



**TØI notat  
1040/1996**

# **Lønnsomhetsberegning og valg av vegprosjekter som er avhengige av hverandre**

**Harald Minken**

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:** *Lønnsomhetsberegning og valg av vegprosjekter som er avhengige av hverandre*

**Forfatter:** *Harald Minken*

TØI notat 1040/1996  
Oslo, august 1996  
24 sider  
ISSN 0806-9999

**Finansieringskilde:** Vegdirektoratet

**Prosjekt:** O-1926 TØ-småprosjekter

**Prosjektleder:** Harald Minken, cand oecon

**Emneord:** Nyttekostnadsanalyse  
Prosjektvalg  
Avhengighet

**Sammendrag:**

For å få til en ensartet og mest mulig riktig praksis når vegkontorene nå beregner lønnsomheten av prosjekter som kan inngå i neste vegplan, har Vegdirektoratet henvendt seg til TØI og bedt om en utredning av spørsmålet om hvordan en skal ta hensyn til avhengighet mellom prosjekter under beregningene.

Dette notatet inneholder en drøfting av problemstillingen og en skisse til løsninger på kort sikt. Materialet til notatet er delvis hentet fra et pågående arbeid i prosjektet «Samfunnsøkonomiske analyser av infrastrukturinvesteringer i samferdselssektoren», som finansieres av Norges forskningsråd, program for logistikk- og transportforskning (PROTRANS). Deler av notatet vil derfor, eventuelt i omarbeidet form, senere inngå i en sluttrapport fra dette prosjektet.

**Title:** *Interdependency and Cost-benefit Analysis*

**Author:** *Harald Minken*

TØI working report 1040/1996  
Oslo, August 1996  
24 pages  
ISSN 0806-9999

**Financed by:** The Norwegian Public Road Administration

**Project:** O-1926 TØ-projects

**Project manager:** Harald Minken, cand oecon

**Key words:** Cost-benefit analysis  
Project selection  
Interdependency

**Summary:**

The National Road Authority of Norway is currently performing cost-benefit analyses of candidate projects for the next Road Plan. The Institute of Transport Economics have been asked to provide guidelines on how to treat interdependency among projects in these calculations.

This note discusses the problem of interdependency and provides immediate guidelines on how to tackle the problem in the calculations now going on. Parts of the material are later to be included in the final report of a broader research project, «Social efficiency analyses of infrastructure investments in the transport sector».

**Language of working report:** Norwegian

---

*Notatet kan bestilles fra:  
Transportøkonomisk institutt, biblioteket,  
Postboks 6110 Etterstad, 0602 Oslo  
Telefon 22 57 38 00 - Telefax 22 57 02 90*

---

*The working report can be ordered from:  
Institute of Transport Economics, the library,  
PO Box 6110 Etterstad, N-0602 Oslo, Norway  
Telephone +47 22 57 38 00 Telefax +47 22 57 02 90*

# Forord

Vegdirektoratet har henvendt seg til Transportøkonomisk institutt (TØI) for å få en utredning om hvordan en skal ta hensyn til avhengighet mellom prosjekter ved prioriteringer til neste vegplan. Utfordringen har vært å få til en mest mulig ensartet og riktig praksis som kan brukes av Vegkontorene ved beregninger av prosjekters lønnsomhet.

Dette notatet inneholder en drøfting av problemstillingen, tar opp teoretiske prinsipper og en skisse til løsninger på kort sikt. Materialet til notatet er delvis hentet fra et pågående arbeid i prosjektet «Samfunnsøkonomiske analyser av infrastrukturinvesteringer i samferdselssektoren», som finansieres av Norges forskningsråd, program for logistikk- og transportforskning (PROTRANS). Deler av notatet vil derfor, eventuelt i omarbeidet form, senere inngå i en sluttrapport fra dette prosjektet.

Oslo, august 1996

TRANSPORTØKONOMISK INSTITUTT

*Olav Eidhammer*  
avdelingsleder



## **Innhold**

<b>Sammendrag</b> .....	I
<b>1 Bakgrunn</b> .....	1
<b>2 Problemstillinger</b> .....	1
<b>3 Et eksempel på avhengighet mellom prosjekter</b> .....	3
<b>4 Teori</b> .....	8
4.1 Prosjektvalg under avhengighet mellom prosjektene .....	8
4.2 Identifisering av uavhengige og avhengige prosjekter.....	14
4.4 Dynamisk prosjektvalg, eller valg av utbyggingsrekkefølge. ....	16
<b>5 Praktisk tillemping på kort sikt</b> .....	17
5.1 Grunnlaget for anbefalingen .....	18
5.2 Forslag til framgangsmåte .....	19
5.3 Avslutning.....	21
<b>6 Elastisk etterspørsel</b> .....	22
<b>7 Konklusjoner og forslag til videre arbeid</b> .....	23
<b>Litteratur</b> .....	24

