskapene.

Styrken ved å bruke den tredje linja som grunnlag for beregningene er at vi ved denne oppdelingen får ut de elementene som bare er overføringer, og som derfor må føres med motsatt fortegn andre steder i regnestykket, dvs. bompengbetalingen, billettbetalingen, parkeringsavgiftene og skatt på drivstoff.

En stor styrke ved opplegget i *andre* linje i (15) er at de enkelte delene av trafikantenes nytte kan analyseres. Vi ser at en endring i bompengene, for eksempel, kan dekomponeres i tidsgevinsten for de som fortsatt velger å kjøre, minus bompengene, og minus nyttetapet for de som prises av vegen (dvs. den andre summen i andre linje i (15)).

Svakhetene med vår brukernytteberegning, uansett hvilken linje i (15) vi bruker, er at vi må operere med en gjennomsnittlig tidsverdi for hver av periodene på dagen, og kanskje at vi ikke tar høyde for at kjørekostnadene kan være en funksjon av trafikken på lenkene.

### 3.1 Provenyet av drivstoffavgiftene

Når det gjelder skatten, må vi da dele den samlede kjørekostnaden i en ressurskostnadsdel og en skattedel. Skattedelen tas til inntekt for det offentlige etter en korleksjon som skal ta hensyn til at når forbrukerne bruker mer drivstoff, slik at staten får større inntekt av avgifter og moms på drivstoff, må de også kjøpe mindre andre varer, slik at staten taper momsinntekter på andre varer.

La  $R$  være det offentliges inntekt av skatt og avgift på drivstoff i år  $n$ ,  $q$  være drivstoffprisen i kroner pr. liter,  $z$  drivstoffeffektiviteten i kilometer pr. liter, og  $d$  det totale antall kjørte kilometer i år  $n$ . Drivstoffkostnadene i et alternativ er da  $dqz^{-1}$ . (Til sammenlikning: I tredje linje i (16) omfatter  $p_a^0$  og  $p_a^1$  implisitt literprisen multiplisert med lengden av lenke  $a$  i kilometer og delt på drivstoffeffektiviteten, og det er endringen fra nullalternativet som er beregnet.) Anta at literprisen  $q$  består av en ressurskostnad  $q_0$  pluss en skattedel  $q_s$ ,  $q = q_0 + q_s$ . Skattedelen av kjørekostnadene er da  $dq_s z^{-1}$ . La  $m$  være gjennomsnittsmoms på annet forbruk. Inntekten av skatt og avgift på drivstoff for det offentlige er da:

$$R = \frac{q_s - mq_0}{1+m} \cdot \frac{d}{z} \quad (17)$$

Denne formelen er lik formel (4.1) i Minken og Samstad (2005), men med litt annen notasjon og mer eksplisitt angivelse av antall liter forbrukt.

### 3.2 Eksterne kostnader, $E''$

Endelig vil de samlede kjørekostnadene gi et enkelt grunnlag for beregning av eksterne kostnader, dersom vi forenklet regner disse som en form for kilometer-avhengige kostnader. Det er bare å multiplisere kjørekostnadene med en faktor lik forholdet mellom vedkommende eksterne kostnad pr. kilometer og drivstoffkostnaden pr. kilometer. På denne måten behandler vi ulykkeskostnadene, støykostnadene, utslippskostnadene og kostnaden ved forbruket av ikke opplevde ressurser pr. kilometer, som olje og dekk, reparasjoner og service og kilometerdelen av bilenes kapitalkostnader.

## 4 Operatørnytte $P$ og det offentliges nytte $F$

Vi har allerede dekket inntektssida for kollektivselskapene, parkeringsselskapene og bomselskapet (hhv. linje 6, 5 og 4 i (16), med motsatt fortegn). Til sammen utgjør de  $J$ . Vi har også behandlet  $R$ , inntektsprovenyet fra drivstoffavgiftene. Gjenstår  $K + C$ , dvs. kollektivselskapenes kostnader, bomselskapenes innkrevingskostnader og parkeringsselskapenes kostnader, i den grad det sistnevnte er nødvendig. Gjenstår også det offentliges investerings- og driftskostnader,  $I$  og  $D$ .

### 4.1 Kollektivselskapenes kostnader

Som når det gjelder overskuddet  $P$ , kan også operatørens kostnader  $C$  deles i kostnadene til kollektivselskapene,  $C_K$ , og kostnadene til henholdsvis bomselskapet,  $C_B$ , parkeringsselskapet,  $C_P$ , og eventuelt OPS-selskapene,  $C_O$ . Vi behandler her  $C_K$ .

Kollektivtilbudet er oppdelt i et antall kollektivlinjer. Vi antar at hver linje bruker rullende materiell og mannskap som er dedikert til denne linja. Driften på linja



består av rundturer. Kollektivselskapets kostnader er summen av kostnadene på linjene (vi ser bort fra at felleskostnadene kan variere med tilbudet).

I Minken (2009), kapittel 2, er kostnadsfunksjonen for en linje utledet under enkle, men ikke urealistiske forutsetninger. Toperiodetilfellet er behandlet i kapittel 7 i samme dokument. Dette arbeidsdokumentet er lagt ved rapporten om samfunnsøkonomiske analyser i konseptvalgutredninger som vedlegg 5. Kollektivselskapets kostnader kan beregnes/programmeres med utgangspunkt i det dokumentet.

I henhold til Minken (2009) kan kostnaden pr. driftstime for en samling av  $N$  like kollektivlinjer skrives

$$C = C_1 + C_2 = \left[ \left( \frac{r_0}{h} + w\ell_0 \right) + g_0s \right] N \frac{af}{s} + \left[ \frac{r_1}{h} + g_1s \right] \varphi^{-1} \frac{m}{s} x \quad (18)$$

Her er  $a$  antall kilometer pr. rundtur,  $s$  gjennomsnittshastigheten pr. rundtur inklusive snutid og stopp,  $f$  frekvensen (avganger pr. time pr. linje),  $m$  gjennomsnittslengda pr. reise,  $x$  den samlede etterspørselen pr. time for alle  $N$  linjer,  $\varphi$  forholdstallet mellom gjennomsnittsbelegg og belegget over dimensjonerende snitt,  $h$  antall driftstimer pr. år,  $w$  timelønnskostnaden, og  $\ell_0$  mannskapsbehovet pr. buss/togsett.  $r = r_0 + r_1c$  er kapitalkostnaden pr. år for en buss/et togsett, oppdelt i en kostnad  $r_0$  for minste realistiske kapasitet pr. buss/togsett og et tillegg  $r_1$  for hver kapasitetsenhet (passasjerplass) ut over det. Den tilsvarende oppdelingen av de kilometeravhengige kostnadene er  $g = g_0 + g_1c$ .

Kapasiteten pr. avgang,  $c$ , framkommer ikke direkte av formelen. Det gjør heller ikke materiellbehovet. Imidlertid er materiellbehovet (antall busser eller togsett i drift) lik  $afs^{-1}$ , de kilometeravhengige kostnadene pr. år  $hafg$  og de tidsavhengige kostnadene pr. år  $(r + hw\ell_0)afs^{-1}$ . Utkjørt distanse pr. år er  $haf$ . Dette er indikatorer som det kan være hensiktsmessig å rapportere i et dataprogram. Utkjørt distanse og energidelen av de kilometeravhengige kostnadene gir også grunnlag for å beregne eksterne virkninger.

Når tilbudet varierer over døgnet, kan vi under visse vilkår beregne de årlige kostnadene separat for hver type av driftstime. Anta for eksempel at det er  $h$  driftstimer pr. år, fordelt med  $h_H$  høybelastningstimer og  $h_L$  lavbelastningstimer. Frekvensen, målt i antall avganger pr. time, er  $f_H$  i høybelastningsperioden og  $f_L$  i lavbelastningsperioden. Vi kan skille mellom tre tilfeller, alle behandlet i Minken (2009). Det første er når det finnes et grunntilbud som går hele driftsdøgnet, pluss ekstraavganger i rush. Det andre er når det er samme trekkenhet som brukes hele tida, men kapasiteten kan tilpasses ved at vogner koples av og på. Det tredje er når kapasiteten pr. avgang er lik både i høy- og lavbelastningsperioden. Tilfellene der man ikke kan beregne kostnadene i de to periodene separat, knytter seg til grunntilbud pluss ekstraavganger dersom en bestemt bibetingelse er bindende i optimum, og til situasjonen med samme kapasitet pr. avgang hele tida, dersom en annen bibetingelse er bindende.

Det er viktig at kapitalkostnader for rullende materiell bare, eller i det alt vesentlige, påløper i høybelastningsperioden, ettersom høybelastningsperioden er den som bestemmer kapasitetsbehovet. Det er også viktig at klargjøringskostnaden,

som påløper en gang pr. dag, utelukkende legges til kapitalkostnaden i den mest belastede perioden, ellers oppstår dobbeltføringer. Når det gjelder vedlikeholdet, fordeles kostnadene til det på kilometeravhengige og tidsavhengige kostnader. De kilometeravhengige vedlikeholdskostnadene er et tillegg til energikostnadene, som i Minken (2009) er betegnet med variabelen  $g$ . De tidsavhengige vedlikeholdskostnadene regnes som et tillegg til kapitalkostnadene, og påløper derfor i høybelastningsperioden.

Samlede kostnader for kollektivtransporten,  $C_K$ , framkommer ved å summere over alle linjer og driftsperioder. Hvis  $\mathbf{c}$  er en vektor med kapasitetene pr avgang i hver periode på hver linje og  $\mathbf{f}_H$  og  $\mathbf{f}_L$  er tilsvarende vektorer for frekvensene (men her oppdelt i høy- og lavtrafikkperioder), kan vi forenklet skrive  $C_K = C_K(\mathbf{c}, \mathbf{f}_H, \mathbf{f}_L)$ .

For hver enkelt kollektivlinje eller samling av likeartede linjer kan det være av interesse å kontrollere at tilbudet i den mest belastede timen ikke er for lite til å dekke etterspørselen. Dersom det skal unngås, må følgende ulikhet gjelde:

$$\varphi c f \geq \frac{m}{a} \frac{x}{N} \quad (19)$$

At (19) er oppfylt med likhet er et vilkår for effektiv tjenesteproduksjon. Vi skal ikke kjøre rundt med overflødig kapasitet. For å bruke (19) til kontroll må man ha et uavhengig anslag på kapasiteten pr. avgang,  $c$ . Formel (18) kan ikke brukes til kontroll, for den bygger på at (19) er oppfylt med likhet.

Likning (18) er likevel brukbar uansett om kollektivselskapet har tilpasset frekvens og flatedekning optimalt eller ikke. De etterfølgende kapitlene i Minken (2009) gir formler som kan brukes til å beregne kostnadene når selskapet tilpasser seg optimalt, eventuelt under bibetingelser og restriksjoner.

## 4.2 Det offentliges kostnader

Investeringskostnaden  $I$  er gitt i og med beskrivelsen av tiltaket. Verre da med vedlikeholdskostnadene  $D$ , men i mangel av en egen modell til å beregne dem, vil vi akseptere anslag som gjøres i EFFEKT e.l.

# 5 Det fullstendige samfunnsøkonomiske regnestykket

## 5.1 Årlig nytte i år $n$

Vi husker at årlig nytte i år  $n$  er  $V^n$ :

$$V^n = B^n + P^n - (1 + S)F^n + E^n \quad (20)$$

### Brukernytte

La antall timer i året av type  $k$  være  $h_k$ . Brukernytten, basert på tredje linje i likning (15), er da:

$$B^n = \sum_i \sum_k h_k B_{ik}^n$$

der

$$B_{1k}^n = \frac{1}{2} \sum_{ijm} (g_{ijmk}^{n0} + g_{ijmk}^{n1}) (x_{ijmk}^{n1} - x_{ijmk}^{n0})$$

$$B_{2k}^n = \sum_{ijm} (b_{ijmk}^{n0} x_{ijmk}^{n0} - b_{ijmk}^{n1} x_{ijmk}^{n1})$$

$$B_{3k}^n = \sum_{ijm} (f_{ijmk}^{n0} x_{ijmk}^{n0} - f_{ijmk}^{n1} x_{ijmk}^{n1})$$

$$B_{4k}^n = \sum_m \omega_k^n \left( \sum_{a \in A_m^{n0}} v_{ak}^{n0} t_a^{n0} (v_{ak}^{n0}) - \sum_{a \in A_m^{n1}} v_{ak}^{n1} t_a^{n1} (v_{ak}^{n1}) \right)$$

$$B_{5k}^n = \sum_m \left( \sum_{a \in A_m^{n0}} p_a^{n0} v_{ak}^{n0} - \sum_{a \in A_m^{n1}} p_a^{n1} v_{ak}^{n1} \right)$$

$$B_{6k}^n = \sum_m \left( \sum_{a \in A_m^{n0}} b_{ak}^{n0} v_{ak}^{n0} - \sum_{a \in A_m^{n1}} b_{ak}^{n1} v_{ak}^{n1} \right) \quad (21)$$

I (21) er  $B_1$  det eneste elementet som trenger en matrise med realiserte generaliserte kostnader etter rutevalget som input.  $B_2$  er parkeringskostnader og  $B_3$  er billett-kostnader (differansen mellom totale utlegg før og etter tiltaket). Disse to elementene er også basert på matriser.  $B_4$  er tidskostnader,  $B_5$  er kjørekostnader og  $B_6$  er bompengebetaling (også dette differansen mellom før og etter). Disse elementene er basert på lenkedata.

Det er hensiktsmessig for å kunne beregne inntektene for operatørselskapene og skatteinntektene for det offentlige at en kan rapportere de seks elementene hver for seg i tillegg til summen av dem, som jo er trafikantnyten. På den måten trengs det ikke noen egen kollektivnyttmodul, bortsett fra til kollektivselskapets kostnader.

Samtidig er det også av og til nyttig å beregne brukernytten på grunnlag av *andre* linje i likning (15). I det tilfellet er det den andre leddsummen (trekanten i trapeset) som krever en matriseberegning, mens den første leddsummen (nyttene for eksisterende trafikken) i prinsippet kan beregnes lenkebasert. Ved å bygge på andre linje kan en dekomponere den første leddsummen i spart tid, sparte kjørekostnader og sparte bomavgifter. Andre leddsum representerer nytten eller nytte-tapet til dem som velger å endre atferd. Ved analyse av køprising kan en slik inndeling i fire komponenter – tid, kjørekostnad, bomavgift/billett og tap for de som endrer atferd – være spesielt opplysende, som vist i Eliasson og Mattson (2006).

Hvis en gjør beregningen også av den første leddsummen i andre linje på grunnlag av tur- og kostnadsmatriser, vil en kunne gjøre enkle analyser av den geografiske fordelingsvirkningen av et tiltak. Vi anbefaler altså at både den andre og den tredje linja i (15) programmeres, og at programmering av den andre linja baseres helt ut på matriser.

### Nytte for det offentlige

I tråd med avsnitt 3.1 og likning (13) inkluderer vi operatørnyttene under det offentlige nytte. Operatørnyttene er summen av nytten for kollektivselskapet, bomselskapet og parkeringsselskapet (vi regner med ett selskap av hver type):

$$P^n = J^n - C^n = P_K^n + P_B^n + P_P^n \quad (22)$$

Anta det er  $Q$  kollektivlinjer indeksert med  $s$ . *Kollektivselskapets* nytte er

$$P_K^n = -\sum_k h_k B_{3k}^n - C_K^n(\mathbf{c}, \mathbf{f}_H, \mathbf{f}_L) \quad (23)$$

der  $B_{3k}^n$  er fra (21) og  $C_K^n(\mathbf{c}, \mathbf{f}_H, \mathbf{f}_L)$  er beskrevet i avsnitt 5.1. I tillegg til denne kostnaden ved å drive kollektivsystemet, kan det beregnes et påslag pr. år for reserver av rullende materiell. Størrelsen på reservene av en spesiell type materiell avhenger av hvor mange kjøretøy (busser, togsett) av denne typen som totalt er i bruk i systemet, se Minken og Samstad (2005).

*Bomselskapets* nytte er

$$P_B^n = -\sum_k h_k B_{6k}^n - C_B^n \quad (24)$$

der  $B_{6k}^n$  er fra (21) og  $C_B^n$  avhenger av antall bomplasseringer og antall filer med bompengeneinnkreving, pluss sjølsagt av innkrevningsteknologien.

*Parkeringselskapets* nytte er

$$P_P^n = -\sum_k h_k B_{2k}^n - C_P^n \quad (25)$$

der  $B_{2k}^n$  er fra (21) og  $C_P^n$  avhenger av antall parkeringsplasser i hver sone. Parkeringsplassene i sonene kan ha ulik driftskostnad.

Likning (22) til (25) er beregninger som gjøres for den enkelte kjøring av transportmodellen, og er altså ikke *differansen* mellom tiltaksalternativet og nullalternativet, slik som likning (21). Ved den endelige nytteberegningen av  $F^n$  må kostnaden i nullalternativet (toppskrift 0) trekkes fra kostnaden i tiltaksalternativet (toppskrift 1). I tråd med (13), der  $K$  settes lik 0, har vi da

$$F^n = \left[ (I^{n1} + D^{n1} - R^{n1}) - P^{n1} \right] - \left[ (I^{n0} + D^{n0} - R^{n0}) - P^{n0} \right] \quad (26)$$

der  $I^n$  og  $D^n$  er input til beregningene, og  $R^n$  følger av likning (17), der parametrene  $p_s, p_0, m$  og  $s$  kan være spesifikke for år  $n$ , og kanskje til og med for tiltaket, og det totale antall utkjørte kilometer,  $d$ , er en indikator som må tas ut av transportmodellkjøringen.

### Nytte for samfunnet for øvrig

I likhet med skatten  $R$  vil de eksterne kostnadene være proporsjonale med utkjørte kilometer  $d$  i alternativet, skal vi anta. Proporsjonalitetsfaktoren  $e$  er summen av ikke opplevde kjørekostnader pr. kilometer, ulykkeskostnaden pr. kilometer, støykostnaden pr. kilometer og utslippskostnaden pr. kilometer, og er input til

beregningene.  $e$  vil utvikle seg med teknologien og er derfor spesifikk for det enkelte år. Vi ignorerer annen nytte  $A$ , men føyer til restverdien  $Z$ , som bare er aktuell i det siste året. Det markerer vi med et delta som er 1 hvis  $n$  er det siste året, null ellers. Vi har:

$$E^n = E^{n1} - E^{n0} = e^{n1}d^{n1} - e^{n0}d^{n0} + \delta Z^n \quad (27)$$

## 5.2 Netto nytte

Hvis vi nå hadde beregninger for hvert år i analyseperioden, ville likning (5) og (6) vært tilstrekkelig til å beregne netto nytte over hele perioden. I praksis har vi bare beregninger for ett, to eller i høyden tre år, og må interpolere. Ved interpolasjonen er det aktuelt å ta hensyn til utviklingen i befolkningsmengde, inntekt, teknologi og utenfra gitt nasjonal skatte- og avgiftspolitik på en forenklet måte. Det lar seg ikke gi noen fast regel for dette – beregningsprogrammet må gi åpning for å definere hvordan de beregnede årene skal regnes sammen.

## 6 Finansieringsanalyse

Beregningsprogrammet må kunne presentere beregningen av  $F$ , dvs. summen av årlige neddiskonterte ”likning (26)”-resultater, som en separat indikator. Vi legger til grunn at det offentlige kan låne og plassere midler i et perfekt kapitalmarked til rente 4.5 %. Tiltaket er da finansiert hvis og bare hvis  $F_B \leq 0$ .

## 7 Tidsverdien og kjørekostnadene over tid

Vi veit at tidsverdien vokser med inntekten. Alle anslag tilsier at tidsverdien er en funksjon  $\omega_k = \omega_k(y)$  av gjennomsnittsinntekten i husholdene, og at elasticiteten av tidsverdien med hensyn på  $y$  er mellom  $\frac{1}{2}$  og 1. Vi antar forsøksvis at elasticiteten er  $\frac{2}{3}$ .

Det betyr at i om noen år vil tidsverdien ha vokst i henhold til denne formelen. Å se bort fra det vil bety å bryte med Finansdepartementets veileder i samfunnsøkonomiske analyser, som sier at det er forventningsverdier som skal anvendes.

På samme måte vil kjørekostnadene utvikle seg fra periode til periode. Det er ikke husholdningsinntektene som driver dette, men kjøretøyteknologien og avgiftene. Hvis antall kilometer pr. liter drivstoff øker, reduseres  $p_w$  tilsvarende. Hvis derimot bensin- og dieselavgifter øker, eller produksjonskostnaden øker, vil  $p_w$  øke. Samstad m.fl. (2005) gir grunnlag for å framskrive drivstoffeffektiviteten, men drivstoffkostnaden pr. liter må anslås på annet vis.

## 8 Rammeverket for nyttekostnadsanalyse av utforskende beregninger

Utforskende beregninger benytter seg bare av modellkjøringer for et enkelt år. Det vi da trenger, er bare avsnitt 6.1 pluss en regel for hvordan investeringen  $I^n$  og restverdien  $Z^n$  skal føres. Setter vi  $Z^n = 0$  og regner investeringens levetid til 40 år, kan vi bruke annuiteten over 40 år av investeringskostnaden  $I$  i alternativet som vårt anslag på  $I^n$ . Vi har:

$$I^n = I \frac{r}{1 - (1 + r)^{-40}} \quad (28)$$

Med  $r = 0.045$  er  $I^n$  lik  $0.054 * I$ .

### Litteraturliste

- Eliasson, J. and L.-G. Mattsson (2006) Equity effects of congestion pricing. Quantitative methodology and a case study for Stockholm. *Transportation Research A* **40**, 602-620.
- Minken, H. (2009) Kollektivselskapets kostnader, optimalt kollektivtilbud og verdien av forbedringer. Arbeidsdokument ØL/xxxx/2009, TØI.
- Minken, H. og H. Samstad (2005) Nyttekostnadsanalyser i samferdselssektoren: Rammeverk for beregningene. TØI-rapport 798/2005.
- Samstad, H., M. Killi og R. Hagman (2005) Nyttekostnadsanalyse i samferdselssektoren: Parametre, enhetspriser og indekser. TØI-rapport 797/2005.

# Vedlegg 5

Arbeidsdokument av 30.03.2009  
3460 Samfunnsøkonomiske analyser i KVU  
Cand Oecon Harald Minken

ØL/2157/2009

## Kollektivselskapets kostnader, optimalt kollektivtilbud og verdien av forbedringer

### Innhold

<b>1 Innledning</b> .....	<b>2</b>
<b>2 En modell av kollektivselskapets kostnader</b> .....	<b>4</b>
2.1 Rundturtid, marsjart og tid ombord.....	5
2.2 Tidsavhengige og kilometeravhengige kostnader .....	5
2.3 Årlig kostnad for et sett av likeartede linjer .....	6
2.4 Nærmere om flatedekning .....	8
<b>3 En familie av tilbudsmodeller</b> .....	<b>10</b>
3.1 Profittmaksimering.....	10
3.2 Samfunnsøkonomi.....	11
3.3 Sammenlikning av profittmaksimering og maksimering av samfunnsnytte .....	12
3.4 Optimering med et fast tilskuddsbeløp.....	12
3.5 Stordriftsfordeler .....	13
3.6 $f$ eller $N$ er gitt.....	13
<b>4 Tilbudsmodeller med kapasitetsbeskrankninger</b> .....	<b>14</b>
4.1 Vilkår som må gjelde for at den enkelte løsningskandidaten skal eksistere.....	16
4.2 $N = 1$ .....	17
4.3 Nærmere om løsningen .....	19
<b>5 Nytten av investeringer som kan øke frekvens og kapasitet pr. avgang</b> .....	<b>21</b>
5.1 Både $N$ og $f$ kan velges .....	21
5.2 $N = 1$ .....	22
<b>6 Nytten av etterspørselsskift og framkommelighetstiltak</b> .....	<b>24</b>
6.1 Framgangsmåte .....	24
6.2 Generelle sammenhenger .....	24
6.3 Tilbudsendringene i ulike tilfeller .....	26
6.4 Virkninger på tilskuddsbehovet.....	30
6.5 Velferdsvirkningen.....	31
<b>7 To perioder</b> .....	<b>33</b>
7.1 Grunntilbud med ekstraavganger i rush .....	33
7.2 Togtilfellet: Tilpasning av kapasitet pr. avgang er mulig.....	40
7.3 Samme kapasitet pr. avgang i begge perioder .....	42
7.4 Samme pris i begge perioder .....	44
<b>8 Konklusjon og drøfting av anvendelser</b> .....	<b>46</b>
Litteraturliste .....	48

# 1 Innledning<sup>1</sup>

Dette arbeidsdokumentet har flere hensikter. For det første vil vi lansere en enkel analytisk modell som kan danne utgangspunkt for å studere eller beregne kostnadene til et kollektivselskap. Den fanger opp de viktigste aspektene som påvirker kostnadene på en kollektivlinje eller en samling av likeartede linjer. Men ikke alle. Blant de utelatte aspektene er gjennomsnittsavstanden mellom holdeplassene og tida det tar å stoppe ved en holdeplass. Driftsforstyrrelser, vedlikehold og disse faktorenes konsekvenser for behovet for reservemateriell behandles heller ikke.

For det andre behandler vi kollektivselskapets beste tilpasning av pris, frekvens og flatedekning, både når bedriftsøkonomisk overskudd og samfunnsøkonomi er målet. Det som skiller de to tilfellene er prissettingen. Med samme prissetting vil selskapet by fram samme tilbud, uansett om bedriftsøkonomi eller samfunnsøkonomi er målet.

For det tredje gjennomfører vi nyttekostnadsanalyser av følgende endringer: Tiltak som endrer maksimalt tillatt frekvens, tiltak som muliggjør større kapasitet pr. avgang, framkommelighetstiltak og eksogene skift i etterspørselen (for eksempel forårsaket av innføring av kjøprising på vegen). Hensikten er å få fram hvilke direkte og indirekte virkninger som gjør seg gjeldende i slike tilfeller. Konkrete analyser vil måtte ta hensyn til fordelingen av etterspørselen og tilbudet i tid og rom på en ganske annen måte enn det vi gjør i vår modell, som behandler geografien på en abstrakt og gjennomsnittlig måte. Våre nyttekostnadsanalyser vil likevel gi en pekepinn om virkningene på et konseptuelt nivå, og de har den fordel framfor tester med store modeller at de inkluderer kollektivselskapets endringer av tilbudet når vilkårene endrer seg.

Kostnadene ved å gi et ulikt tilbud i og utenom rush og tilpasningen i toperiodetilfellet tas opp i siste kapittel.

## 1.1 Effekter av at kollektivselskapet endrer tilpasning

Når vi tester et tiltak med en transportmodell, må vi først kode et bestemt kollektivtilbud i modellen. Dvs. at vi må legge inn kollektivlinjene og driftsopplegget på hver av linjene. Dette er altså data som hentes inn utenfra og ikke endrer seg, uansett hva som skjer med etterspørselen og framkommelighetsforholdene som følge av tiltaket.

Anta at tiltaket består i en økning av avgiftene på vegsida, med mindre kø på vegene og økt etterspørsel etter kollektivreiser til følge. I virkeligheten vil det ofte kunne gi grunnlag for at kollektivselskapet endrer tilbudet. De kan endre antall avganger, øke kapasiteten pr. avgang (lengre tog, større busser), tilpasse ruteplanene til den økte framkommeligheten, eller opprette nye linjer. Vi må anta at i den grad dette er lønnsomt for dem, vil de faktisk også gjøre det. Dermed oppstår følgende effekter, som bare delvis eller slett ikke er med i nytteberegningen basert på transportmodellen:

1. Kollektivtrafikantenes generaliserte kostnader endrer seg
2. Kollektivselskapenes inntekter og kostnader endrer seg

---

<sup>1</sup> Dette arbeidsdokumentet er en redigert og utvidet utgave av Arbeidsdokument ØL/2100/2008.



### 3. Behovet for tilskudd fra det offentlige endrer seg

*Ang. punkt 1:* I den store transportmodellen vil kollektivtrafikanternes *generaliserte kostnader* ikke endre seg, og følgelig blir nytten for kollektivtrafikanterne lik null. I virkeligheten vil kollektivselskapet endre sitt tilbud når flere velger kollektivt på grunn av tiltaket, og dermed vil generaliserte kostnader også endre seg. Vi kan kalle det en utelatt andreordenseffekt av prisøkningen på vegsida.

*Ang. punkt 2:* Kollektivselskapets *inntekter* vil også øke, fordi flere vil velge kollektivt. Denne førsteordenseffekten er *med* i nytteberegningen. Det som *ikke* er med, er andreordenseffekten når kollektivselskapet bruker de økte inntektene til forbedringer i tilbudet. Så lenge tilbudet er fastlagt på forhånd i modellen, vil kollektivselskapets *kostnader* også være uendret i nytteberegningen.

*Ang. punkt 3:* Førsteordenseffekten av tiltaket på kollektivselskapets inntekter vil naturligvis gi endringer i tilskuddsbehovet. Dette er *med* i nytteberegningene med transportmodellen. Det som *ikke* er med når billettinntektene øker på grunn av tiltaket, er andreordensvirkningene på tilskuddsbehovet. Når det gjelder kollektivselskapets kostnader, er verken første- eller andreordensvirkningene av kostnadsendringer på tilskuddsbehovet med i nytteberegningen.

Small (2004) viser at andreordensvirkningene av vegprising kan være betydelige. Det vil si at vegprising setter i gang en positiv, sjølfosterkende prosess på kollektivsida. Hovedelementet i denne prosessen er at når biltrafikken reduseres, vil framkommeligheten for bussene bli bedre, hvilket gir kortere reisetid for trafikantene og lavere kostnader for kollektivselskapet. Et annet element er den økte etterspørselen etter kollektivreiser, som skaper grunnlag for hyppigere avganger og bedre flatedekning (nye busslinjer). Det gir lavere reisekostnader for alle kollektivtrafikanter. Kollektivselskapet får økte inntekter, men også økte kostnader.

Den familien av tilbudsmodeller som vi utvikler i dette arbeidsdokumentet, er beslektet med Smalls. Vi viser hvordan det gir grunnlag for å beregne annenordenseffekter som ikke er med i vanlige transportmodeller, og antyder hvordan tilbudsmodellen vår kan integreres i et vanlig transportmodellsystem.

Åpenbart vil den samfunnsøkonomiske lønnsomheten av noen typer av kollektivtiltak kunne vise seg å være større enn hittil beregnet dersom annenordenseffektene inkluderes, sjøl om det i praksis må gjøres på en grov og forenklet måte. Arbeidsdokumentet antyder forøvrig også andre kilder til at kollektivprosjekter ofte kommer så dårlig ut i slike beregninger: Det nytter ikke å eliminere en kapasitetsskranke hvis kapasiteten ikke er den begrensende faktoren, eller hvis beste tilpasning begrenses av andre skranker. Resultatet kan også bli tilfeldig hvis verken nåværende driftsopplegg og prissetting eller det nye opplegget som foreslås, er optimalt. Da vil det finnes billigere (eller helt kostnadsfrie) muligheter til forbedring.

## 2 En modell av kollektivselskapets kostnader

Vi tar utgangspunkt i en samling av noenlunde likeartede kollektivlinjer. Det kan for eksempel være alle t-banelinjer eller alle de viktigste busslinjene i Oslo. De viktigste variablene og parametrene er definert i tabell 1.

*Tabell 1 Variable og parametere*

$a$	lengda av en rundtur på en gjennomsnittlig linje (km)
$c$	kapasitet pr. avgang (passasjerplasser)
$f$	frekvens (antall avganger pr. time) på en gjennomsnittlig linje
$g$	kilometeravhengig kostnad (kr/km)
$G$	generalisert reisekostnad (kr)
$h$	antall driftstimer pr. år på en gjennomsnittlig linje
$k$	behovet for kjøretøyer (busser, togsett) på en gjennomsnittlig linje
$\ell$	bemanning pr. kjøretøy
$m$	gjennomsnittlig reiselengde (km)
$N$	antall linjer
$p$	billettpris (kr)
$r$	kapitalkostnad pr. kjøretøy inklusive påslag for reservemateriell (kr/år)
$s$	kjøretøyets gjennomsnittsfart inklusive reguleringstid (km/time)
$t$	gjennomsnittlig rundturtid (timer)
$u$	reguleringstid (timer)
$v$	marsjfart (eksklusive reguleringstid) (km/time)
$w$	lønnskostnad pr. driftstime inklusive påslag for uproduktiv tid (kr/time)
$x$	etterspørsel pr. time, alle linjer
$\varepsilon$	skiftparameter i etterspørselen
$\omega$	tidsverdi (kr/time)
$\varphi$	gjennomsnittsbelegg (en parameter mellom 0 og 1 som uttrykker hvordan etterspørselen er fordelt langsmed linjene)

## 2.1 Rundturtid, marsjfart og tid ombord

Rundturtida på en linje er i gjennomsnitt  $t = av^{-1} + u$ , der  $a$  er antall kilometer på en gjennomsnittlig linje,  $v$  er marsjfart og  $u$  er reguleringstid.<sup>2</sup> Gjennomsnittsfarta inklusive reguleringstida kaller vi  $s$ :

$$(1) \quad s = \frac{a}{t} = \frac{a}{\frac{a}{v} + u} = \frac{av}{a + uv}$$

Gjennomsnittlig tid ombord for en kollektivreise vil være  $mv^{-1}$ .

## 2.2 Tidsavhengige og kilometeravhengige kostnader

Vi ser bort fra at det finnes en høytrafikk- og en lavtrafikkperiode, og holder oss til en gjennomsnittlig time.<sup>3</sup>

Kollektivtilbudet er oppdelt i et antall kollektivlinjer. Vi antar at hver linje bruker rullende materiell og mannskap som er dedikert til denne linja. Driften på linja består av et antall avganger  $f$  pr. time. Avgangene er rundturer, slik at etter utløpet av rundturtida er kjøretøyet tilbake ved utgangspunktet og kan ta neste tur. Med et kjøretøy mener vi en buss eller en trikk eller et togsett, slik at det rullende materiellet som brukes til en avgang er ett og bare ett kjøretøy. Det er da enkelt å vise at om antall kjøretøyer som trengs til drifta er  $k$ , er  $k \geq tf$ . Likheter er mulig om  $k$  ikke behøver å være et helt tall, eller om reguleringstida kan tilpasses for å oppnå likhet sjøl om  $k$  er heltallig. Vi antar likhet, altså  $k = tf$ .

Kapasiteten pr. avgang (eller pr. kjøretøy), målt i maksimalt antall plasser for passasjerene, kaller vi  $c$ . Den årlige kapitalkostnaden  $r$  pr. kjøretøy i perioden vi ser på, er en funksjon av  $c$ . Kilometerkostnaden  $g$  er også en funksjon av  $c$ , mens derimot bemanningen pr. kjøretøy,  $\lambda$ , her antas å være uavhengig av kjøretøykapasiteten. (For de fleste driftsarter er det en sjåfør eller togfører, og ingen andre.) Med ganske godt belegg i empiri mener vi å kunne anta lineære sammenhenger:

$$(2) \quad \begin{aligned} r &= r_0 + r_1 c \\ \ell &= \ell_0 \\ g &= g_0 + g_1 c \end{aligned}$$

---

<sup>2</sup> Marsjfarta  $v$  kan i noen sammenhenger, der bussene går i vegen for hverandre eller togene må vente på hverandre, være en funksjon av frekvensen  $f$ :  $v = v(f; v_0, \alpha)$ , der  $v_0$  er farta når bussene ikke går i vegen for hverandre og  $\alpha$  er en skiftparameter som for eksempel kan representere forbedringer av signalsystemet for skinnegående trafikk. I dette notatet antar vi imidlertid at  $v$  er en gitt parameter.

Marsjfarta, slik vi har definert den, er også en funksjon av antall stoppesteder pr. kilometer. Antall stoppesteder kunne vært en handlingsvariabel i modellen, men det har vi ikke tatt høyde for her.

<sup>3</sup> I den grad kostnader kan allokere entydig til enten høy- eller lavtrafikkperioden, kan en bygge separate modeller for høy- og lavtrafikken. Se kapittel 7.

La lønnskostnaden pr. driftstime for et medlem av bemanningen være  $w$ , og anta at det er  $h$  driftstimer i året. Den årlige tidskostnaden på linja er da  $(r + hw\ell)k$ , og den årlige kilometerkostnaden er  $hksg = hafg$ .

### 2.3 Årlig kostnad for et sett av likeartede linjer

Anta det finns  $N$  likeartede linjer. Kollektivselskapets årlige kostnader  $C_{\text{år}}$  er summen av kostnadene på linjene. Vi bruker (1), (2) og  $k = tf$  og får:

$$\begin{aligned}
 C_{\text{år}} &= N \{ (r + hw\ell)k + hafg \} \\
 &= N \{ (r_0 + hw\ell_0)t + r_1ct + hag_0 + hag_1c \} f \\
 (3) \quad &= N \left\{ \frac{(r_0 + hw\ell_0)t + hag_0}{a} + \frac{r_1t + hag_1}{a} c \right\} af \\
 &= N \left\{ [(r_0 + hw\ell_0)s^{-1} + hg_0] + [r_1s^{-1} + hg_1] c \right\} af \\
 &= N \left\{ [(r_0 + hw\ell_0) + hg_0s] + [r_1 + hg_1s] c \right\} \frac{af}{s}
 \end{aligned}$$

Det er lett å sjekke at  $ks = af$ , så  $C_{\text{år}}$  er proporsjonal med antall kjøretøyer i bruk,  $Naf/s$ .

#### *Kollektivselskapets handlingsrom*

I det kollektivsystemet av likeartede linjer som vi ser på, er mulige handlingsvariable  $c$ ,  $f$ ,  $N$  og billettprisen  $p$ . Handlingsvariablene kan ligge i hendene på myndighetene eller kollektivselskapet. Nedenfor antar vi først at de ligger i hendene på kollektivselskapet, som maksimerer profitt. Dernest antar vi at de ligger i hendene på myndighetene, og at myndighetene ønsker å maksimere samfunnsøkonomisk lønnsomhet.

Men uansett hvem som bestemmer virkemiddelbruken, finns det visse skranker som en blir nødt til å ta hensyn til. Det kan eksistere en øvre og en nedre grense for kjøretøyenes kapasitet,  $c_{\min} \leq c \leq c_{\max}$ . Siden vi her er interessert i kollektivtrafikken i store byer, kan vi gå ut fra at det aldri er aktuelt å bruke de aller minste kjøretøyene, så bare den øvre grensa kan være et problem. (For eksempel vil mer enn 6 vogner på t-banen kreve utvidelse av alle perrongene.) Videre kan det finnes en øvre grense for hvor stor frekvens en kan velge,  $f \leq \bar{f}$ . (For eksempel er det ikke mulig med flere enn 28 avganger pr. time gjennom t-banetunnelen dersom en skal bygge på kvartersruter, se Minken og Dahl (2007)).<sup>4</sup>

Vi må også ta hensyn til at passasjerer ikke skal måtte bli stående igjen på perrongen eller holdeplassen, sjøl ikke på den strekningen hvor kjøretøyet er som fulllest. Hvor stor kapasitet dette krever, avhenger av hvordan etterspørselen er fordelt langsmed linjene. La  $\varphi$  være en parameter mellom 0 og 1 som uttrykker dette. Når  $\varphi = 1$ , er

<sup>4</sup> Det er altså i høyden én linje som kan få doble avganger, med mindre en bygger ny tunnel, bygger Lørensvingen eller bruker Ensjøforbindelsen. Ved 12-minuttersruter på alle linjer kan en imidlertid oppnå 30 avganger pr. time.

etterspørselen helt jamt fordelt, og jo mer ujamnt den fordeler seg, jo mindre er  $\varphi$ . Videre vil den nødvendige kapasiteten bli større jo lenger reisene er, målt i forhold til rundturdistanse  $a$ . Vi har antatt at gjennomsnittlig reiselengde er  $m$ . Antar vi at etterspørselen i systemet som helhet er  $x$ , vil vilkåret for at alle kommer med på den avgangen de ønsker, være

$$\varphi cf \geq \frac{m}{a} \frac{x}{N}$$

Det kan vises at ulikhetstegnet i dette vilkåret ikke kan gi samfunnsøkonomisk beste løsning med mindre det finnes en bindende minste kjøretøykapasitet. Det samme gjelder hvis selskapet maksimerer profitt. Vi kan derfor anta likhetstegn:

$$(4) \quad c = \varphi^{-1} \frac{m}{a} \frac{x}{Nf}$$

For mange formål er det greiere å operere med kostnader og inntekter pr. år enn pr. time. Det er blant annet lettere å bruke regnskapsdata. På den andre sida er det hensiktsmessig å bygge på kostnader pr. time dersom vi trenger å skille mellom driftstilbudet i ulike perioder. Så lenge vi veit hvor mange driftstimer det er i et år, dvs. når vi kjenner  $h$ , spiller det ingen rolle for noen av regnestykkene våre om vi gjør det ene eller det andre, bare vi er konsistente. Fra nå av regner vi kostnader og inntekter pr. time. Vi definerer kostnaden pr. time,  $C$ , som  $C_{\text{år}}/h$ . Setter vi (4) inn i (3), bruker  $C = C_{\text{år}}/h$  og ordner, har vi:

$$(5) \quad C = C_1 + C_2 = \left[ \left( \frac{r_0}{h} + w\ell_0 \right) + g_0 s \right] N \frac{af}{s} + \left[ \frac{r_1}{h} + g_1 s \right] \varphi^{-1} \frac{m}{s} x$$

Bortsett fra terminologi er formuleringen av kollektivselskapets kostnader i likning (5) identisk med formuleringen hos Small med to unntak. Det første er beleggsprosenten  $\varphi$ , som mangler hos Small. Når den er mindre enn 1, gir den større vekt til den etterspørselsavhengige delen av kostnadene,  $C_2$ . Det andre unntaket gjelder innholdet i de to klammeparentesene. I stedet for klammeparentesene har Small to konstanter, mens vi har spesifisert kapitalkostnader, lønnskostnader og kilometeravhengige kostnader. Det som faktisk gjør en stor forskjell, er at spesifikasjonene er funksjoner av  $s$ .

Vi kaller den første klammeparentesen  $A(s)$  og den andre  $B(s)$ . Videre tar vi hensyn til at etterspørselen er en avtakende funksjon av generaliserte kostnader  $G$ :

$$(6) \quad x = x(G) = \varepsilon D(G), \quad \varepsilon > 0, D' \leq 0, \lim_{G \rightarrow \infty} D = 0$$

Her er  $\varepsilon$  en skiftparameter som i utgangspunktet er 1, men kan få et tillegg eller fratrekk som følge av vegprising, befolkningsendring e.l. Nå kan vi skrive

$$(7) \quad C = C_1 + C_2 = A(s) N \frac{af}{s} + B(s) \varphi^{-1} \frac{m}{s} x(G)$$

Vi antar videre at generaliserte reisekostnader er en lineær funksjon av billettprisen og tidskostnaden, og at tidskostnaden består av tid om bord, gangtid og skjult ventetid:

$$G = p + E(s) + Vf^{-1} + LN^{-1}$$

der

$$(8) \quad E(s) = \omega \frac{m}{a} \left( \frac{a}{s} - u \right)$$

$$V = \frac{1}{2} \omega r_v$$

$$L = \omega r_g d$$

Parentesen i uttrykket for  $E(s)$  er tida kjøretøyet bruker på en rundtur, reguleringstida ikke medregnet. Når den multipliseres med den gjennomsnittlige reiselengda som andel av rundturlengda, får vi tida om bord for en gjennomsnittstreise. Vi antar at frekvensen er såpass høy at folk ankommer tilfeldig til holdeplassen. Ventetida på holdeplass er da halvparten av tida mellom avgangene.  $r_v$  og  $r_g$  er henholdsvis vektene for ventetid og gangtid (se SVV 2006), og  $d$  er bestemt ved at  $d/N$  er den gjennomsnittlige gangtida til holdeplass i utgangspunktet.

Forutsetningen om at alle har samme tidsverdi slik at billett-kostnaden og tidskostnadene kan adderes til en generalisert kostnad, er urealistisk men vanlig.

## 2.4 Nærmere om flatedekning

God flatedekning betyr at gangavstanden fra der hvor reisa starter til holdeplass eller stoppested, og fra holdeplass til der hvor reisa ender, er kort. Vi antar at den er omvendt proporsjonal med antall linjer. Det er denne antakelsen som ligger bak ønsket om å bruke antall linjer  $N$  som en handlingsvariabel. Men det behøver ikke alltid være slik. For det første vil det kunne finnes kollektivlinjer av et annet slag i kollektivsystemet, slik at gangavstanden til slike andre linjer er vel så relevant som gangavstanden til en av de  $N$  linjene i vår modell. For det andre kan nye linjer legges slik geografisk at de påvirker gangavstanden lite for de fleste eksisterende kollektivpassasjerer. I begge disse tilfellene er det best å ikke anta at  $N$  er en handlingsvariabel, men la modellen gjelde for en enkelt linje, altså  $N = 1$ .

For det tredje er det ikke bare antall linjer, men også avstanden mellom stoppestedene som bestemmer gangavstanden. Men avstanden mellom stoppestedene påvirker også marsjfarta negativt, slik vi har definert den. Dette kunne også ha vært en handlingsvariabel i modellen, men vi har valgt å utelate det her. Den delen av gangavstanden som skyldes at folk bor mellom stasjonene, er da er fast kostnad som vi kan se bort fra. Bare den korteste avstanden hjemmefra til *linja* teller med.

Noen stiliserte eksempler på hvordan  $N$  påvirker gangavstanden:

1. En rektangulær by der linjene ligger parallelt og vannrett med like stor avstand og etterspørselen oppstår jamt langs loddrette linjer gjennom stasjonene. Ingen gangtid på bestemmelsesstedet. Bredden av byen er  $b$  og lengda  $\frac{1}{2}a$ : Gjennomsnittlig gangavstand er da  $\frac{1}{4} b/N$ , dvs.  $d = \frac{1}{4} b$ . Siden vi ignorerer avstanden langs linja til stasjonen, gjelder dette også om folk bor jamt spredt over hele byen.

2. En sirkelformet by der linjene går radiallyt til sentrum og etterspørselen er jamt fordelt over hele byen. Byen har radius  $b$ . Avstanden mellom stoppestedene er  $d_s$ . De som bor i avstand  $r$  fra sentrum og skal ta bussen, går langs sirkelbuen i avstand  $r$  til de kommer til en kollektivlinje, deretter oppover eller nedover linja til en stasjon. Denne siste biten av gangavstanden ser vi bort fra. Gjennomsnittlig gangavstand er da  $\frac{1}{4}\pi b/N$ , dvs.  $d = \frac{1}{4}\pi b$ .
3. Vi tenker oss at rundt hver stasjon er det et influensområde av form som en regulær sekskant. All etterspørsel kommer fra disse influensområdene. Når  $N$  er liten, er det store områder i byen som har så lange gangavstander at kollektivtransport anses som uaktuelt. I dette tilfellet påvirkes ikke gangavstanden av at det blir flere linjer. Når  $N$  er stor nok, dekker de sekskantede områdene hele byen. I sentrum av hver sekskant er det en stasjon. Vi må nå anta at når  $N$  øker, reduseres samtidig avstanden mellom stasjonene (ellers vil våre sekskanter ikke lenger bli regulære). Vi antar også at byen er kvadratisk med sidekant  $b$  og at det finns like mange "horisontale" som vertikale" linjer, altså  $\frac{1}{2}N$  linjer av hvert slag. Avstanden mellom linjene (som også er avstanden mellom stasjonene) kan vises å være  $r\sqrt{3}$ , der  $r$  er radien i sirkelen som omslutter sekskanten.  $r$  er også gangavstanden til de som har lengst veg til stasjonen. Hvis sidekanten på byen,  $b$ , gir plass til  $\frac{1}{2}N$  linjer, hver med bredde  $r\sqrt{3}$ , får vi at  $r = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{b}{N}$ .

Alle i sekskanten går raskeste veg direkte til stasjonen. Det kan da vises at

$$\text{gjennomsnittlig gangavstand er } \frac{1}{4} \left( 1 + \frac{1}{2}\sqrt{3} \right) r = \frac{2 + \sqrt{3}}{4\sqrt{3}} \cdot \frac{b}{N}.$$

$$\text{I dette tilfellet er altså } d = \frac{2 + \sqrt{3}}{4\sqrt{3}} \cdot b.$$

De tre eksemplene viser at i en by med dårlig kollektivtilbud vil gangavstanden ikke påvirkes nevneverdig av nye linjer, som i alle tilfeller blir liggende for langt fra hverandre til å utgjøre noe alternativ for de som sogner til en bestemt stasjon. I slike tilfeller gjør vi best i å anta  $N = 1$ . De viser også at når kollektivtilbudet er så godt at det er gangavstand mellom linjene og stasjonene, er det slett ikke noen urealistisk antakelse at gangavstanden er omvendt proporsjonal med antall linjer. De som mener å gjenkjenne sin egen by i et av eksemplene, kan kanskje gjøre antakelser om  $d$  i samsvar med det, men for øvrig gjør man nok best i å estimere  $d$  på grunnlag av observerte gangtider i nåsituasjonen.

### 3 En familie av tilbudsmoeller

En tilbudsmoell må bygge på en forutsetning om hvordan kollektivselskapet tilpasser seg. To typer forutsetninger er de vanligste, profittmaksimering og maksimering av samfunnsøkonomisk overskudd (velferd).

#### 3.1 Profittmaksimering

Profitten er  $\Pi = px - C$ , så profittmaksimeringsproblemet er

$$(9) \quad \begin{aligned} \max_{G,p,f,N} \Pi &= \left( p - B(s) \varphi^{-1} \frac{m}{s} \right) x(G) - A(s) \frac{a}{s} N f \\ \text{gitt} \\ p + E(s) + Vf^{-1} + LN^{-1} &= G \quad (\mu) \end{aligned}$$

Førsteordensbetingelsene for maksimum er:

$$(10) \quad \frac{\partial L}{\partial G} = \left( p - B(s) \varphi^{-1} \frac{m}{s} \right) \frac{\partial x}{\partial G} + \mu = 0$$

$$(11) \quad \frac{\partial L}{\partial p} = x - \mu = 0$$

$$(12) \quad \frac{\partial L}{\partial f} = -A(s) \frac{a}{s} N + \mu Vf^{-2} = 0$$

$$(13) \quad \frac{\partial L}{\partial N} = -A(s) \frac{a}{s} f + \mu LN^{-2} = 0$$

Av (11) får vi  $\mu = x$ . Med denne verdien innsatt kan (10) skrives

$$(14) \quad \frac{p - B(s) \varphi^{-1} \frac{m}{s}}{p} = - \frac{1}{El_p x}$$

Likning (14) kan sies å være regelen for hvordan et profittmaksimerende kollektivselskap skal sette prisen. Denne regelen er identisk med den klassiske formelen for monopolprising, som sier at forholdet mellom grenseprofitten og prisen skal være omvendt proporsjonalt med tallverdien av priselastisiteten. Det framgår av formelen at i tilpasningspunktet er priselastisiteten mindre enn  $-1$ . Hvis den ikke er det, driver selskapet ikke profittmaksimering. Det vil nemlig alltid ha en viss markedsrett.

Fra (12) og (13) kan vi beregne optimal frekvens og flatedekning som funksjoner av  $x$ :

$$(15) \quad \begin{aligned} f &= \left( A(s) \frac{a}{s} \right)^{-\frac{1}{3}} V^{\frac{2}{3}} L^{-\frac{1}{3}} x^{\frac{1}{3}} \\ N &= \left( A(s) \frac{a}{s} \right)^{-\frac{1}{3}} V^{-\frac{1}{3}} L^{\frac{2}{3}} x^{\frac{1}{3}} \end{aligned}$$



Likningene (14) og (15) er ikke en eksplisitt løsning, siden  $x$  og elastisiteten til  $x$  er funksjoner av  $G$  og dermed av  $N$  og  $f$ .

Ved innsetting av (15) i (4) har vi også:

$$(16) \quad c = \varphi^{-1} \frac{m}{a} \left( A(s) \frac{a}{s} \right)^{\frac{2}{3}} (VL)^{-\frac{1}{3}} x^{\frac{1}{3}}$$

### 3.2 Samfunnsøkonomi

La oss i stedet anta at kollektivselskapet maksimerer samfunnsøkonomisk velferd. For enkelhets skyld ser vi bort fra ulykkeskostnader, miljøkostnader og skatt på billetter og innsatsfaktorer. Det samfunnsøkonomiske regnestykket består da av trafikantenes brukernytte pluss kollektivselskapets profitt. Vi antar at eventuelle underskudd må dekkes av det offentlige, slik at profitten må multipliseres med faktoren  $1 + \lambda$ , der  $\lambda$  er skyggeprisen på offentlige midler. Problemet å maksimere samfunnets velferd  $W$  kan da skrives:

$$(17) \quad \max_{G,p,f,N} W = \int_G^{\infty} x(y) dy + (1 + \lambda) \left[ \left( p - B(s) \varphi^{-1} \frac{m}{s} \right) x(G) - A(s) \frac{a}{s} Nf \right]$$

gitt

$$p + E(s) + Vf^{-1} + LN^{-1} = G \quad (\mu)$$

Førsteordensbetingelsene for samfunnsøkonomisk maksimum er:

$$(18) \quad \frac{\partial L}{\partial G} = -x + (1 + \lambda) \left( p - B(s) \varphi^{-1} \frac{m}{s} \right) \frac{\partial x}{\partial G} + \mu = 0$$

$$(19) \quad \frac{\partial L}{\partial p} = (1 + \lambda)x - \mu = 0$$

$$(20) \quad \frac{\partial L}{\partial f} = -(1 + \lambda) A(s) \frac{a}{s} N + \mu Vf^{-2} = 0$$

$$(21) \quad \frac{\partial L}{\partial N} = -(1 + \lambda) A(s) \frac{a}{s} f + \mu LN^{-2} = 0$$

Av (19) får vi  $(1 + \lambda)x = \mu$ . Med denne verdien innsatt kan (18) skrives

$$(22) \quad \frac{p - B(s) \varphi^{-1} \frac{m}{s}}{p} = -\frac{\lambda}{1 + \lambda} \frac{1}{El_p x}$$

Siden  $(1 + \lambda)\mu = x$  blir vilkårene (20) og (21) identiske med (12) og (13). Formlene (15) og (16) for optimal frekvens, flatedekning og kjøretøykapasitet gjelder altså også dersom vi maksimerer samfunnsnytte.

### 3.3 Sammenlikning av profittmaksimering og maksimering av samfunnsnytte

Ved sammenlikning av likning (22) med likning (14) ser vi at profittmarginen i samfunnsøkonomisk optimum er bare 1/6 av profittmarginen ved profittmaksimering (gitt at  $\lambda = 0,2$ ). Feilen med profittmaksimering er at det tas for høye priser. Dette gir mindre etterspørsel enn det som er optimalt, og dermed *indirekte* også dårligere kvalitet (frekvens og flatedekning). Feilen vil kunne rettes gjennom regulering i form av et pristak.

Modellen vår inneholder ikke alle former for god eller dårlig kvalitet som trafikantene bryr seg om. For eksempel tar den ikke opp trengsel ombord og pålitelighet. Men for de kvalitetsaspektene den tar opp – frekvens og flatedekning – er det ingen grunn til at et profittmaksimerende selskap systematisk skulle levere for dårlig kvalitet dersom ikke etterspørselen hadde blitt redusert gjennom for høye priser. Grunnen til det er at vi har antatt at etterspørselen er en funksjon av generaliserte kostnader, dvs. at alle trafikanter opplever og verdsetter kvalitetsaspektene på samme måte. Dersom dette ikke hadde vært tilfelle, ville monopol-selskapet i modellen kunne hatt en tendens til å ignorere flesteparten av kundene når det fastla kvaliteten, og bare bry seg om den marginale betalingsvilligheten for kvalitet hos den marginale kunden (Tirole 1988 avsnitt 2.2.1).

Verken monopolprisen i (14) eller den samfunnsøkonomisk riktige prisen i (22) behøver å innebære overskudd. Det som i alle fall vil dekkes av begge formene for prising er den etterspørselsavhengige delen av kostnadene,  $C_2$ , mens  $C_1$  dekkes i varierende grad. Hvis  $\lambda = 0$  vil optimal pris være like marginalkostnaden, og samfunnsøkonomisk riktig prising vil bare dekke  $C_2$ . I det tilfellet vil brukernytten være høy og kostnadsdekningen lav i optimumspunktet. Dersom underskudd er mer kostbart (større  $\lambda$ ), vil det være optimalt at brukernytten er mindre og at en større eller mindre del av  $C_1$  blir dekket av billettinntektene. Monopolprising tilsvarer at  $\lambda$  er uendelig stor. I det tilfellet er det bare profitten som teller. Det er likevel et åpent spørsmål om positiv profitt er mulig. Brukernytten er lavest i dette tilfellet. Om den da er så liten at den er mindre enn den udekkede delen av kostnadene, vil hele kollektivsystemet være samfunnsøkonomisk ulønnsomt.

### 3.4 Optimering med et fast tilskuddsbeløp

I noen tilfeller er det gitt et fast tilskudd, og oppgava er å få mest mulig samfunnsøkonomi ut av de tilgjengelige midlene. Hvis budsjettbetingelsen er bindende, vil den ha en skyggepris, og det er lett å vise at skyggeprisen vil spille akkurat samme rolle som skyggeprisen på offentlige midler,  $\lambda$ , i problemet (17). Den eneste forskjellen er at mens  $\lambda$  i (17) har en gitt verdi (nemlig 0,2 i norske nyttekostnadsanalyser, i følge Finansdepartementets retningslinjer), vil skyggeprisen på budsjettbetingelsen være større jo mindre tilskuddsbeløpet er.

Problemstillingen (17) og løsningen (formlene (15), (16) og (22)) er derfor generell i den forstand at den dekker profittmaksimering ( $\lambda = \infty$ ), samfunnsøkonomisk optimering under en budsjettbetingelse ( $0,2 \leq \lambda < \infty$ ), samfunnsøkonomisk optimering med en skyggepris på offentlige midler ( $\lambda = 0,2$ ) og samfunnsøkonomisk optimering uten skyggepris på offentlige midler ( $\lambda = 0$ ). Det er bemerkelsesverdig at forskjellen mellom tilfellene utelukkende stammer fra prissettingen i (22) og at frekvens og flatedekning vil bli bestemt på samme måte i alle tilfellene.

En praktisk metode for å løse problemet med en budsjettbetingelse kan være å gjette på en  $\lambda$ , beregne (15), (16) og (22) med denne  $\lambda$ , sette inn i  $\Pi$  og kontrollere om  $-\Pi$  er større eller mindre enn det gitte tilskuddsbeløpet. Hvis  $-\Pi$  er for stor, økes  $\lambda$ , og hvis den er for liten, reduseres  $\lambda$ . Prosessen gjentas inntil  $-\Pi$  er tilstrekkelig nær tilskuddsbeløpet, eller til det blir klart at sjøl ikke den største  $\lambda$  kan løse problemet. I det sistnevnte tilfellet må man enten legge ned eller få økt tilskuddene.

### 3.5 Stordriftsfordeler

”Familien” av tilbudsmodeller som genereres av problemet (17) vil alle sammen innebære at det eksisterer stordriftsfordeler i produksjonen av kollektivtransport. Det vil si at jo større etterspørselsgrunnlaget er, jo billigere vil det være å produsere en gjennomsnittstreise. Det gjelder både for kollektivselskapet og den enkelte trafikanten.

Kollektivselskapets gjennomsnittskostnader pr. reise framkommer ved å dele  $C$  i likning (7) på  $x$  og bruke optimale verdier fra (15) for  $f$  og  $N$ . Vi ser da at  $C_2/x$  er konstant og  $C_1/x$  er proporsjonal med  $x^{-1/3}$ , altså avtakende i  $x$ . De to siste leddene i trafikantens generaliserte kostnad (likning 8) er også åpenbart proporsjonale med  $x^{-1/3}$ , så vi har et tilsvarende resultat for trafikantens kostnader.

### 3.6 $f$ eller $N$ er gitt

Hittil i dette kapitlet har vi utviklet en familie av enkle tilbudsmodeller som løsninger av problem (17). Det gjenstår å komplettere dette med tilfellene der det eksisterer begrensninger på det frie valget av variablene. I dette avsnittet ser vi på tilfellet der  $f$  eller  $N$  er gitt. I neste kapittel behandler vi tilfeller der det finnes mer kompliserte skranker for det frie valget av variable.

Frekvensen kan for eksempel være gitt i løsningspunktet hvis fritt valgt optimal  $f$  er større enn største mulige  $f$ . Vi vil da ha  $f = \bar{f}$ . Som nevnt kan en slik øvre grense være aktuelt for T-banen, og generelt for skinnegående transport, der minste tidsavstand mellom avgangene er bestemt av signalsystemet.  $N$  kan være gitt hvis det er forbundet med store investeringskostnader å legge om linjene.  $c$  kan være gitt hvis det bare finns én aktuell kjøretøytype, eller hvis teknologi eller infrastruktur setter grenser for størrelsen på kjøretøyene.

Hvis  $c$  er fri, men enten  $f$  eller  $N$  er gitt, er det bare å se bort fra enten likning (20) eller (21).

Hvis  $N$  er gitt har vi av (20):

$$(23) \quad f(N) = \sqrt{\frac{sV}{aAN}} \cdot \sqrt{x}$$

Hvis  $f$  er gitt har vi av (21):

$$(24) \quad N(f) = \sqrt{\frac{sL}{aAf}} \cdot \sqrt{x}$$

Det framgår av (23) at elastisiteten av  $f$  med hensyn på  $x$  er  $1/2$ . Det samme er elastisiteten av  $N$  med hensyn på  $x$  ifølge (24). Elastisiteten av  $c$  med hensyn på  $x$  er i begge tilfeller  $1/2$ . Det eksisterer stordriftsfordeler i begge tilfeller.

## 4 Tilbudsmodeller med kapasitetsbeskrankninger

Vi innfører nå to nye bibetingelser i maksimeringsproblemet (17), nemlig en øvre grense for  $Nf$  og en øvre grense for  $c$ . En øvre grense for  $Nf$  kan være gitt hvis flere linjer deler samme begrensende flaskehals (spor, terminal). Anta at det maksimale antall avganger pr. time gjennom en felles flaskehals er  $K$ . Vi har altså  $Nf \leq K$ . Samtidig har vi en øvre grense for kjøretøykapasiteten, altså  $c \leq c_{\max}$ . Bruker vi (4) og ordner, kan vi samlet uttrykke de nye bibetingelsene slik:

$$\varphi^{-1} \frac{m}{a} x \leq c_{\max} Nf \leq c_{\max} K$$

Problemstillingen blir da:

$$\max_{G,p,f,N} W = \int_G^{\infty} x(y) dy + (1 + \lambda) \left[ \left( p - B(s) \varphi^{-1} \frac{m}{s} \right) x(G) - A(s) \frac{a}{s} Nf \right]$$

gitt

$$(25) \quad \text{B1} \quad p + E(s) + Vf^{-1} + LN^{-1} = G \quad (\mu_1)$$

$$\text{B2} \quad Nf \leq K \quad (\mu_2)$$

$$\text{B3} \quad \varphi^{-1} \frac{m}{a} x - c_{\max} Nf \leq 0 \quad (\mu_3)$$

Kuhn-Tuckerbetingelsene for maksimum er:

$$(26) \quad \frac{\partial L}{\partial G} = -x + (1 + \lambda) \left( p - B(s) \varphi^{-1} \frac{m}{s} \right) \frac{\partial x}{\partial G} + \mu_1 - \mu_3 \varphi^{-1} \frac{m}{a} \frac{\partial x}{\partial G} = 0$$

$$(27) \quad \frac{\partial L}{\partial p} = (1 + \lambda) x - \mu_1 = 0$$

$$(28) \quad \frac{\partial L}{\partial f} = -(1 + \lambda) A(s) \frac{a}{s} N + \mu_1 Vf^{-2} - (\mu_2 - c_{\max} \mu_3) N = 0$$

$$(29) \quad \frac{\partial L}{\partial N} = -(1 + \lambda) A(s) \frac{a}{s} f + \mu_1 LN^{-2} - (\mu_2 - c_{\max} \mu_3) f = 0$$

$$(30) \quad \mu_2 \geq 0, \mu_3 \geq 0$$

Bibetingelsene B2 og B3 kan være bindende eller ikke. Hvis de ikke er bindende, er den tilsvarende Lagrangeparameteren lik 0. Det finns fire mulige tilfeller: Ingen av dem er bindende, bare B2 er bindende, bare B3 er bindende og begge er bindende. Hvert av tilfellene kan gi opphav til en løsningskandidat, og vi går nå videre og behandler dem etter tur.

### Verken B2 eller B3 er bindende

Dette gir oss den løsningskandidaten som vi allerede har behandlet som løsningen av problem (17).

### Bare B2 er bindende

Siden  $\mu_3 = 0$ , gir (26) opphav den til samme prislikningen som i problem (17). Altså gjelder (22). Av B2 med likhetstegn og likning (28) og (29) kan vi utlede:

$$(31) \quad f = \sqrt{\frac{KV}{L}}, \quad N = \sqrt{\frac{KL}{V}}, \quad c = \varphi^{-1} \frac{m}{a} \frac{x}{K}, \quad \mu_2 = (1 + \lambda) \frac{1}{K} \left[ \left( \frac{VL}{K} \right)^{\frac{1}{2}} x - C_1 \right]$$

Merk at  $C_1$  er en konstant i dette tilfellet siden  $Nf = K$ . Det kan virke rart at optimal  $f$  og  $N$  bare avhenger av  $K$  og parametere som inngår i generaliserte kostnader, ikke av parametere i kollektivselskapets kostnader. Men løsningskandidaten er ikke så rar som det kan virke: Siden kollektivselskapets kostnader i dette tilfellet består av en konstant pluss et ledd som er proporsjonalt med  $x$ , innebærer løsningen at  $f$  og  $N$  settes slik at generaliserte kostnader minimeres.

Et vilkår for at dette skal være en løsningskandidat, er imidlertid at  $\mu_2$  er positiv. Parametrene i problemet bestemmer om det er mulig.

### Bare B3 er bindende

Prislikningen blir

$$(32) \quad \frac{p - \varphi^{-1} \frac{m}{a} \left( B(s) \frac{a}{s} + \frac{\mu_3}{1 + \lambda} \right)}{p} = - \frac{\lambda}{1 + \lambda} \frac{1}{El_p x}$$

Prisen skal altså skrues opp for å holde etterspørselen innenfor maksimumskapasiteten pr. avgang.

Av B3 med likhetstegn og likning (28) og (29) kan vi utlede:

$$(33) \quad f = \left( \varphi c_{\max} \frac{a}{m} \right)^{-\frac{1}{2}} \left( \frac{V}{L} \right)^{\frac{1}{2}} x^{\frac{1}{2}}, \quad N = \left( \varphi c_{\max} \frac{a}{m} \right)^{-\frac{1}{2}} \left( \frac{L}{V} \right)^{\frac{1}{2}} x^{\frac{1}{2}}, \quad c = c_{\max}$$
$$\mu_3 = \frac{1 + \lambda}{c_{\max}} \left[ A(s) \frac{a}{s} - \left( \varphi c_{\max} \frac{a}{m} \right)^{\frac{3}{2}} (VL)^{\frac{1}{2}} x^{-\frac{1}{2}} \right] = \frac{1 + \lambda}{c_{\max} Nf} \left[ C_1 - \left( \frac{VL}{Nf} \right)^{\frac{1}{2}} x \right]$$

Et vilkår for at dette skal være en løsningskandidat, er at  $\mu_3$  er positiv. Parametrene i problemet bestemmer om det er mulig.

### Både B2 og B3 bindende

I dette tilfellet finner vi:

$$(34) \quad f = \sqrt{\frac{KV}{L}}, \quad N = \sqrt{\frac{KL}{V}}, \quad c = c_{\max}, \quad \mu_2 = (1 + \lambda) \frac{1}{K} \left[ \left( \frac{VL}{K} \right)^{\frac{1}{2}} x - C_1 \right] + c_{\max} \mu_3$$

Med disse verdiene for  $f$  og  $N$  innsatt finner vi  $\mu_3$  og  $p$  av (32) og B3. (Noen eksplisitt løsning er ikke mulig uten å spesifisere etterspørselsfunksjonen.) Til slutt kan vi sette inn den verdien vi finner for  $\mu_3$  i uttrykket for  $\mu_2$  i (34).

#### 4.1 Vilkår som må gjelde for at den enkelte løsningskandidaten skal eksistere

Vi har rapportert løsningene for Lagrangeparametrene og understreket at  $\mu_2$  og  $\mu_3$  må være positive. Bruker vi de optimale verdiene for  $N$  og  $f$  i hvert tilfelle og setter dem inn i ulikhetene som gjelder på grunn av kravet til Lagrangeparametrene eller fordi noen av bibetingelsene ikke er bindende, får vi følgende vilkår for hver av løsningskandidatene:

*Verken B2 eller B3 bindende:*

$$x < \min \left( A \frac{a}{s} K \left( \frac{K}{VL} \right)^{1/2}, \left( \varphi c_{\max} \frac{a}{m} \right)^3 \left( A \frac{a}{s} \right)^{-2} VL \right)$$

Det er altså bare under denne betingelsen at bibetingelsene er uten betydning.

*Bare B2 bindende:*

$$A \frac{a}{s} K \left( \frac{K}{VL} \right)^{1/2} \leq x < \varphi c_{\max} \frac{a}{m} K$$

*Bare B3 bindende:*

$$\left( \varphi c_{\max} \frac{a}{m} \right)^3 \left( A \frac{a}{s} \right)^{-2} VL \leq x < \varphi c_{\max} \frac{a}{m} K$$

*Både B2 og B3 bindende:*

$$\begin{aligned} x &= \varphi c_{\max} \frac{a}{m} K \\ p \left( 1 + \frac{\lambda}{1 + \lambda} \frac{1}{El_p x} \right) - \varphi^{-1} B \frac{m}{s} &\geq 0 \\ \left[ \left( \frac{VL}{K} \right)^{1/2} \varphi c_{\max} \frac{a}{m} - A \frac{a}{s} \right] + \varphi c_{\max} \frac{a}{m} \left[ p \left( 1 + \frac{\lambda}{1 + \lambda} \frac{1}{El_p x} \right) - \varphi^{-1} B \frac{m}{s} \right] &\geq 0 \end{aligned}$$

Ser vi på de fire tilfellene samlet, kan vi først merke oss at de til sammen dekker hele det mulige området for  $x$ , nemlig  $0 < x \leq \varphi c_{\max} a m^{-1} K$ . Tenker vi oss at  $x$  først er liten, men vokser med en eksogent gitt faktor, har vi først tilfellet uten bindende restriksjoner som eneste løsningskandidat. Når  $x$  vokser, inntreffer det før eller siden at en av de to restriksjonene, B2 og B3, blir bindende. Hvilken av dem det er, avgjøres av parametrene i problemet. Hvis altså vilkåret for at bare B2 skal være bindende er oppfylt for en verdi av  $x$ , vil vilkåret for at bare B3 skal være bindende, aldri inntreffe, og omvendt. I et konkret problem vil enten bare tilfelle en, to eller fire, eller bare tilfelle en, tre og fire, være aktuelle. Parametrene avgjør om det er det andre eller det tredje tilfellet som kan utelukkes a priori. B2 og B3 gjelder samtidig bare i ett eneste punkt,  $x = \varphi c_{\max} a m^{-1} K$ . Etterspørsel over dette nivået er ikke forenlig med en statisk modell.

Hvis man for eksempel har funnet ut hvilket av de to uttrykkene som er minst i vilkåret for at verken B2 eller B3 skal være bindende i løsningen, kan man straks se om det er begrensningen i kjøretøystørrelsen eller kapasiteten gjennom flaskehalsen som vil bli

problemet når etterspørselen stiger. Slik kan man unngå å sette inn tiltak for å oppheve en begrensning som ikke kommer til å bli bindende før systemet er fullt utnyttet, dvs. før *begge* begrensninger er bindende.

## 4.2 $N = 1$

Ofte kan det, som nevnt, være urealistisk å anta at det er mulig å endre flatedekningen uten større investeringer. Spesielt gjelder det skinnegående systemer. I det tilfellet kan vi like gjerne betrakte linjene enkeltvis, dvs. sette  $N = 1$ . Siden en slik enkeltlinje vil være konstruert for et begrenset antall avganger og et begrenset utvalg av kjøretøytyper, er det av interesse å behandle problemstillingen for dette tilfellet for seg.

Problemet er:

$$\max_{G,p,f} W = \int_G^{\infty} x(y) dy + (1 + \lambda) \left[ \left( p - B(s) \varphi^{-1} \frac{m}{s} \right) x(G) - A(s) \frac{a}{s} f \right]$$

gitt

$$(35) \quad \text{B1} \quad p + E(s) + Vf^{-1} + LN^{-1} = G \quad (\mu_1)$$

$$\text{B2} \quad f \leq \bar{f} \quad (\mu_2)$$

$$\text{B3} \quad \varphi^{-1} \frac{m}{a} x - c_{\max} f \leq 0 \quad (\mu_3)$$

Kuhn-Tuckerbetingelsene for maksimum er:

$$(36) \quad \frac{\partial L}{\partial G} = -x + (1 + \lambda) \left( p - B(s) \varphi^{-1} \frac{m}{s} \right) \frac{\partial x}{\partial G} + \mu_1 - \mu_3 \varphi^{-1} \frac{m}{a} \frac{\partial x}{\partial G} = 0$$

$$(37) \quad \frac{\partial L}{\partial p} = (1 + \lambda) x - \mu_1 = 0$$

$$(38) \quad \frac{\partial L}{\partial f} = -(1 + \lambda) A(s) \frac{a}{s} + \mu_1 Vf^{-2} - (\mu_2 - c_{\max} \mu_3) = 0$$

Som før har vi fire tilfeller:

*Verken B2 eller B3 bindende:*

Løsningskandidaten i dette tilfellet er (implisitt) gitt ved (22) og

$$(39) \quad f = \sqrt{\frac{sV}{aA}} \cdot \sqrt{x}$$

Av  $f < \bar{f}$  og  $c < c_{\max}$  kan vi bl.a. utlede at i løsningspunktet må ventetidskostnadene være *mindre* enn  $C_1$ , Vi kan også utlede at hvis dette tilfellet skal gi en løsningskandidat, må følgene ulikhet gjelde i løsningspunktet:

$$x < \min \left( A \frac{a}{s} \frac{\bar{f}^2}{V}, \left( \varphi c_{\max} \frac{a}{m} \right)^2 \left( A \frac{a}{s} \right)^{-1} V \right)$$

*Bare B2 bindende:*

Løsningskandidaten i dette tilfellet er (implisitt) gitt ved (22) og  $f = \bar{f}$ . For den Lagrangemultiplikatoren som ikke nødvendigvis er 0, har vi dessuten

$$\mu_2 = (1 + \lambda) \left[ Vx\bar{f}^{-2} - A\frac{a}{s} \right] \geq 0$$

Av dette følger at i dette tilfellet er ventetidskostnadene *større* enn  $C_1$  i løsningspunktet. Sammen med  $c < c_{\min}$  gir det ulikhetene

$$A\frac{a}{s}\frac{\bar{f}^2}{V} \leq x < \left( \varphi c_{\max} \frac{a}{m} \right) \bar{f}$$

som må gjelde hvis dette tilfellet skal gi en løsningskandidat.

*Bare B3 bindende:*

I dette tilfelle gjelder

$$(40) \quad x = \left( \varphi c_{\max} \frac{a}{m} \right) f < \left( \varphi c_{\max} \frac{a}{m} \right) \bar{f}$$

Av (38) finner vi

$$\mu_3 = \frac{1 + \lambda}{c_{\max}} \left( A\frac{a}{s} - Vx\bar{f}^{-2} \right) \geq 0$$

I dette tilfellet er altså ventetidskostnadene igjen *mindre* enn  $C_1$ . Setter vi inn for  $\mu_3$  i (36) og bruker (40), får vi

$$(41) \quad \frac{(p + Vf^{-1}) - \varphi^{-1} \frac{m}{s} \left( B + \frac{A}{c_{\max}} \right)}{p} = -\frac{\lambda}{1 + \lambda} \frac{1}{El_p x}$$

(40) og (41) fastlegger nå  $p$  og  $f$ . I henhold til (41) settes prisen så høyt at etterspørselen ikke overstiger kapasiteten pr. avgang ved optimalt valg av  $f$ . Det er interessant at vi skal ta hensyn til alle kostnadselementer, både for selskapet og for brukerne, når prisen fastsettes.

Av  $\mu_3 \geq 0$  og ulikheten i (40) kan vi utlede følgende ulikheter:

$$\left( \varphi c_{\max} \frac{a}{m} \right)^2 \left( A\frac{a}{s} \right)^{-1} V \leq x < \left( \varphi c_{\max} \frac{a}{m} \right) \bar{f}$$

*Både B2 og B3 bindende:*

I dette tilfellet gjelder  $f = \bar{f}$  og

$$(42) \quad x = \left( \varphi c_{\max} \frac{a}{m} \right) \bar{f}$$

(42) bestemmer  $p$ . Dermed vil (36) bestemme  $\mu_3$ , og tilslutt vil vi da finne  $\mu_2$  av (38). Vi finner:



$$\mu_3 = (1 + \lambda) \varphi \frac{a}{m} \left[ p \left( 1 + \frac{\lambda}{1 + \lambda} \frac{1}{El_p x} \right) - \varphi^{-1} B \frac{m}{s} \right] \geq 0$$

$$\mu_2 = (1 + \lambda) \bar{f}^{-1} \left[ Vx \bar{f}^{-1} + px \left( 1 + \frac{\lambda}{1 + \lambda} \frac{1}{El_p x} \right) - B \varphi^{-1} \frac{m}{s} x - A \frac{a}{s} \bar{f} \right] \geq 0$$

De to ulikhetene som framkommer av positivitetskravet på Lagrangemultiplikatorene, har ingen likhet med vilkårene som vi avledet i de andre tilfellene. Det som derimot kan sammenliknes med de andre vilkårene, er (42). Vi ser at vilkårene for B2 og B3 ikke omfatter det øvre endepunktet for mulighetsområdet for  $x$ . Det er først når frekvens og kapasitet pr. avgang er maksimalt utnyttet, at  $x$  antar denne øvre verdien.

Men de to kravene til Lagrangemultiplikatorene er ikke uten interesse. Uttrykket for  $\mu_2$  inneholder hele kollektivselskapets profitt, pluss ventetidskostnadene, minus et ledd som er proporsjonalt med billettinntektene og omvendt proporsjonalt med priselastisiteten. Positivitetskravet på  $\mu_2$  sier altså at i dette tilfellet må kollektivselskapet ikke ha for stort underskudd dersom vi krever bedrifts- eller samfunnsøkonomisk optimalitet. Hvis  $\lambda = 0$  kan underskuddet ikke være større enn trafikantenes ventetidskostnader, og hvis  $\lambda > 0$  skal underskuddet være enda mindre. Så vidt jeg veit er dette et resultat som ikke har vært rapportert i litteraturen tidligere. I mangel av muligheter for å utvide drifta, skal altså kollektivselskapet øke prisen for at ikke avgangene skal bli overfylt. Eller omvendt: Nyten av investeringer som gjør det mulig å utvide drifta, omfatter også nyten av lavere optimale priser.

Ser vi på positivitetskravet på  $\mu_3$ , oppdager vi dessuten at når  $\mu_3$  er relativt liten (dvs. når tendensen til for stor etterspørsel er moderat), er det avgjørende for om  $\mu_2$  er positiv eller ikke om ventetidskostnadene er større enn  $C_1$  eller ikke. Det er naturlig: Om ventetidskostnadene er store ved maksimal frekvens, er det en stor gevinst ved å kunne øke øvre grense for frekvensen, og dermed en stor Lagrangemultiplikator knyttet til denne skranken.

### 4.3 Nærmere om løsningen

Tenker vi oss at  $x$  først er liten, men vokser med en eksogent gitt faktor, har vi først tilfellet uten bindende restriksjoner som eneste løsningskandidat. Når  $x$  vokser, inntreffer det før eller siden at en av de to restriksjonene, B2 og B3, blir bindende. Ulikhetene for de to tilfellene, B2 bindende og B3 bindende, viser at om ventetidskostnadene er større enn  $C_1$  ved høyeste frekvens og kapasitet pr. avgang, er det restriksjonen B2 som først blir bindende, og omvendt. Kravene til at Lagrangemultiplikatoren skal være positiv i hvert av de to tilfellene, viser at om for eksempel B2 er den restriksjonen som først blir oppfylt når  $x$  vokser, kan vi ikke seinere få et skift til at bare B3 er oppfylt – forholdet mellom ventetidskostnadene og  $C_1$  kan jo ikke endre seg. Når  $x$  blir tilstrekkelig stor, vil imidlertid begge restriksjonene bli bindende.

Dermed har vi vist at om ventetidskostnadene er større enn  $C_1$  ved høyeste frekvens og kapasitet pr. avgang, er det første, andre og fjerde tilfelle som kan oppstå, og om det er omvendt, er det første, tredje og fjerde tilfelle som kan oppstå. For hver av de to

mulighetene er det størrelsen på  $x$  som avgjør hvilket av de tre tilfellene som er eneste mulige løsning.

Nå er ikke  $x$  eksogent gitt, men formlene viser at når  $x$  vokser med en eksogen faktor, vil prisen gå ned og frekvensen opp, slik at også generaliserte kostnader bidra til veksten. Derfor er det definert entydige punkter der ett tilfelle går over i et annet. I disse punktene vil ingen av våre variable gjøre et hopp. Så lenge parametrene som inngår i ventetidskostnadene og  $C_1$  ikke endrer seg, eksisterer det da en kontinuerlig og tiltakende kostnadsfunksjon  $C^*(x)$  som er definert over hele det mulige området for  $x$ , fra 0 til  $\varphi c_{\max} am^{-1} \bar{f}$ .

## 5 Nytten av investeringer som kan øke frekvens og kapasitet pr. avgang

Vi ønsker å finne et enkelt uttrykk for samfunnsnytten av en liten økning i den maksimalt tillatte frekvensen eller den maksimale kapasiteten pr. avgang.

De matematiske forutsetningene er tilstede for å bruke en setning fra Sydsæther (1990, kapittel 4.15) som sier at den deriverte av verdifunksjonen (den optimerte målfunksjonen) med hensyn på en skranke (her:  $\bar{f}$  eller  $c_{\max}$ ) er lik Lagrangeparameteren tilknyttet skranken. Men det finnes et lite problem:  $c_{\max}$  står ikke aleine på høyresida av ulikheten B3, slik den skal for at vi kan bruke setningen. Det viser seg at om vi flytter  $c_{\max}$  slik at den står aleine på høyresida, blir den relevante Lagrangemultiplikatoren i det generelle problemet (25) – la oss kalle den  $\gamma$  – lik  $\gamma = Nf\mu_3$ . I problemet (35) blir den  $\gamma = f\mu_3$ .

La oss kalle de små endringene  $d\bar{f}$  og  $dc_{\max}$ , og samfunnsnytten  $dW^*$ . Formlene nedenfor forutsetter at tilpasningen i utgangspunktet er nær optimal. De er dessuten førsteordens tilnærminger til den virkelige nytten, og er bare brukbare for små endringer. Større endringer, eller endringer i en situasjon der tilpasningen ikke er optimal, krever at problemet løses både for en nullsituasjon og situasjonen etter tiltaket, og differansen beregnes.

### 5.1 Både $N$ og $f$ kan velges

*Ingen bindende restriksjoner:*

I dette tilfellet er  $dW^* = 0$ , idet optimal tilpasning er mulig uten nye investeringer. (I praksis kan det hende at det likevel er en nytte i form av økt pålitelighet når togene ikke behøver å pakkes maksimalt tett, eller i form av bedre muligheter for sitteplass sjøl i de mest belastede periodene. Men dette og andre eventuelle fordeler ved investeringen ligger utafør vår modell.)

*Bare B2 bindende:*

For investeringer som muliggjør økt kapasitet har vi også her at  $dW^* = 0$ . For investeringer som muliggjør økt frekvens har vi:

$$(43) \quad dW^* = \frac{\partial W^*}{\partial \bar{f}} d\bar{f} = \mu_2^* d\bar{f} = (1 + \lambda) \frac{1}{K} \left[ \left( \frac{VL}{K} \right)^{1/2} x^* - A(s) \frac{a}{s} K \right] d\bar{f}$$

*Bare B3 bindende:*

For investeringer som muliggjør økt frekvens er  $dW^* = 0$ . For investeringer som muliggjør økt kapasitet har vi:

$$\begin{aligned}
dW^* &= \frac{\partial W^*}{\partial c_{\max}} dc_{\max} = N^* f^* \mu_3^* dc_{\max} \\
(44) \quad &= \frac{1+\lambda}{c_{\max}} \left[ A(s) \frac{a}{s} \left( \varphi c_{\max} \frac{a}{m} \right)^{-1} x^* - (VL)^{1/2} \left( \varphi c_{\max} \frac{a}{m} \right)^{1/2} x^{*1/2} \right] dc_{\max}
\end{aligned}$$

*Begge restriksjoner bindende:*

(45)

$$\begin{aligned}
dW^* &= \frac{\partial W^*}{\partial \bar{f}} d\bar{f} + \frac{\partial W^*}{\partial c_{\max}} dc_{\max} = \mu_2^* d\bar{f} + N^* f^* \mu_3^* dc_{\max} = \\
(1+\lambda) &\left[ \left( \frac{VL}{K} \right)^{1/2} \left( \varphi c_{\max} \frac{a}{m} \right) - A(s) \frac{a}{s} + \left( \varphi c_{\max} \frac{a}{m} \right) K \left( p \left( 1 + \frac{1}{1+\lambda} \frac{1}{El_p x} \right) - B(s) \varphi^{-1} \frac{m}{s} \right) \right] d\bar{f} \\
&+ (1+\lambda) \varphi \frac{a}{m} K \left( p \left( 1 + \frac{1}{1+\lambda} \frac{1}{El_p x} \right) - B(s) \varphi^{-1} \frac{m}{s} \right) dc_{\max}
\end{aligned}$$

## 5.2 $N = 1$

*Ingen bindende restriksjoner:*

I dette tilfellet er  $dW^* = 0$ , idet optimal tilpasning er mulig uten nye investeringer.

*Bare B2 bindende:*

For investeringer som muliggjør økt kapasitet har vi også her at  $dW^* = 0$ . For investeringer som muliggjør økt frekvens har vi:

$$(46) \quad dW^* = \frac{\partial W^*}{\partial \bar{f}} d\bar{f} = \mu_2^* d\bar{f} = (1+\lambda) \left[ Vx^* \bar{f}^{-2} - A \frac{a}{s} \right] d\bar{f}$$

*Bare B3 bindende:*

For investeringer som muliggjør økt frekvens er  $dW^* = 0$ . For investeringer som muliggjør økt kapasitet har vi:

$$\begin{aligned}
dW^* &= \frac{\partial W^*}{\partial c_{\max}} dc_{\max} = f^* \mu_3^* dc_{\max} = \frac{1+\lambda}{c_{\max}} \left( A \frac{a}{s} f - Vx^* f^{-1} \right) dc_{\max} \\
(47) \quad &= \frac{1+\lambda}{c_{\max}} \left( A \frac{a}{s} \left( \varphi c_{\max} \frac{a}{m} \right)^{-1} x^* - V \left( \varphi c_{\max} \frac{a}{m} \right) \right) dc_{\max}
\end{aligned}$$

*Begge restriksjoner bindende:*

$$\begin{aligned}
dW^* &= \frac{\partial W^*}{\partial \bar{f}} d\bar{f} + \frac{\partial W^*}{\partial c_{\max}} dc_{\max} = \mu_2^* d\bar{f} + N^* f^* \mu_3^* dc_{\max} = \\
(48) & (1 + \lambda) \left[ V \varphi c_{\max} \frac{a}{m} \bar{f}^{-1} - A(s) \frac{a}{s} + \varphi c_{\max} \frac{a}{m} \bar{f} \left( p \left( 1 + \frac{1}{1 + \lambda} \frac{1}{El_p x} \right) - B(s) \varphi^{-1} \frac{m}{s} \right) \right] d\bar{f} \\
& + (1 + \lambda) \varphi \frac{a}{m} \bar{f} \left( p \left( 1 + \frac{1}{1 + \lambda} \frac{1}{El_p x} \right) - B(s) \varphi^{-1} \frac{m}{s} \right) dc_{\max}
\end{aligned}$$

## 6 Nytten av etterspørselsskift og framkommelighets-tiltak

### 6.1 Framgangsmåte

Vi vil nå finne virkningen av eksogene etterspørselsskift ( $d\varepsilon$ ) og endringer i framkommelighet ( $ds$ ) på kollektivselskapets tilpasning av tilbudet, dvs. den optimale verdien av  $f$ ,  $N$  og  $c$ . Deretter vil vi beregne konsekvensene som en slik mulighet for tilbudsforbedring har på selskapets profitt, eller med andre ord på tilskuddsbehovet, og endelig velferdsvirkningene, dvs. virkningen på  $W$ . Det sier seg sjøl at virkningene er ulike alt etter som både  $f$  og  $N$  eller bare  $f$  kan varieres, og alt ettersom hvilke bindende skranker som finnes på  $f$  og  $c$ . Vi vil derfor gå gjennom alle variantene av dette.

En kan spørre seg hva som skjer hvis endringene i  $f$ ,  $N$  og  $c$  medfører at en restriksjon som ikke var bindende i utgangspunktet, blir bindende undervegs til det ønskelige nye tilbudet. Svaret på det er formodentlig at en først må beregne virkningen fram til det punktet hvor en ny restriksjon gjør seg gjeldende, og deretter, under nye forutsetninger, virkningen fra dette punktet til et nytt optimalt tilbud. Ulikhetene som vi har utledet som vilkår for hvilket løsningsalternativ som utgjør den optimale løsningen, vil definere disse overgangspunktene nøyaktig.

Vi forutsetter at selskapet allerede i utgangspunktet gir et optimalt tilbud. Videre antar vi at prisene holdes fast. Det betyr jo at prisene etter etterspørselsskiftet og framkommelighetstiltakene ikke lenger vil være de optimale, men forhåpentligvis har det liten betydning. Om noe, burde det undervurdere profitten og velferdsøkningen.

Den typen av endringer som vi ser på i dette kapitlet, er nettopp emnet for artikkelen til Small som vi nevnte innledningsvis (Small 2004). I sitt hovedtilfelle antar han at økte inntekter til selskapet blir brukt til prissenkninger, som utløser en ny runde av etterspørselsøkning. Vår implisitte antakelse er i stedet at selskapets økte inntekter brukes til å redusere det offentlige tilskuddet. Ingen av delene vil være helt optimalt. Smalls antakelse vil vel gi større indirekte virkninger på etterspørselen, men vår antakelse vil muligens være vel så realistisk.

Vi skal begynne med å utlede noen generelle sammenhenger, før vi anvender dem på hvert av de mange ulike tilfellene.

### 6.2 Generelle sammenhenger

Et skift i etterspørselen og framkommeligheten vil umiddelbart gi nye optimale verdier for  $f$ ,  $N$  og  $c$ . Det er ikke dermed sagt at selskapet straks vil endre sitt tilbud – det kan være mange praktiske hindringer som må ryddes av vegen først. Men et klokt kollektivselskap vil skjønne at disse skiftene har gitt nye muligheter. Et skift i framkommeligheten vil også nokså umiddelbart gi raskere reisetid og dermed lavere generaliserte reisekostnader for trafikantene. Disse umiddelbare og nokså umiddelbare konsekvensene er det vi vil kalle *direkte* virkninger.

I neste omgang vil den økte frekvensen og flatedekningen og den raskere reisetida gi en ny runde av etterspørselsøkning, som så gi selskapet ytterligere grunnlag for tilbudsforbedring. Dette er det vi vil kalle annenordensvirkningene eller de indirekte

virkningene. Et veldig forutseende kollektivselskap vil kunne foregripe også de indirekte virkningene når det fastlegger det nye optimale tilbudet.

De optimale  $f$ ,  $N$  og  $c$  er funksjoner av  $s$  og  $x$ .  $c$  er dessuten også en funksjon av  $f$  og  $N$ . Ved relativt små endringer i  $s$  og  $x$  har vi derfor:

$$df = \frac{\partial f}{\partial x} dx + \frac{\partial f}{\partial s} ds, \quad dN = \frac{\partial N}{\partial x} dx + \frac{\partial N}{\partial s} ds,$$

$$dc = \frac{\partial c}{\partial x} dx + \frac{\partial c}{\partial s} ds + \frac{\partial c}{\partial f} df + \frac{\partial c}{\partial N} dN$$

Videre er  $x$  en funksjon av  $g$  og  $\varepsilon$ , så

$$dx = \left[ \frac{\partial x}{\partial \varepsilon} + \frac{\partial x}{\partial G} \left( \frac{\partial G}{\partial f} \frac{\partial f}{\partial \varepsilon} + \frac{\partial G}{\partial N} \frac{\partial N}{\partial \varepsilon} \right) \right] d\varepsilon + \frac{\partial x}{\partial G} \left( \frac{\partial G}{\partial s} + \frac{\partial G}{\partial f} \frac{\partial f}{\partial s} + \frac{\partial G}{\partial N} \frac{\partial N}{\partial s} \right) ds$$

Vi setter nå uttrykkene for  $df$  og  $dN$  inn i uttrykket for  $dc$ , og setter så uttrykket for  $dx$  inn i uttrykkene for  $df$ ,  $dN$  og  $dc$ . Vi omgjør uttrykkene for  $df$ ,  $dN$  og  $dc$  til elastisiteter og merker oss at  $El_{\varepsilon x} = 1$  og  $El_{s c} = 0$ ,  $El_{x c} = 1$ ,  $El_{f c} = El_{N c} = -1$ . Endelig bruker vi følgende definisjoner:

$$(49) \quad I_{\varepsilon} \equiv El_{G x} (El_f G \cdot El_{\varepsilon} f + El_N G \cdot El_{\varepsilon} N)$$

$$I_s \equiv El_{G x} (El_f G \cdot El_s f + El_N G \cdot El_s N)$$

Det gir:

$$(50) \quad \frac{df}{f} = El_x f (1 + I_{\varepsilon}) \frac{d\varepsilon}{\varepsilon} + (El_s f + El_x f \cdot El_{G x} \cdot El_s G + El_x f \cdot I_s) \frac{ds}{s}$$

$$(51) \quad \frac{dN}{N} = El_x N (1 + I_{\varepsilon}) \frac{d\varepsilon}{\varepsilon} + (El_s N + El_x N \cdot El_{G x} \cdot El_s G + El_x N \cdot I_s) \frac{ds}{s}$$

$$(52) \quad \frac{dc}{c} = (1 - El_x f - El_x N) (1 + I_{\varepsilon}) \frac{d\varepsilon}{\varepsilon}$$

$$+ \left[ (1 - El_x f - El_x N) (El_{G x} \cdot El_s G + I_s) - El_s f - El_s N \right] \frac{ds}{s}$$

De leddene i disse formlene som inneholder  $I_{\varepsilon}$  eller  $I_s$ , utgjør annenordensvirkningene på tilbudsvariablene.

Før vi går til de konkrete tilfellene, er det enda noen elastisiteter som vi kan beregne på generelt grunnlag, nemlig

$$(53) \quad El_s G = -\frac{\omega m}{sG}, \quad El_f G = -\frac{Vf^{-1}}{G}, \quad El_N G = -\frac{LN^{-1}}{G}$$

Vi setter inn verdiene fra (53) i (49) til (52):

$$(54) \quad \begin{aligned} I_\varepsilon &\equiv |El_G x| \left( \frac{Vf^{-1}}{G} El_\varepsilon f + \frac{LN^{-1}}{G} El_\varepsilon N \right) \\ I_s &\equiv |El_G x| \left( \frac{Vf^{-1}}{G} \cdot El_s f + \frac{LN^{-1}}{G} El_s N \right) \end{aligned}$$

$$(55) \quad \frac{df}{f} = El_x f (1 + I_\varepsilon) \frac{d\varepsilon}{\varepsilon} + \left( El_s f + |El_G x| \frac{\omega m}{sG} El_x f + El_x f \cdot I_s \right) \frac{ds}{s}$$

$$(56) \quad \frac{dN}{N} = El_x N (1 + I_\varepsilon) \frac{d\varepsilon}{\varepsilon} + \left( El_s N + |El_G x| \frac{\omega m}{sG} El_x N + El_x N \cdot I_s \right) \frac{ds}{s}$$

$$(57) \quad \begin{aligned} \frac{dc}{c} &= (1 - El_x f - El_x N) (1 + I_\varepsilon) \frac{d\varepsilon}{\varepsilon} \\ &+ \left[ (1 - El_x f - El_x N) \left( |El_G x| \frac{\omega m}{sG} + I_s \right) - El_s f - El_s N \right] \frac{ds}{s} \end{aligned}$$

Likning (54)-(57) er vårt utgangspunkt i det følgende for å evaluere virkningen på tilbudsvariablene av eksogene endringer i etterspørselen og i framkommeligheten. Vi ser at de elastisitetene som gjenstår i disse likningene, med ett unntak vil kunne spesifiseres når vi kjenner de optimale  $f$ ,  $N$  og  $c$  i hvert konkret tilfelle. Unntaket er elastisiteten av etterspørselen med hensyn på generaliserte kostnader.

## 6.3 Tilbudsendringene i ulike tilfeller

### 6.3.1 $f$ og $N$ er valgvariable

#### Verken B2 eller B3 er bindende

I dette tilfellet er de optimale  $f$ ,  $N$  og  $c$  gitt ved (15) og (16). Vi får:

$$(58) \quad \begin{aligned} El_\varepsilon f &= El_\varepsilon N = El_\varepsilon c = \frac{1}{3} \\ El_s f &= El_s N = \frac{1}{3} \cdot \frac{r_0/h + w\ell_0}{r_0/h + w\ell_0 + g_0 s} \\ El_s c &= -\frac{2}{3} \cdot \frac{r_0/h + w\ell_0}{r_0/h + w\ell_0 + g_0 s} \end{aligned}$$

Det gir:

$$(59) \quad \begin{aligned} I_\varepsilon &\equiv \frac{1}{3} |El_G x| \frac{Vf^{-1} + LN^{-1}}{G} \\ I_s &\equiv \frac{1}{3} |El_G x| \frac{Vf^{-1} + LN^{-1}}{G} \cdot \frac{r_0/h + w\ell_0}{r_0/h + w\ell_0 + g_0 s} \end{aligned}$$

$$(60) \quad \frac{df}{f} = \frac{dN}{N} = \frac{1}{3} (1 + I_\varepsilon) \frac{d\varepsilon}{\varepsilon} + \frac{1}{3} \left( \frac{r_0/h + w\ell_0}{r_0/h + w\ell_0 + g_0 s} + |El_G x| \frac{\omega m}{sG} + I_s \right) \frac{ds}{s}$$



$$(61) \quad \frac{dc}{c} = \frac{1}{3}(1 + I_\varepsilon) \frac{d\varepsilon}{\varepsilon} + \frac{1}{3} \left( -2 \frac{r_0/h + w\ell_0}{r_0/h + w\ell_0 + g_0s} + |El_G x| \frac{\omega m}{sG} + I_s \right) \frac{ds}{s}$$

Vi ser at ved eksogen etterspørselsøkning skal  $f$ ,  $N$  og  $c$  økes i samme takt, og denne takta er noe, men ikke mye, større enn en tredjedel av etterspørselsøkninga. Ved økt framkommelighet skal  $f$  og  $N$  økes i samme takt, og denne takta ser ut til å kunne være noe, men ikke mye, mindre enn takta i framkommelighetsforbedringa. Derimot ser det ut til at kapasiteten pr. avgang i høyden skal holdes konstant.

### Bare B2 er bindende

Formel (31) viser at optimal  $f$  og  $N$  er konstanter, mens  $c$  er en funksjon av  $x$  aleine. Dermed har vi av (54)-(57):

$$(62) \quad \frac{df}{f} = \frac{dN}{N} = 0, \quad \frac{dc}{c} = \frac{d\varepsilon}{\varepsilon} + |El_G x| \frac{\omega m}{sG} \cdot \frac{ds}{s}$$

Enhver endring i etterspørselen, enten den er eksogen eller framkommer fordi økt framkommelighet reduserer reisetida, må i dette tilfelle fullt ut tas opp av endring i kapasiteten pr. avgang.

### Bare B3 bindende

Fra formel (33) får vi:

$$(63) \quad El_x f = El_x N = \frac{1}{2}, \quad El_s f = El_s N = 0$$

Dermed har vi av (54)-(57):

$$(64) \quad I_\varepsilon \equiv \frac{1}{2} |El_G x| \frac{Vf^{-1} + LN^{-1}}{G}$$

$$I_s \equiv 0$$

$$(65) \quad \frac{df}{f} = \frac{1}{2}(1 + I_\varepsilon) \frac{d\varepsilon}{\varepsilon} + \frac{1}{2} |El_G x| \frac{\omega m}{sG} \cdot \frac{ds}{s}$$

$$(66) \quad \frac{dN}{N} = \frac{1}{2}(1 + I_\varepsilon) \frac{d\varepsilon}{\varepsilon} + \frac{1}{2} |El_G x| \frac{\omega m}{sG} \cdot \frac{ds}{s}$$

$$(67) \quad \frac{dc}{c} = 0$$

### Både B2 og B3 bindende

Alle tilbudsvariablene er nå konstanter, og ingen tilpasning til økt etterspørsel er mulig innafor modellen og våre forutsetninger. Riktignok kan vi endre forutsetningen om konstant pris, og bruke økt pris til å holde etterspørselen innafor kapasiteten. Vi kan også la avgangene være fullere enn vi tillater i modellen.

## 6.3.2 Bare $f$ er valgvariabel, $N = 1$

### Verken B2 eller B3 er bindende

Optimal frekvens er gitt i likning (39). Av den finner vi:

$$(68) \quad \begin{aligned} El_\varepsilon f &= \frac{1}{2} \\ El_s f &= \frac{1}{2} \cdot \frac{r_0/h + w\ell_0}{r_0/h + w\ell_0 + g_0 s} \end{aligned}$$

Elastisitetene av  $N$  er naturligvis 0. Dermed gir likning (54)-(57):

$$(69) \quad \begin{aligned} I_\varepsilon &\equiv \frac{1}{2} |El_G x| \frac{Vf^{-1}}{G} \\ I_s &\equiv \frac{1}{2} |El_G x| \frac{Vf^{-1}}{G} \cdot \frac{r_0/h + w\ell_0}{r_0/h + w\ell_0 + g_0 s} \end{aligned}$$

$$(70) \quad \frac{df}{f} = \frac{1}{2} (1 + I_\varepsilon) \frac{d\varepsilon}{\varepsilon} + \frac{1}{2} \left( \frac{r_0/h + w\ell_0}{r_0/h + w\ell_0 + g_0 s} + |El_G x| \frac{\omega m}{sG} + I_s \right) \frac{ds}{s}$$

$$(71) \quad \frac{dc}{c} = \frac{1}{2} (1 + I_\varepsilon) \frac{d\varepsilon}{\varepsilon} + \frac{1}{2} \left( -\frac{r_0/h + w\ell_0}{r_0/h + w\ell_0 + g_0 s} + |El_G x| \frac{\omega m}{sG} + I_s \right) \frac{ds}{s}$$

Som når  $N$  er valgvariabel, ser vi at ved eksogen etterspørselsøkning skal  $f$  og  $c$  økes i samme takt, og denne takta er noe, men ikke mye, større enn halvparten av takten i etterspørselsøkninga. Ved økt framkommelighet skal også  $f$  økes, men det ser ut til at kapasiteten pr. avgang skal reduseres.

### Bare B2 er bindende

I dette tilfellet er det ikke lenger mulig å tilpasse frekvensen, og alle endringer i etterspørselen må takles ved endring i kapasiteten pr. avgang (jfr. likning (4)). Vi får:

$$(72) \quad El_\varepsilon f = 0, \quad El_s f = 0$$

Elastisitetene av  $N$  er naturligvis 0. Dermed gir likning (54)-(57):

$$(73) \quad \begin{aligned} I_\varepsilon &= I_s = 0 \\ \frac{df}{f} &= 0 \\ \frac{dc}{c} &= \frac{d\varepsilon}{\varepsilon} + |El_G x| \frac{\omega m}{sG} \cdot \frac{ds}{s} \end{aligned}$$

### Bare B3 bindende

I dette tilfellet er det ikke lenger mulig å tilpasse kapasiteten pr. avgang, og alle endringer i etterspørselen må takles ved endring i frekvensen (jfr. likning (4)). Vi får:

$$(74) \quad El_\varepsilon f = 1, \quad El_s f = 0$$

Elastisitetene av  $N$  er naturligvis 0. Dermed gir likning (54)-(57):

$$(75) \quad \begin{aligned} I_\varepsilon &= |El_G x| \frac{Vf^{-1}}{G}, \quad I_s = 0 \\ \frac{df}{f} &= (1 + I_\varepsilon) \frac{d\varepsilon}{\varepsilon} + |El_G x| \frac{\omega m}{sG} \cdot \frac{ds}{s} \\ \frac{dc}{c} &= 0 \end{aligned}$$

### Både B2 og B3 bindende

Alle tilbudsvariablene er nå konstanter, og ingen tilpasning til økt etterspørsel er mulig innafor modellen og våre forutsetninger. Riktignok kan vi endre forutsetningen om konstant pris, og bruke økt pris til å holde etterspørselen innafor kapasiteten. Vi kan også la avgangene være fullere enn vi tillater i modellen.

### 6.3.3 Kommentar

Tilbudet kan tilpasses i tre dimensjoner, men på grunn av likning (4) er det bare to frihetsgrader. Dette er et fundamentalt trekk ved produksjonsmulighetene til et kollektivselskap, med mindre etterspørselen er så lav at sjøl minste kjøretøystørrelse gir ledig kapasitet pr. avgang, hvilket vi har sett bort fra. Som vi så i kapittel 4, gir tilpasning i tre dimensjoner opphav til en tredjerotslov for både  $f$ ,  $N$  og  $c$  som funksjoner av etterspørselen. Tilpasning i to dimensjoner,  $f$  og  $c$ , gir opphav til en kvadratrotlov.

Når en restriksjon blir bindende, reduseres mulighetsrommet. En bindende felles flaskehals gjør faktisk både  $f$  og  $N$  til konstanter i optimum, mens  $c$  blir en lineær funksjon av  $x$ . Hvis det er kapasiteten pr. avgang som blir den bindende restriksjonen, får vi en kvadratrotlov for de optimale  $f$  og  $N$ . I tilfellet der  $N$  er gitt, blir det som var en tredjerotslov, en kvadratrotlov, og det som var en kvadratrotlov blir en lineær sammenheng mellom etterspørsel og det tilgjengelige virkemiddelet. Hvis to restriksjoner gjør seg gjeldende, har vi ikke lenger noen mulighet til å tilpasse tilbudet til etterspørselen.

Disse sammenhengene gjør at virkningen på  $f$ ,  $N$  og  $c$  av eksogene etterspørselsskift og framkommelighetstiltak, blir ulik i de ulike situasjonene.

Vi ser likevel at eksogene etterspørselsskift alltid skal medføre en like stor økning i alle de dimensjonene av tilbudet som ikke er låst fast av restriksjonene. Når det gjelder framkommelighetstiltak er det annerledes. Siden frekvens og flatedekning inngår i generaliserte kostnader, skal økning i disse dimensjonene prioriteres på bekostning av kapasitet pr. avgang. Dette resultatet er vel kjent fra litteraturen, men det framheves ofte at et kollektivselskap som maksimerer profitt, ikke vil følge en slik oppskrift, men prioritere kapasitet pr. avgang. I vår modell er dette ikke riktig – kollektivselskapet vil ha samme interesse som trafikantene av å øke frekvens og flatedekning. Dette skyldes forutsetningen om at alle trafikanter opplever alle elementer av generaliserte kostnader likt.

På grunnlag av våre funn om optimal bruk av  $f$  og  $N$  kan vi anta at dersom vår modell hadde inkludert kostnadene ved trengsel om bord i generaliserte kostnader, ville vi fått at  $c$  skulle øke i samme takt som  $f$  og  $N$  også når tiltaket dreier seg om framkommelighet. Det gjenstår å vise.

Hvis en vil bruke noe av dette i praksis, bør en først finne ut om tilbudet man gir i utgangspunktet, er optimalt. Er det ikke det, finnes det jo gratis muligheter til å forbedre samfunnsøkonomien eller profitten. Én årsak til at kollektivtiltak kan komme dårlig ut i en nyttekostnadsanalyse, er nettopp at tilbudet før eller etter tiltaket ikke er optimalt bestemt, slik at det er uklart om endringen fører oss i riktig retning eller ikke.

Først når en veit hva den optimale løsningen vil være i utgangspunktet, kan en bedømme virkningen av etterspørselsøkning og økt framkommelighet.

## 6.4 Virkninger på tilskuddsbehovet

Tilskuddsbehovet er kostnaden minus billettinntektene. Kostnaden er  $C = C_1 + C_2$  (jfr. likning (5)). Kaller vi billettinntektene  $R$ , så er  $R = px$ . En endring i tilskuddsbehovet er altså  $dC - dR$ . Bruker vi samme framgangsmåte som i avsnitt 6.2, får vi

$$(76) \quad dR = p dx = px \cdot \frac{dx}{x} = px \cdot \left\{ (1 + I_\varepsilon) \frac{d\varepsilon}{\varepsilon} + \left( |El_G x| \frac{\omega m}{sG} + I_s \right) \frac{ds}{s} \right\}$$

$$(77) \quad dC_1 = C_1 \left\{ (1 + I_\varepsilon) \frac{d\varepsilon}{\varepsilon} + \left( |El_G x| \frac{\omega m}{sG} + I_s - \frac{r_1/h}{r_1/h + g_1 s} \right) \frac{ds}{s} \right\}$$

(78)

$$dC_2 =$$

$$C_2 \left\{ (El_s f + El_s N)(1 + I_\varepsilon) \frac{d\varepsilon}{\varepsilon} + \left[ (El_\varepsilon f + El_\varepsilon N) \left( |El_G x| \frac{\omega m}{sG} + I_s \right) - \frac{r_0/h + w\ell_0}{r_0/h + w\ell_0 + g_0 s} \right] \frac{ds}{s} \right\}$$

Av dette finner vi

(79)

$$d(C - R) = (C - R) \left\{ (1 + I_\varepsilon) \frac{d\varepsilon}{\varepsilon} + \left( |El_G x| \frac{\omega m}{sG} + I_s \right) \frac{ds}{s} \right\} \\ - C_1 \frac{r_1/h}{r_1/h + g_1 s} \cdot \frac{ds}{s} \\ - C_2 \left\{ (1 - El_\varepsilon f - El_\varepsilon N)(1 + I_\varepsilon) \frac{d\varepsilon}{\varepsilon} + \left[ (1 - El_s f - El_s N) \left( |El_G x| \frac{\omega m}{sG} + I_s \right) - \frac{r_0/h + w\ell_0}{r_0/h + w\ell_0 + g_0 s} \right] \frac{ds}{s} \right\}$$

Likning (79) gir endringen i tilskuddsbehovet i kroner. Hvis vi ønsker endringen relativt til  $C$  eller  $C - R$ , kan vi dele med dette på begge sider. Vi ser da at første linje i (79) sier at i utgangspunktet øker tilskuddsbehovet i samme takt som etterspørselen (se likning (76)). Linje 2 og 3 sier imidlertid at både økningen i  $C_1$  og  $C_2$  er mindre enn dette, slik at både kostnaden og underskuddet pr. reise reduseres når trafikken øker.

Den konkrete virkningen vil avhenge av hvilket av tilfellene som vi behandlet i avsnitt 6.3 som foreligger. Vi går ikke gjennom disse tilfellene på nytt: det er bare å sette inn elastisitetene som gjelder i hvert tilfelle, i likning (79).

### 6.4.1 Kommentar

I noen tilfeller, slik som i den nylig gjennomførte konseptvalgsutredningen av Oslo-pakke 3, brukes avsetninger til drift av kollektivtrafikken som er virkemiddel, uten at det er nærmere spesifisert hva pengene skal brukes til. Det er da vanskelig å bedømme om disse midlene faktisk trengs til det driftsopplegget som er valgt. Det kan tenkes at de brukes til fornuftige tiltak som ikke omfattes av vår modell. I det tilfellet kan man betrakte den resulterende etterspørselsøkningen som eksogent gitt i vår

forstand, og bruke likning (79) til å undersøke om de midlene som *ikke* blir anvendt på denne måten, er tilstrekkelig til å finansiere den optimale omlegginga av drifta som bør bli følgen av den økte etterspørselen. Hvis midlene brukes til framkommelighetstiltak, kan man på samme måte bruke formelen til å undersøke om den optimale tilpasningen til framkommelighetstiltakene lar seg finansiere.

Som vi pekte på i forrige avsnitt, bør en først finne ut om tilbudet man gir i utgangspunktet, er optimalt. Er det ikke det, finnes det jo gratis muligheter til å forbedre samfunnsøkonomien eller profitten.

## 6.5 Velferdsvirkningen

I forrige avsnitt har vi allerede beregnet en stor del av virkningen på  $W$ , nemlig det som står i klammeparentesen i (25) eller (35). Det er bare å snu fortegnet i likning (79) og multiplisere med  $1 + \lambda$ . Det som gjenstår er trafikantnyten. Kall trafikantnyten  $UB$ . Med henvisning til likning (49) og likning (79) har vi:

$$\begin{aligned}
 dW &= dUB - (1 + \lambda)d(C - R) \\
 &= \left( \int_G^\infty x(y) dy \right) \frac{d\varepsilon}{\varepsilon} - xdG - (1 + \lambda)d(C - R) \\
 (80) &= \left( \int_G^\infty x(y) dy \right) \frac{d\varepsilon}{\varepsilon} - Gx \frac{1}{G} \left[ \left( \frac{\partial G}{\partial f} \frac{\partial f}{\partial \varepsilon} + \frac{\partial G}{\partial N} \frac{\partial N}{\partial \varepsilon} \right) d\varepsilon + \left( \frac{\partial G}{\partial s} + \frac{\partial G}{\partial f} \frac{\partial f}{\partial s} + \frac{\partial G}{\partial N} \frac{\partial N}{\partial s} \right) ds \right] \\
 &\quad - (1 + \lambda)d(C - R) \\
 &= \left( \int_G^\infty x(y) dy \right) \frac{d\varepsilon}{\varepsilon} - \frac{Gx}{El_G x} \left( I_\varepsilon \frac{d\varepsilon}{\varepsilon} + I_s \frac{ds}{s} \right) - (1 + \lambda)d(C - R)
 \end{aligned}$$

Under visse vilkår kan denne formelen anvendes som en justering av det samfunnsøkonomiske regnestykket som gjøres på grunnlag av en transportmodellkjøring.

Anta for eksempel at en bruker transportmodellen til å teste vegprising. Vegprisingen leder til en viss nedgang i biltrafikken, og en del av denne finner vegen til kollektivtransport. I transportmodellen gir det ingen endringer i generaliserte kostnader for kollektivtrafikantene, og dermed ingen nytte for dem. Det gir heller ingen endring i driftsopplegget for kollektivtrafikken. Om nå kollektivselskapets kostnader i transportmodellen er beregnet på grunnlag av det kodede driftsopplegget, skjer det heller ingenting med dem. I det tilfellet kan resultatet fra en beregning etter formel (80) i sin helhet legges til resultatet fra nytteberegning med transportmodellen, som et grovt anslag på den virkelige nytten som oppstår på kollektivsida dersom selskapet utnytter mulighetene som de nye kundene gir.

Det kan tenkes at kostnadsberegningene i transportmodellen ikke er basert på kodede detaljerte data i modellen, men på en empirisk basert aggregert kostnadsfunksjon for hele området. Denne funksjonen vil tilta med etterspørselen. I så fall har en allerede tatt hensyn til kollektivselskapets inntekter og kostnader, så langt som førsteordensvirkningene rekker. Det eneste man ikke har fått med seg, er nytteendringen for brukerne og annenordensvirkningene for selskapet. En kan da bruke de to første leddene i (80) som et tillegg, og kanskje også legge til de leddene i (79) som avhenger av  $I_\varepsilon$  og  $I_s$ .

Endelig er det mulig at tiltaket som testes med modellen, ikke bare omfatter vegprising, men også det nye driftsopplegget på kollektivsida som man antar vil trenge i den forbindelsen. Tilsvarende kan det tenkes at man endrer driftsopplegget i transportmodellen i forbindelse med testing av framkommelighetstiltak. I de tilfellene fanges alle førsteordensvirkningene opp av beregningene i transportmodellen. Det gjelder også alle annenordensvirkningene, hvis man har vært forutseende. Da blir det dobbelttelling å ta med noe fra likning (80). Man kan imidlertid bruke likning (79) for å prøve om finansieringsforutsetningene holder.

En må altså tenke seg om før en bruker likning (80) som et tillegg til andre nytteberegninger. Vi behøver vel ikke minne om at en annen forutsetning for å bruke likningene er at tilbudet i utgangspunkt er noenlunde optimalt.

## 7 To perioder

Anta nå at antall driftstimer pr. år,  $h$ , fordeler seg på  $h_H$  høybelastningstimer og  $h_L$  lavbelastningstimer, og at kollektivtilbudet er forskjellig i de to periodene. Vi definerer andelen av høybelastningstimer  $\eta$  og andelen lavbelastningstimer  $1 - \eta$ :

$$(81) \quad \eta = \frac{h_H}{h}, \quad 1 - \eta = \frac{h_L}{h}$$

Uansett hvordan vi bruker tilgjengelige virkemidler i de to periodene, vil vi alltid anta at etterspørselen er større i høybelastningsperioden enn i lavbelastningsperioden.

Det er mange ulike måter som kollektivtilbudet kan være forskjellig på i de to periodene. Et vanlig brukt opplegg er å ha et grunntilbud som er det samme hele døgnet og kjøre ekstraavganger i rush. Ekstraavgangene kan kjøres med større busser enn de som ellers brukes. Et opplegg som bare kan brukes med tog, er å kople på flere vogner eller kople sammen flere togsett i rush. Disse to metodene gjør at kollektivselskapets optimale tilpasning i hver av periodene kan bestemmes helt eller nesten helt uavhengig av tilpasningen i den andre perioden, sjøl om de to periodene må dele på en felles ressurs, nemlig det rullerende materiellet i grunntilbudet/lavbelastningsperioden. Hvis derimot kapasiteten pr. avgang nødvendigvis må være den samme i begge perioder, er tilpasningen i periodene knyttet nærmere sammen, og dette gir et vanskeligere problem.

Prinsipielt kan vi tenke oss at billettprisen er ulik i de to periodene, og dette er også ønskelig ut fra et samfunnsøkonomisk synspunkt. Her vil vi legge til grunn at billettprisen faktisk er ulik i de to periodene, og at kapasiteten pr. avgang kan tilpasses enten ved egen kapasitet på ekstraavgangene i rush eller når det gjelder antall vogner/antall sammenkoblede togsett i rush. For enkelhets skyld forutsetter vi å anta at kapasiteten pr. avgang er en kontinuerlig variabel.

Nestbestetilfellene med felles kapasitet pr. avgang og felles billettpris vil likevel bli kort kommentert til slutt.

Som tidligere vil målfunksjonen være samfunnsøkonomisk velferd pr. driftstime, men den driftstimen vi nå ser på, er et veid gjennomsnitt av høy- og lavbelastningsperioden med andelen timer av hvert slag som vekter. For enkelhets skyld tar vi her bare for oss tilfellet  $N = 1$ .

### 7.1 Grunntilbud med ekstraavganger i rush

Vi bruker fotskrift  $L$  på lavtrafikkvariable,  $H$  på høytrafikkvariable,  $G$  på grunntilbudsvariable og  $E$  på ekstraavgangsvariable. Etterspørselen i de to periodene er altså  $x_H$  og  $x_L$ , med  $x_H > x_L$ . Åpenbart har vi  $f_G = f_L$  og  $f_G + f_E = f_H$ . Frekvensen er derfor minst like høy i høybelastningsperioden som i lavbelastningsperioden, med likhet bare dersom  $f_E = 0$ . Den teoretiske transportkapasiteten pr. time er  $c_G f_G = c_L f_L$  i lavtrafikkperioden og  $c_G f_G + c_E f_E$  i høybelastningsperioden. Vi kan definere  $c_H$ , gjennomsnittskapasiteten pr. rush-tidsavgang, ved  $c_G f_G + c_E f_E = c_H f_H$ .

Kostnaden pr. gjennomsnittlig driftstime,  $C$ , er kostnaden pr. år delt på antall driftstimer. Vi har:

$$\begin{aligned}
C &= \left\{ \left[ \frac{r_{0E}}{h} + \eta(w\ell_0 + g_{0E}s) \right] + \left[ \frac{r_{1E}}{h} + \eta g_{1E}s \right] c_E \right\} \frac{af_E}{S} \\
&+ \left\{ \left[ \frac{r_{0G}}{h} + (w\ell_0 + g_{0G}s) \right] + \left[ \frac{r_{1G}}{h} + g_{1G}s \right] c_G \right\} \frac{af_G}{S} \\
(82) \quad &= \eta \left\{ \left[ \frac{r_{0E}}{h_H} + (w\ell_0 + g_{0E}s) \right] + \left[ \frac{r_{1E}}{h_H} + g_{1E}s \right] c_E \right\} \frac{af_E}{S} \\
&+ \left\{ \left[ \frac{r_{0G}}{h} + (w\ell_0 + g_{0G}s) \right] + \left[ \frac{r_{1G}}{h} + g_{1G}s \right] c_G \right\} \frac{af_G}{S} \\
&= \eta(A_E + B_E c_E) \frac{a}{S} f_E + (A_G + B_G c_G) \frac{a}{S} f_G \\
&= \frac{a}{S} \left\{ \eta A_E (f_H - f_L) + \eta B_E (c_H f_H - c_L f_L) + A_G f_L + B_G c_L f_L \right\} \\
&= \frac{a}{S} \left\{ \eta A_E f_H + \eta B_E c_H f_H + (A_G - \eta A_E) f_L + (B_G - \eta B_E) c_L f_L \right\}
\end{aligned}$$

Første linje er kostnaden pr. gjennomsnittstime av ekstratilbudet. Legg merke til at de tids- og kilometeravhengige driftskostnadene er vektet med andelen av året der et ekstratilbud blir gitt. Andre linje er kostnaden pr. gjennomsnittstime av grunntilbudet. Tredje og fjerde linje er lik første og andre, bortsett fra at vi har satt  $\eta$  utenfor parentesene i tredje linje. Femte linje definerer  $A_E$ ,  $B_E$ ,  $A_G$  og  $B_G$  på samme måte som vi definerte  $A$  og  $B$  i tilfellet med én periode, nemlig som innholdet i de ulike klamreparentesene. Sjette linje bruker sammenhengene  $f_G = f_L$  og  $f_G + f_E = f_H$ ,  $c_G f_G = c_L f_L$  og  $c_G f_G + c_E f_E = c_H f_H$ . Syvende linje er en omgruppering av sjette linje.

Etterspørselen i høy- og lavbelastningsperioden er henholdsvis  $x_H(G_H)$  og  $x_L(G_L)$ . Siden det aldri lønner seg å kjøre med ubenyttet ekstrakapasitet over det mest belastede snittet, og siden ekstraavgangene har valgbar kapasitet pr. avgang slik at kapasiteten kan tilpasses i både høy- og lavbelastningsperioden, gjelder disse sammenhengene:

$$\begin{aligned}
(83) \quad c_L f_L &= \varphi^{-1} \frac{m}{a} x_L \\
c_H f_H &= c_G f_G + c_E f_E = \varphi^{-1} \frac{m}{a} x_H
\end{aligned}$$

Setter vi dette inn i  $C$  og bruker forkortelsene  $A_G - \eta A_E = A_{EG}$  og  $B_G - \eta B_E = B_{EG}$ , får vi

$$(84) \quad C = \left\{ \eta A_E f_H + A_{EG} f_L \right\} \frac{a}{S} + \left\{ \eta B_E \varphi^{-1} \frac{m}{S} x_H + B_{EG} \varphi^{-1} \frac{m}{S} x_L \right\}$$

Vi bemerker at  $A_{EG}$  og  $B_{EG}$  har usikre fortegn, men med mindre andelen av driftsåret med høybelastningstilbud er godt over 50 %, er de høyst sannsynlig positive.

### 7.1.1 Maksimeringsproblemet

Vi skal maksimere velferden i en gjennomsnittlig driftstime. Som i enperiodetilfellet vil profittmaksimering være et spesialtilfelle av dette, nemlig tilfellet der  $\lambda = \infty$ .

Bibetingelsene er at frekvensen  $f_H$  i høybelastningsperioden ikke er større enn maksimalt mulig eller tillatt frekvens, og at for begge typer avganger er kapasiteten pr.



avgang ( $c_G$  og  $c_E$ ) ikke større enn den maksimalt mulige,  $c_{\max}$ . Nå vil vi ikke bruke  $c_G$  og  $c_E$  som valgvariable, derfor må vi skrive om disse bibetingelsene.  $c_G = c_L$ , og med likning (83) finner vi lett at vilkåret  $c_L \leq c_{\max}$  er ekvivalent med

$$\frac{m}{a} x_L - \varphi c_{\max} f_L \leq 0$$

Med definisjonen av  $c_H$  og likning (83) finner vi likeledes at siden  $f_H \geq f_L$  er  $c_E \leq c_{\max}$  ekvivalent med

$$\frac{m}{a} (x_H - x_L) - \varphi c_{\max} (f_H - f_L) \leq 0$$

Maksimeringsproblemet blir:

$$(85) \quad \begin{aligned} \text{Max}_{p_H, p_L, G_H, G_L, f_H, f_L} \quad W = & \eta \int_{G_H}^{\infty} x_H(u) du + (1-\eta) \int_{G_L}^{\infty} x_L(u) du \\ & + (1+\lambda) \left\{ \eta p_H x_H + (1-\eta) p_L x_L - [\eta A_E f_H + A_{EG} f_L] \frac{a}{S} - \left[ \eta B_E \varphi^{-1} \frac{m}{S} x_H + B_{EG} \varphi^{-1} \frac{m}{S} x_L \right] \right\} \end{aligned}$$

gitt

$$p_H + E + V f_H^{-1} + L N^{-1} = G_H \quad (\mu_1)$$

$$p_L + E + V f_L^{-1} + L N^{-1} = G_L \quad (\mu_2)$$

$$f_H \leq \bar{f} \quad (\mu_3)$$

$$\frac{m}{a} (x_H - x_L) - \varphi c_{\max} (f_H - f_L) \leq 0 \quad (\mu_4)$$

$$\frac{m}{a} x_L - \varphi c_{\max} f_L \leq 0 \quad (\mu_5)$$

Alle valgvariablene er større enn null. Kuhn-Tuckerbetingelsene for maksimum blir da:

(86)

$$(KT 1) \quad \frac{\partial L}{\partial p_H} = (1+\lambda) \eta x_H - \mu_1 = 0$$

$$(KT 2) \quad \frac{\partial L}{\partial p_L} = (1+\lambda) (1-\eta) x_L - \mu_2 = 0$$

$$(KT 3) \quad \frac{\partial L}{\partial G_H} = -\eta x_H + (1+\lambda) \left[ \eta p_H - \eta B_E \varphi^{-1} \frac{m}{S} - \mu_4 \frac{m}{a} \right] \frac{\partial x_H}{\partial G_H} + \mu_1 = 0$$

$$(KT 4) \quad \frac{\partial L}{\partial G_L} = -(1-\eta) x_L + (1+\lambda) \left[ (1-\eta) p_L - B_{EG} \varphi^{-1} \frac{m}{S} + (\mu_4 - \mu_5) \frac{m}{a} \right] \frac{\partial x_L}{\partial G_L} + \mu_2 = 0$$

$$(KT 5) \quad \frac{\partial L}{\partial f_H} = -(1+\lambda) \eta \frac{a}{S} A_E + \mu_1 V f_H^{-2} - \mu_3 + \mu_4 \varphi c_{\max} = 0$$

$$(KT 6) \quad \frac{\partial L}{\partial f_L} = -(1+\lambda) \frac{a}{S} A_{EG} + \mu_2 V f_L^{-2} - \mu_4 \varphi c_{\max} + \mu_5 \varphi c_{\max} = 0$$

$$(KT 7) \quad \mu_3, \mu_4 \text{ og } \mu_5 \geq 0 \quad (= 0 \text{ når vedkommende bibetingelse ikke er bindende})$$

### 7.1.2 Prissetting

Av KT1 og KT3 får vi optimal prissetting i høybelastningsperioden:

$$(87) \quad \frac{p_H - B_E \varphi^{-1} \frac{m}{s} - \frac{\mu_4}{\eta(1+\lambda)} \frac{m}{a}}{p_H} = -\frac{\lambda}{1+\lambda} \cdot \frac{1}{El_{G_H} x_H}$$

Av KT2 og KT4 får vi optimal prissetting i lavbelastningsperioden:

$$(88) \quad \frac{p_L - \frac{1}{1-\eta} B_{EG} \varphi^{-1} \frac{m}{s} + \frac{\mu_4 - \mu_5}{(1-\eta)(1+\lambda)} \frac{m}{a}}{p_L} = -\frac{\lambda}{1+\lambda} \cdot \frac{1}{El_{G_L} x_L}$$

Lagrangemultiplikatoren  $\mu_4$  kan ses som skyggeprisen på ressursen kapasitet pr. ekstraavgang. Den bidrar til å heve  $p_H$  når optimal kapasitet på ekstravgangene er  $c_{max}$ , den høyest mulige. Skyggeprisen på kapasitet på grunntilbudet er  $\mu_5$ , og den bidrar på tilsvarende måte til å øke prisen i lavbelastningsperioden. Samtidig bidrar eksistensen av en kapasitetsskranke på ekstravgangene til å *redusere* prisen i lavtrafikkperioden. Grunnen er at det overfører trafikk til grunntilbudet i begge perioder.

Det kan vises at differansen mellom  $B_E$  og  $(1-\eta)^{-1} B_{EG}$  er  $(h/h_L)(B_E - B_G)$ . Dersom det rullende materiellet i ekstraavgangene og grunntilbudet er av samme type, men ulik størrelse, vil denne differansen være null eller nær null (parametrene i  $B_E$  og  $B_G$  vil være like). I fraværet av en bindende skranke på kapasiteten pr. avgang vil det derfor bare være én mulig grunn til at prisen i de to periodene skulle være ulik, nemlig ulik etterspørselselastisitet. Det stiller seg annerledes om man må sette inn en helt annen og tyngre type materiell i rush. Det er også mulig at det finnes faktorer utenom vår modell som tilsier prisdifferensiering. For eksempel kan fraværet av vegprising tilsi lavere pris i rushtida. Det er likevel interessant at det slett ikke er umulig at det er lite å vinne i samfunnsøkonomisk effektivitet ved prisdifferensiering.

Parameteren  $\lambda$  er enten skyggeprisen på offentlige midler eller skyggeprisen på et sektorbudsjett eller lokalt budsjett. Vi ser at når  $\lambda$  er null eller nær null, har eventuelle ulikheter i etterspørselselastisiteten ingen eller svært liten betydning, men dersom sektorbudsjettet er svært stramt, blir det viktig å utnytte denne kilden til inntektsøkning. Det samme gjelder i enda større grad om profittmaksimering er målet (uendelig  $\lambda$ ).

### 7.1.3 Frekvens

Siden det er tre bibetingelser som er ulikheter, har vi åtte mulige kandidater til løsning av maksimeringsproblemet. Ingen av dem gir opphav til motsigelser, men det er mulig at noen av dem likevel er uforenlige med de forutsetningene vi har gjort, men som ikke inngår eksplisitt i maksimeringsproblemet. Det gjelder at  $x_H > x_L$  og definisjonen av  $A_{EG}$  og  $B_{EG}$ .

#### Ingen bindende bibetingelser

$\mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = 0$  og

$$(89) \quad f_H^* = \sqrt{\frac{sV}{aA_E}} \cdot \sqrt{x_H}, \quad f_L^* = \sqrt{\frac{(1-\eta)sV}{aA_{EG}}} \cdot \sqrt{x_L}$$

### Bare bibetingelse 3 er bindende

$\mu_4 = \mu_5 = 0$  og

$$(90) \quad \begin{aligned} f_H^* &= \bar{f}, \quad f_L^* = \sqrt{\frac{(1-\eta)sV}{aA_{EG}}} \cdot \sqrt{x_L} \\ \mu_3 &= (1+\lambda)\eta \left( Vx_H \bar{f}^{-2} - \frac{a}{s} A_E \right) \end{aligned}$$

### Bare bibetingelse 4 er bindende

$\mu_3 = \mu_5 = 0$ .  $f_H$  og  $f_L$  kan finnes av følgende to likninger:

$$(91) \quad \begin{aligned} f_H &= f_L + (\varphi c_{\max})^{-1} \frac{m}{a} (x_H - x_L) \\ (1-\eta)Vx_L f_L^{-2} + \eta Vx_H f_H^{-2} &= \frac{a}{s} A_G \end{aligned}$$

Problemet er at dette gir opphav til en fjerdegradslikning, og sjøl om vi i prinsippet går inn for eksplisitte analytiske løsninger i dette arbeidsdokumentet, er det måte på hvor stygge formler vi vil ta med. Av samme grunn oppgir vi ikke  $\mu_4$ .

### Bare bibetingelse 5 er bindende

$\mu_3 = \mu_4 = 0$  og

$$(92) \quad \begin{aligned} f_H &= \sqrt{\frac{sV}{aA_E}} \cdot \sqrt{x_H}, \quad f_L = (\varphi c_{\max})^{-1} \frac{m}{a} x_L \\ \mu_5 &= (1+\lambda) (\varphi c_{\max})^{-1} \frac{a}{s} A_{EG} x_L^{-1} \left[ x_L - (1-\eta) (\varphi c_{\max})^2 \left( \frac{a}{m} \right)^2 \frac{sV}{aA_{EG}} \right] \end{aligned}$$

Denne løsningskandidaten er fullt mulig slik maksimeringsproblemet er formulert, men vi skal seinere se at den likevel er utelukket på grunn av  $x_H > x_L$  og definisjonen av  $A_{EG}$ .

### Bibetingelse 3 og 4 er bindende

$\mu_5 = 0$  og

$$(93) \quad \begin{aligned} f_H^* &= \bar{f}, \quad f_L^* = \bar{f} - (\varphi c_{\max})^{-1} \frac{m}{a} (x_H - x_L) \\ \mu_3 &= (1+\lambda) \left[ (1-\eta)Vx_L f_L^{*-2} + \eta Vx_H \bar{f}^{-2} - \frac{a}{s} A_G \right] \\ \mu_4 &= \frac{1+\lambda}{\varphi c_{\max}} \left[ (1-\eta)Vx_L f_L^{*-2} - \frac{a}{s} A_{EG} \right] \end{aligned}$$

### Bibetingelse 3 og 5 er bindende

$\mu_4 = 0$  og

$$(94) \quad \begin{aligned} f_H^* &= \bar{f}, \quad f_L^* = (\varphi c_{\max})^{-1} \frac{m}{a} x_L \\ \mu_3 &= (1+\lambda) \left[ \eta Vx_H \bar{f}^{-2} - \frac{a}{s} \eta A_E \right] \\ \mu_5 &= \frac{1+\lambda}{\varphi c_{\max}} \left[ \frac{a}{s} A_{EG} - (1-\eta)Vx_L f_L^{*-2} \right] \end{aligned}$$

#### Bibetingelse 4 og 5 er bindende

$\mu_3 = 0$  og

$$(95) \quad \begin{aligned} f_H^* &= (\varphi c_{\max})^{-1} \frac{m}{a} x_H, \quad f_L^* = (\varphi c_{\max})^{-1} \frac{m}{a} x_L \\ \mu_4 &= (1 + \lambda) \frac{a}{s} \eta A_E x_H^{-1} \left[ x_H - (\varphi c_{\max})^2 \left( \frac{a}{m} \right)^2 \frac{sV}{aA_E} \right] \\ \mu_5 &= \frac{1 + \lambda}{\varphi c_{\max}} \left[ \frac{a}{s} A_G - (\varphi c_{\max})^2 \left( \frac{a}{m} \right)^2 V (\eta x_H^{-1} + (1 - \eta) x_L^{-1}) \right] \end{aligned}$$

#### Alle bibetingelser er bindende

$f_H$  er da dobbeltbestemt, hvilket bare er mulig hvis parametrene har helt bestemte verdier. Vi kan se bort fra denne løsningskandidaten.

#### 7.1.4 Kommentar

Ved sammenlikning med avsnitt 4.2 finner vi: Dersom bibetingelse nr. 4 ikke er bindende, oppløses forbindelsen mellom tilbudet i høybelastningsperioden og lavbelastningsperioden, slik at løsningskandidatene blir formelt de samme som i énperiodetilfellet, bortsett da fra definisjonen av  $A$  og  $B$  i det tilfellet og  $A_G, A_E, B_E$  osv. i toperiodetilfellet. For å være mer presis:

- Løsningskandidaten når ingen bibetingelser er bindende er formelt lik kandidat-løsningene når ingen bibetingelser er bindende fra to separate maksimeringsproblemer, ett for hver periode.
- Løsningskandidaten med største mulige frekvens i høybelastningsperioden er formelt lik løsningskandidatene fra to separate maksimeringsproblemer, ett (høybelastning) hvor frekvensrestriksjonen er bindende og ett (lavbelastning) hvor ingen restriksjoner er bindende.
- Løsningskandidaten med største mulige kapasitet pr. avgang i lavbelastningsperioden er formelt lik løsningskandidatene fra to separate maksimeringsproblemer, ett (høybelastning) hvor ingen restriksjoner er bindende og ett (lavbelastning) hvor kapasitet pr avgang er bindende.
- Løsningskandidaten med største mulige frekvens i høybelastningsperioden og største mulige kapasitet i lavbelastningsperioden er formelt lik løsningskandidatene i to separate maksimeringsproblemer, ett (høybelastning) hvor frekvensrestriksjonen er bindende og ett (lavbelastning) hvor kapasitet pr avgang er bindende.
- Dessuten viser det seg at tilfellet der våre restriksjoner nr. 4 og 5 begge er bindende, er formelt lik løsningskandidatene fra to separate maksimeringsproblemer der restriksjonen på kapasitet pr avgang er bindende i begge. Grunnen er at tilpasningen av ekstratilbudet da kan gjøres som om etterspørselen etter grunntilbudets avganger i høybelastningsperioder er konstant.

Det er derfor to tilfeller hvor tilpasningen i høybelastningsperioden ikke kan gjøres uavhengig av tilpasningen i lavbelastningsperioden og omvendt, nemlig tilfellet der bare bibetingelse 4 er bindende og tilfellet der bibetingelse 3 og 4 er bindende. Disse tilfellene gir samtidig opphav til mer kompliserte formler for optimale frekvenser, naturligvis. Men alt i alt kan vi konkludere med at når tilbudet er organisert som et grunntilbud pluss ekstraavganger i rush, er det mulig å beregne optimal tilpasning i hver av periodene separat, unntatt dersom transportkapasiteten pr. avgang i rushtida ikke kan økes i optimumspunktet. Men sjøl da er det mulig, dersom transportkapasiteten pr. avgang i optimumspunktet heller ikke kan økes utenom rush.

### 7.1.5 Vilkår som må være oppfylt for at de enkelte løsningskandidatene skal være aktuelle

En mulig løsningskandidat må tilfredsstille visse vilkår som er gitt av ikke-negativitetskravet på Lagrangemultiplikatorene og ulikhetene som oppstår når en bibetingelse ikke er bindende. Vilklårene er oppsummert i tabellen nedenfor. De er nødvendige, men ikke alltid tilstrekkelige, siden det kan finnes vilkår som vi ikke har regnet ut.

Tabell 1 Nødvendige vilkår for at løsningskandidatene skal være aktuelle

Bindende	Grenser for $x_H$	Grenser for $x_L$
Ingen	$x_H < \frac{aA_E}{sV} \bar{f}^2$	$x_L < (\varphi c_{\max})^2 \left(\frac{a}{m}\right)^2 (1-\eta) \frac{sV}{aA_{EG}}$
3	$x_H \geq \frac{aA_E}{sV} \bar{f}^2$	$x_L < (\varphi c_{\max})^2 \left(\frac{a}{m}\right)^2 (1-\eta) \frac{sV}{aA_{EG}}$
4	$x_i < \varphi c_{\max} \frac{a}{m} f_i, f_i \leq \bar{f}, i = H, L \quad \& \quad (1-\eta)Vx_L f_L^{-2} + \eta Vx_H f_H^{-2} \geq \frac{a}{s} A_G$	
3 og 4	$x_H < \varphi c_{\max} \frac{a}{m} \bar{f}$	$c_{\max} \frac{a}{m} f_L > x_L \geq \frac{aA_{EG}}{(1-\eta)sV} f_L^2$ $(1-\eta)Vx_L f_L^{-2} + \eta Vx_H \bar{f}^{-2} \geq \frac{a}{s} A_G$
5	$x_H < \min\left(\frac{aA_E}{sV} \bar{f}^2, (\varphi c_{\max})^2 \left(\frac{a}{m}\right)^2 \frac{sV}{aA_E}\right)$	$x_L \geq (\varphi c_{\max})^2 \left(\frac{a}{m}\right)^2 (1-\eta) \frac{sV}{aA_{EG}}$
3 og 5	$\varphi c_{\max} \frac{a}{m} \bar{f} > x_H \geq \frac{aA_E}{sV} \bar{f}^2$	$x_L \geq (\varphi c_{\max})^2 \left(\frac{a}{m}\right)^2 (1-\eta) \frac{sV}{aA_{EG}}$
4 og 5	$\varphi c_{\max} \frac{a}{m} \bar{f} > x_H \geq (\varphi c_{\max})^2 \left(\frac{a}{m}\right)^2 \frac{sV}{aA_E}$	$\frac{a}{s} A_G \geq (\varphi c_{\max})^2 \left(\frac{a}{m}\right)^2 [(1-\eta)Vx_L^{-1} + \eta Vx_H^{-1}]$

Vilkårene når bare bibetingelse 5 er bindende impliserer  $A_{EG} > (1 - \eta) A_E$ . Definisjonen av  $A_{EG}$  gir oss da at vi må ha  $A_G > A_{EG}$ . Ved å inspisere formel (82) ser vi at dette ikke kan være tilfelle i praksis: Det forutsetter at minste kapasitet pr. avgang på ekstratilbudet er betydelig billigere i drift enn minste kapasitet pr. avgang på grunntilbudet. Vi kan derfor konkludere at denne løsningskandidaten er umulig i praksis.

## 7.2 Togtilfellet: Tilpasning av kapasitet pr. avgang er mulig

I tilfellet med et grunntilbud og et ekstratilbud i rush kunne vi øke kapasiteten pr. avgang i rush ved å bruke egne kjøretøy på ekstraavgangene. Disse kjøretøyene var da ikke i bruk i lavbelastningsperioden. Vi ser nå på et tilfelle der alle kjøretøyene er i bruk hele døgnet, men med mindre kapasitet pr. avgang i lavbelastningsperioden. Dette er naturligvis bare mulig i form av et tog, der vogner kan koples fra og parkeres når de ikke trengs. Utviklinga har gått vekk fra tog og over til faste togsett, som eventuelt kan koples sammen. Dette gjør vår antakelse om kontinuerlig tilpasning av kapasitet tvilsom for både T-bane, trikk og lokaltogsett. Ideen om et tog med vogner som kan koples av og på er imidlertid så god at vi ikke kan se bort fra at toget kan komme tilbake.

### 7.2.1 Kostnadene

Trekkenheten er den samme uansett tidsperiode, og vognene er også like, uansett hvor mange de er. Vi behøver altså ikke lenger noen fotskrift på variable som  $r_0$  og  $r_1$ ,  $g_0$  og  $g_1$ . Derimot er det mulig at mannskapsbehovet øker med antall vogner. Vi erstatter følgelig bemanningen pr. avgang i de tilfellene vi har behandlet til nå,  $\ell_0$ , med  $\ell_0 + \ell_1 c_H$  rush og  $\ell_0 + \ell_1 c_L$  utenom rush. Kapitalkostnaden for det rullende materiellet er uavhengig av om det brukes eller ikke, derfor er den proporsjonal med frekvensen i rush,  $f_H$ . Den årlige kostnaden blir:

(96)

$$\begin{aligned} C_{\text{ar}} &= (r_0 + r_1 c_H) \frac{a}{s} f_H + (w \ell_0 + g_0 s) \left( h_H \frac{a}{s} f_H + h_L \frac{a}{s} f_L \right) + (w \ell_1 + g_1 s) \left( h_H \frac{a}{s} c_H f_H + h_L \frac{a}{s} c_L f_L \right) \\ &= h_H \left( \frac{r_0}{h_H} + w \ell_0 + g_0 s \right) \frac{a}{s} f_H + h_H \left( \frac{r_1}{h_H} + w \ell_1 + g_1 s \right) \frac{a}{s} c_H f_H \\ &\quad + h_L (w \ell_0 + g_0 s) \frac{a}{s} f_L + h_L (w \ell_1 + g_1 s) \frac{a}{s} c_L f_L \\ &= h_H A_H \frac{a}{s} f_H + h_H B_H \frac{a}{s} c_H f_H + h_L A_L \frac{a}{s} f_L + h_L B_L \frac{a}{s} c_L f_L \end{aligned}$$

Den siste likheten i denne formelen definerer  $A_H$ ,  $A_L$ ,  $B_H$  og  $B_L$ . Det er aldri effektivt å kjøre rundt med mer kapasitet enn nødvendig, og siden vi fritt kan tilpasse kapasiteten i begge perioder, har vi:

(97) 
$$\frac{m}{a} x_i = \varphi c_i f_i, i = H, L$$

Setter vi dette inn i likning (96) og deler på  $h$ , får vi gjennomsnittskostnaden pr. driftstime,  $C$ :

$$(98) \quad C = \eta \left( A_H \frac{a}{s} f_H + B_H \varphi^{-1} \frac{m}{s} x_H \right) + (1-\eta) \left( A_L \frac{a}{s} f_L + B_L \varphi^{-1} \frac{m}{s} x_L \right)$$

## 7.2.2 Maksimeringsproblemet

I tilfellet med et grunntilbud og ekstraavganger var  $c_{\max}$  den øvre grensa for kapasitet pr. avgang, både for avgangene i grunntilbudet og ekstraavgangene. Siden grunntilbudet og ekstratilbudet blei kjørt samtidig i rush, ga dette opphav til en bibetingelse (bibetingelse 4) som involverte både frekvensen i lavtrafikkperioden og høybelastningsperioden. Det var dette som gjorde at optimal frekvens i begge perioder måtte fastlegges simultant dersom bibetingelse 4 var bindende. Videre gjaldt restriksjonen på største frekvens bare for høybelastningsperioden, siden sammenhengen  $f_H = f_G + f_E$  innebærer en lavere frekvens enn den maksimale i lavbelastningsperioden, med unntak av grensetilfellet der  $f_E = 0$ . I togtilfellet blir alle restriksjoner like uansett hvilken periode det dreier seg om, og de involverer utelukkende variable som tilhører en av periodene. Vi får derfor en tilpasning i hver periode som utelukkende bygger på data om denne perioden, eller m.a.o: Vi kan finne løsningen ved å gå tilbake til avsnitt 4.2.

For å vise det, stiller vi opp maksimeringsproblemet og Kuhn-Tusckerbetingelsene for løsning.

$$(99)$$

$$\underset{p_H, p_L, G_H, G_L, f_H, f_L}{Max} \quad W = \eta \int_{G_H}^{\infty} x_H(u) du + (1-\eta) \int_{G_L}^{\infty} x_L(u) du$$

$$+ (1+\lambda) \left\{ \eta p_H x_H + (1-\eta) p_L x_L - \eta \left( A_H \frac{a}{s} f_H + B_H \varphi^{-1} \frac{m}{s} x_H \right) - (1-\eta) \left( A_L \frac{a}{s} f_L + B_L \varphi^{-1} \frac{m}{s} x_L \right) \right\}$$

gitt

$$p_H + E + V f_H^{-1} + L N^{-1} = G_H \quad (\mu_1)$$

$$p_L + E + V f_L^{-1} + L N^{-1} = G_L \quad (\mu_2)$$

$$f_H \leq \bar{f} \quad (\mu_{3a})$$

$$f_L \leq \bar{f} \quad (\mu_{3b})$$

$$\frac{m}{a} x_H - \varphi c_{\max} f_H \leq 0 \quad (\mu_4)$$

$$\frac{m}{a} x_L - \varphi c_{\max} f_L \leq 0 \quad (\mu_5)$$

Alle valgvariablene er større enn null. Kuhn-Tuckerbetingelsene for maksimum blir da:

(100)

$$(KT\ 1) \quad \frac{\partial L}{\partial p_H} = (1 + \lambda)\eta x_H - \mu_1 = 0$$

$$(KT\ 2) \quad \frac{\partial L}{\partial p_L} = (1 + \lambda)(1 - \eta)x_L - \mu_2 = 0$$

$$(KT\ 3) \quad \frac{\partial L}{\partial G_H} = -\eta x_H + (1 + \lambda) \left[ \eta p_H - \eta B_H \varphi^{-1} \frac{m}{s} - \mu_4 \frac{m}{a} \right] \frac{\partial x_H}{\partial G_H} + \mu_1 = 0$$

$$(KT\ 4) \quad \frac{\partial L}{\partial G_L} = -(1 - \eta)x_L + (1 + \lambda) \left[ (1 - \eta)p_L - (1 - \eta)B_L \varphi^{-1} \frac{m}{s} - \mu_5 \frac{m}{a} \right] \frac{\partial x_L}{\partial G_L} + \mu_2 = 0$$

$$(KT\ 5) \quad \frac{\partial L}{\partial f_H} = -(1 + \lambda)\eta \frac{a}{s} A_H + \mu_1 V f_H^{-2} - \mu_{3a} + \mu_4 \varphi c_{\max} = 0$$

$$(KT\ 6) \quad \frac{\partial L}{\partial f_L} = -(1 + \lambda)(1 - \eta) \frac{a}{s} A_L + \mu_2 V f_L^{-2} - \mu_{3b} + \mu_5 \varphi c_{\max} = 0$$

$$(KT\ 7) \quad \mu_{3a}, \mu_{3b}, \mu_4 \text{ og } \mu_5 \geq 0 \quad (= 0 \text{ når vedkommende bibetingelse ikke er bindende})$$

Det er lett å forsikre seg om at dette gir akkurat samme løsning for hver av periodene som løsningen i énperiodetilfellet i avsnitt 4.2, og samme vilkår for at de enkelte løsningskandidatene skal gjelde. (Naturligvis med  $A_H$  og  $B_H$  eller  $A_L$  og  $B_L$  i stedet for  $A$  og  $B$ .)

Alt i alt har vi altså vist at med høvelige definisjoner kan optimal tilpasning i toperiodetilfellet separeres fullstendig i optimal tilpasning i hver av periodene dersom kapasitet pr. avgang kan tilpasses som når et tog kopler vogner på og av. Bortsett fra når største mulige kapasitet pr. avgang er optimalt, gjelder det samme også når tilbudet tilpasses ved hjelp av et grunntilbud og ekstraavganger i rush.

### 7.3 Samme kapasitet pr. avgang i begge perioder

Vi antar nå at det er de samme typene av busser som må brukes både i og utenom rush. Det gjelder da å velge rett kapasitet for disse bussene, i tillegg til valget av pris og frekvens i hver periode. Vi kan ta utgangspunkt i togtilfellet (siste linje i likning (96)) når vi definerer kostnadene  $C$ . Vi setter altså  $c_H = c_L = c$  i likning (96). Framleis kan vi anta at det ikke er lønnsomt å kjøre med ekstrakapasitet i rush, men vi kan ikke unngå det utenom rush. Vi har altså

$$(101) \quad \frac{m}{a} x_H = \varphi c f_H$$

For sikkerhets skyld tar vi også med en restriksjon som sikrer at antall passasjerer pr. avgang utenom rush ikke overstiger antall passasjerer pr. avgang i rush. M.a.o.:

$$(102) \quad x_L f_H - x_H f_L \leq 0$$

Maksimeringsproblemet blir nå



$$(103) \quad \begin{aligned} \text{Max}_{p_H, p_L, G_H, G_L, f_H, f_L, c} \quad W = & \eta \int_{G_H}^{\infty} x_H(u) du + (1-\eta) \int_{G_L}^{\infty} x_L(u) du \\ & + (1+\lambda) \left\{ \eta p_H x_H + (1-\eta) p_L x_L - \frac{a}{s} \left[ \eta A_H f_H + (1-\eta)(A_L + B_L c) f_L \right] - \eta B_H \varphi^{-1} \frac{m}{s} x_H \right\} \end{aligned}$$

gitt

$$p_H + E + V f_H^{-1} + L N^{-1} = G_H \quad (\mu_1)$$

$$p_L + E + V f_L^{-1} + L N^{-1} = G_L \quad (\mu_2)$$

$$f_H \leq \bar{f} \quad (\mu_3)$$

$$c \leq c_{\max} \quad (\mu_4)$$

$$x_L f_H - x_H f_L \leq 0 \quad (\mu_5)$$

Alle valgvariablene er større enn null, med unntak av  $p_L$ , som også kan være null. Kuhn-Tuckerbetingelsene for maksimum blir da:

$$(KT 1) \quad \frac{\partial L}{\partial p_H} = (1+\lambda) \eta x_H - \mu_1 = 0$$

$$(KT 2) \quad \frac{\partial L}{\partial p_L} = (1+\lambda)(1-\eta) x_L - \mu_2 \leq 0 \quad (= 0 \text{ hvis } p_L > 0)$$

$$(KT 3) \quad \frac{\partial L}{\partial G_H} = -\eta x_H + (1+\lambda) \left[ \eta p_H - \eta B_H \varphi^{-1} \frac{m}{s} + \frac{\mu_5}{(1+\lambda)} f_L \right] \frac{\partial x_H}{\partial G_H} + \mu_1 = 0$$

$$(104) (KT 4) \quad \frac{\partial L}{\partial G_L} = -(1-\eta) x_L + (1+\lambda) \left[ (1-\eta) p_L - \frac{\mu_5}{(1+\lambda)} f_H \right] \frac{\partial x_L}{\partial G_L} + \mu_2 = 0$$

$$(KT 5) \quad \frac{\partial L}{\partial f_H} = -(1+\lambda) \eta \frac{a}{s} A_H + \mu_1 V f_H^{-2} - \mu_3 - \mu_5 x_L = 0$$

$$(KT 6) \quad \frac{\partial L}{\partial f_L} = -(1+\lambda)(1-\eta) \frac{a}{s} (A_L + B_L c) + \mu_2 V f_L^{-2} + \mu_5 x_H = 0$$

$$(KT 7) \quad \frac{\partial L}{\partial c} = -(1+\lambda)(1-\eta) \frac{a}{s} B_L f_L - \mu_4 = 0$$

$$(KT 7) \quad \mu_3, \mu_4 \text{ og } \mu_5 \geq 0 \quad (= 0 \text{ når vedkommende bibetingelse ikke er bindende})$$

### 7.3.1 Prissetting

Anta først at  $p_L > 0$ . De optimale prisene finner vi fra KT1 pluss KT3 og fra KT2 (med likhet) pluss KT3. De er:

$$(105) \quad \frac{p_H - B_H \varphi^{-1} \frac{m}{s} + \frac{\mu_5}{\eta(1+\lambda)} f_L}{p_H} = -\frac{\lambda}{1+\lambda} \frac{1}{E l_{G_H} x_H}$$

$$(106) \quad \frac{p_L - \frac{\mu_5}{(1-\eta)(1+\lambda)} f_H}{p_L} = -\frac{\lambda}{1+\lambda} \frac{1}{E l_{G_L} x_L}$$

Vi ser at dersom antall reisende pr. avgang blir like stor utenom rush som i rush ( $\mu_5$  større enn null), skal vi justere prisen i rush ned og prisen utenom rush opp. Hvis dette ikke er tilfelle ( $\mu_5 = 0$ ), blir prissettingen i rush den samme som før. Vi skal ikke bry oss om hva som skjer utenom rush, sjøl om vi har samme kapasitet i begge perioder. Utenom rush skal vi sette prisen som om det ikke fantes kostnader. Hvis  $p_L$  skal være større enn null i det hele tatt, reduserer likning (106) seg til  $El_{G_L} x_L = -\frac{\lambda}{1+\lambda}$ . Det er ikke sikkert at dette er oppnåelig for noen verdi av priser og frekvenser, og i så fall skal vi sette prisen lik null.

Det er altså stor forskjell på prisene i rush og utenom rush dersom kapasiteten pr. avgang er lik i begge perioder.

### 7.3.2 Frekvens og kapasitet

Anta først at bibetingelse 5 ikke er bindende, dvs.  $\mu_5 = 0$ . Hvis bibetingelse 4 er bindende, har vi  $c = c_{max}$  og dermed umiddelbart av likning (103), som vil gjelde, at

$$f_H = (\varphi c_{max})^{-1} \frac{m}{a} x_H.$$

Hvis bibetingelse 3 er bindende, har vi  $f_H = \bar{f}$  og dermed  $c = \varphi^{-1} \frac{m}{a} x_H \bar{f}^{-1}$ .

Hvis ingen bibetingelse er bindende, har vi  $f_H = \sqrt{\frac{sV}{aA_H}} \cdot \sqrt{x_H}$ .

I alle disse tilfellene er  $f_L = \sqrt{\frac{sV}{a(A_L + B_L c)}} \cdot \sqrt{x_H}$ , der  $c$  i hvert tilfelle er gitt sammen

med  $f_H$  som beskrevet. Vi ser at frekvensen utenom rush er lavere enn den ville vært dersom kapasiteten hadde vært valgbar. Det er altså frekvensen, ikke prisen, som skal ta inn over seg at det ikke er kostnadsfritt å drive transport utenom rush.

Hvis bibetingelse 5 er bindende, blir formlene betydelig mer kompliserte.

## 7.4 Samme pris i begge perioder

Å kreve samme billettpris i begge perioder er en nestbestelsning, dvs. samfunnsøkonomisk nytte er mindre når denne restriksjonen pålegges. Prisen i rush vil bli for lav, og dermed etterspørselen i rush for høy. Det omvendte vil være tilfelle utenom rush. Ut fra det vi har sagt om prissetting i avsnitt 7.1 er det likevel grunn til å anta at det samfunnsøkonomiske tapet i tilfellet med et grunntilbud og ekstraavganger er lite eller ingenting. Det stiller seg litt annerledes i togtilfellet (avsnitt 7.2). Den optimale prisforskjellen vil være større, fordi  $B_H$  inneholder kapitalkostnaden for vognene, noe  $B_L$  ikke gjør. Dermed blir nestbestelsningen relativt dårligere. Med utgangspunkt i maksimeringsproblemet for togtilfellet kan vi utlede følgende vilkår for prissettingen når prisen  $p$  skal være den samme i begge perioder:

$$(107) \quad \eta \frac{\partial x_H}{\partial G_H} \left[ \frac{\lambda}{1+\lambda} \frac{1}{El_{G_H} x_H} + \frac{p - B_H \varphi^{-1} \frac{m}{s} - \frac{\mu_4}{\eta(1+\lambda)} \frac{m}{a}}{p} \right] \\ + (1-\eta) \frac{\partial x_L}{\partial G_L} \left[ \frac{\lambda}{1+\lambda} \frac{1}{El_{G_L} x_L} + \frac{p - B_L \varphi^{-1} \frac{m}{s} - \frac{\mu_5}{(1-\eta)(1+\lambda)} \frac{m}{a}}{p} \right] = 0$$

Hvis uttrykkene i klammeparentesene settes til null, får vi den optimale prissettingen i hver av periodene. Men de kan vanskelig begge bli null så lenge prisen skal være den samme i begge perioder, medmindre  $B_H$  er lik  $B_L$ , ingen restriksjoner er bindende og elastisitetene er de samme. Følgelig sier likningen at vi skal avveie en litt for høy pris i den ene perioden mot en litt for lav pris i den andre. Antall driftstimer og elastisiteten i hver av periodene teller med i denne avveiningen.

Når det gjelder tilfellet der kapasiteten nødvendigvis må være lik i begge perioder, viser avsnitt 7.3 at vi risikerer et mye større tap ved å kreve samme pris i begge perioder. Her er det jo nemlig optimalt med en svært lav pris utenom rush og en tilsvarende høy pris i rush.

Vi har sett at den optimale prisdifferensieringen mellom periodene i høy grad avhenger av hvordan kapasiteten pr. avgang kan tilpasses. Det samme gjelder behovet for slik prisdifferensiering og tapet ved å kaste vrak på den. Denne konklusjonen har muligens ikke vært trukket før i litteraturen.

## 8 Konklusjon og drøfting av anvendelser

I dette notatet har vi stilt opp et optimeringsproblem for driften av et kollektivsystem i to varianter (formel (25) og (35)) og løst problemet fullstendig, med angivelse av vilkårene for hvilken av løsningskandidatene som gjelder i et konkret tilfelle. Vi har vist at problemet gir samfunnsøkonomisk beste løsning og profittmaksimering som spesialtilfeller, og har pekt på at forskjellen mellom de to tilfellene ligger i prissettingen, ikke i prinsippene for valg av frekvens, flatedekning og kapasitet pr. avgang.

Vi har deretter brukt skiftanalyse på løsningen for å finne nytten av fire typer av tiltak: Tiltak for å øke den øvre grensa for frekvens, tiltak for å øke den øvre kapasiteten pr. avgang, tiltak for å bedre framkommeligheten, og tiltak utenom modellen som øker antall kollektivtrafikanter. Resultatene fra skiftanalysene kan enten brukes som generell vegledning til hvordan driftsopplegget bør endres når denne typen skift forekommer, eller til å gjennomføre enkle nyttekostnadsanalyser av tiltak som gir slike skift. To ting er av spesiell betydning i den forbindelsen.

For det første gjelder det å klargjøre om driftsopplegget i utgangspunktet tilsvarer den optimale løsningen av vårt optimeringsproblem, for eksempel når det gjelder forholdet mellom antall linjer og frekvensen på linjene, eller forholdet mellom frekvensen og kapasiteten pr. avgang. Om det ikke er tilfelle, finnes det en billig eller gratis måte å forbedre systemet på.

For det andre gjelder det å klargjøre hvilke restriksjoner som er bindende i den optimale løsningen. Dette påvirker i vesentlig grad hvilke endringer som bør gjøres i driftsopplegget når det forekommer eksogene skift i etterspørselen eller når det gjennomføres framkommelighetstiltak. Det påvirker naturligvis også nytten av tiltak for å avskaffe restriksjonene.

En viktig generell retningslinje for utforming og endring av kollektivtilbudet, er den som omtales i avsnitt 4.2: I mangel av muligheter for å utvide drifta, skal kollektivselskapet øke prisen for at ikke avgangene skal bli overfylt. Eller omvendt: Nyttan av investeringer som gjør det mulig å utvide drifta, omfatter også nytten av lavere optimale priser. I dette avsnittet vises det hvordan kollektivselskapets underskudd ikke må være større enn ventetidskostnadene dersom det skal drives optimalt med største mulige frekvens og største mulige kapasitet pr. avgang.<sup>5</sup> Samtidig må grenseinntekta være større enn null.

En annen viktig generell retningslinje trekkes i avsnitt 6.3.3: Eksogene etterspørselsskift skal alltid medføre en like stor økning i alle de dimensjonene av tilbudet som ikke er låst fast av restriksjonene. Når det gjelder framkommelighetstiltak er det annerledes. Frekvens og flatedekning skal da prioriteres på bekostning av kapasitet pr. avgang. Vi har grunn til å anta at dette ville vært annerledes dersom kostnadene ved trengsel om bord hadde vært inkludert i modellen, og at resultatet da hadde vært at tilbudet skal utvides like mye i alle frie dimensjoner.

I kapittel 7 viser vi at med høvelige definisjoner kan optimal tilpasning i toperiode-tilfellet separeres fullstendig i optimal tilpasning i hver av periodene dersom kapasitet pr. avgang kan tilpasses som når et tog kopler vogner på og av. Bortsett fra når største

---

<sup>5</sup> Dette gjelder ved profittmaksimering. Det samfunnsøkonomiske vilkåret er litt slakkere.

mulige kapasitet pr. avgang er optimalt, gjelder det samme også når tilbudet tilpasses ved hjelp av et grunntilbud og ekstraavganger i rush. Dette er nyttige resultater når det gjelder å bruke modellen sammen med en transportmodell som skiller mellom etterspørselen i rush og utenom rush. Den optimale prisdifferensieringen mellom periodene i høy grad vil avhenge av hvordan kapasiteten pr. avgang kan tilpasses. Det samme gjelder behovet for slik prisdifferensiering og tapet ved å kaste vrak på den. Behovet er størst når en er nødt til å bruke samme kapasitet pr. avgang både i og utenom rush. Denne konklusjonen har muligens ikke vært trukket før i litteraturen.

Den viktigste forutsetningen for vår modell er at alle trafikanter opplever reisekostnadene, inkludert kvalitetsaspektene ved reisa, på samme måte. Så urealistisk som det enn er, er det likevel en normal forutsetning i transportøkonomien, og denne forutsetningen hindrer ikke sammenlikning med andre beregninger som bygger på det samme, eller integrasjon med transportmodeller som også gjør det. Andre viktige forutsetninger har med graden av aggregering å gjøre. Innfører vi en uakseptabel forenkling om vi antar at alle reiser har gjennomsnittlig lengde, eller at alle kollektivlinjer har samme linjelengde, rundturtid og frekvens? Den sistnevnte forutsetningen kan testes innafor modellsystemet i notatet vårt, i og med at vi også har utarbeidet løsningene for enkeltlinjer.

Vår modell kan som nevnt anvendes som en tilbudsmodell, som sammen med en etterspørselsmodell (en transportmodell) kan utgjøre et mer fullstendig system for å evaluere transporttiltak. Siden de to sidene har ulikt aggregeringsnivå, er det imidlertid en del utfordringer. Hovedproblemet er hvordan resultater fra tilbudsmodellen skal føres tilbake til transportmodellen på den enkleste og raskeste måten. Dersom for eksempel tilbudsmodellen tilsier endring i antall linjer, vil det medføre omkodning i nettverksdelen av transportmodellen, slik at en "kjøring" av modellsystemet som helhet vil bestå av mye manuelt arbeid. Det beste en kan oppnå når det gjelder antall linjer, er derfor trolig at tilbudsmodellen i utgangspunktet gir visse ideer til kodingen av nettverket, som siden holdes fast.

Når det gjelder frekvens, er mulighetene for automatisk oppdatering av transportmodellen trolig bedre. En full kjøring vil likevel bestå av mange gjentatte kjøringar av etterspørselsmodell og tilbudsmodell i loop, og vil ta tid.

En fordel ved å bruke vår modell som tilbudsmodell, er at den forhindrer "overcrowding", altså at etterspørselen pr. avgang overstiger kapasiteten pr. avgang, slik at kostnadene for kollektivsystemet ikke kan bli urealistisk lave.

Både når det gjelder generell vegledning, nyttekostnadsanalyse og integrering i et transportmodellsystem gjelder det at vi har riktige data til modellen vår. Det er det langt fra umulig å skaffe. Mye relevante data finnes i årsmeldingene fra kollektivselskapene, for eksempel Oslo sporveier. Enkelte typer data, som hvordan drivstofforbruk og kapitalkostnad henger sammen med kjøretøystørrelse (kapasitet pr. avgang), kan det trenge egne analyser for å frambringe. Arbeidet med å finne riktige data til aktuelle norske anvendelser gjenstår.

## Litteraturliste

- Minken, H. og G. Dahl (2007) Trange grenser for frekvensøkning på T-banen. *Samferdsel* nr. 10/2007.
- Small, K.A (2004) Road pricing and public transport. In: G. Santos (ed.) *Road Pricing – Theory and Evidence*. Elsevier, Amsterdam.
- Steinsland, C. (2008) Systemdokumentasjon Stratos. Arbeidsdokument ØL/2097/2008, TØI.
- Sydsæter, K. (1990) Matematisk analyse. Bind II. Universitetsforlaget.
- SVV (2006) Konsekvensanalyser. Håndbok 140.
- Tirole, J. (1988) *The Theory of Industrial Organization*. MIT Press, New York.

**Besøks- og postadresse:**

Transportøkonomisk institutt  
Gaustadalléen 21  
NO 0349 Oslo

Telefon: 22 57 38 00  
Telefaks: 22 60 92 00  
E-post: [toi@toi.no](mailto:toi@toi.no)

[www.toi.no](http://www.toi.no)



**Transportøkonomisk institutt  
Stiftelsen Norsk senter for samferdselsforskning**

- utfører forskning til nytte for samfunn og næringsliv
- har rundt 70 forskere med høy, flerfaglig samferdselskompetanse samarbeider med en rekke samfunnsinstitusjoner, forsknings- og undervisningssteder i Norge og i utlandet
- gjennomfører forsknings- og utredningsoppdrag av høy kvalitet innen områder som trafikk sikkerhet, kollektivtransport, miljø, reisevaner, reiseliv, planlegging, beslutningsprosesser, transportøkonomi og næringslivets transporter
- driver aktiv forskningsformidling gjennom TØI-rapporter, Internett, tidsskriftet Samferdsel og andre nasjonale og internasjonale tidsskrifter
- deltar i CIENS, Forskningscenter for miljø og samfunn, i Forskningsparken nær Universitetet i Oslo