---



Sammendrag:

## Lønnsomhetsberegning og valg av vegprosjekter som er avhengige av hverandre

Lønnsomheten av et prosjekt i by vil ofte avhenge av hvilke andre prosjekter som gjennomføres. Det kan være vanskelig å vite hvilke forutsetninger en skal legge til grunn når en nyttekostnadsberegner et slikt prosjekt. For å få til en ensartet og mest mulig riktig praksis når vegkontorene nå beregner lønnsomheten av prosjekter som kan inngå i neste vegplan, har Vegdirektoratet henvendt seg til TØI og bedt om en utredning av spørsmålet.

Dette notatet tar opp teoretiske prinsipper og praktisk tillempling ved nytteberegning av prosjekter som er avhengige av hverandre.

En teoretisk riktig framgangsmåte går ut på å danne alle mulige kombinasjoner av prosjektene (danne alle tenkelige «prosjektpakker»), og trafikkberegne og lønnsomhetsberegne hver eneste kombinasjon. Blant de kombinasjonene som oppfyller budsjettbetingelsen, bør den med høyest nåverdi velges. Verken nyttekostnadsbrøk eller nåverdi for de avhengige prosjektene enkeltvis vil være veldefinerte størrelser, så disse indikatorene bør bare gjengis på prosjektpakke-nivå.

Et slikt arbeid vil ofte være uoverkommelig. Et første steg til å gjøre arbeidet overkommelig, vil være å dele prosjektporteføljen i avhengighetsgrupper, i den grad det lar seg gjøre. Innen hver avhengighetsgruppe vil en måtte danne alle mulige kombinasjoner av de avhengige prosjektene. Avhengighetsgruppene er innbyrdes uavhengige. Imidlertid, dersom prosjektene ikke er delelige, vil det ikke finnes noen enkel regel for hvilken kombinasjon som skal velges fra hver avhengighetsgruppe, og heller ikke for hvordan en skal prioritere mellom vinnerne fra hver avhengighetsgruppe for å oppnå størst mulig samlet nåverdi. Vi foreslår derfor å eksperimentere med fordeling av budsjettet til hver avhengighetsgruppe for å komme fram til den beste samlede prosjektpakken. Alternativt kan en eksperimentere med å bruke ulike skyggepriser på budsjettkroner under nåverdiberegningene.

Skjønnsmessige vurderinger kan også måtte gjøres for å redusere arbeidet til overkommelige dimensjoner. Vi har gitt noen mulige kriterier en kan ta utgangspunkt i ved utøvelsen av skjønnet.

Prosjektvalgmodellen SPIN (**S**trategisk **p**rosjektvalg **i** nettverk) er utarbeidet på TØI for å kunne velge mellom avhengige prosjekter på en teoretisk tilfredsstillende og relativt rask måte. Vi antar imidlertid at det ikke er aktuelt

---

Notatet kan bestilles fra:

Transportøkonomisk institutt, Postboks 6110 Etterstad, 0602 Oslo

Telefon: 22 57 38 00    Telefax: 22 57 02 90

å ta denne modellen i bruk i det arbeidet som nå skal gjøres på vegkontorene med den nye vegplanen.

*Tre forslag til videre oppfølging framgår av notatet:*

- For det første bør vegkontorenes erfaringer med avhengighetsproblematikken i denne omgangen systematiseres og analyseres.
- For det andre bør et arbeid med å gjøre SPIN-modellen tilgjengelig for vegkontorene settes iverk hvis erfaringene tilsier det.
- For det tredje bør et arbeid med å vurdere størrelsen på de feil som kan gjøres ved å anvende EFFEKT til lønnsomhetsberegninger i bymessige strøk, settes igang. Feil på grunn av at etterspørselen er elastisk og feil på grunn av at avhengige prosjekter behandles som uavhengige, bør studeres hver for seg og i sammenheng.



## 1 Bakgrunn

Ved nyttekostnadsberegninger av vegprosjekter i byområder benytter en i dag det samme verktøyet som for prosjekter i riksvegnettet forøvrig, nemlig EFFEKT 5. Lønnsomheten av et prosjekt i by vil imidlertid ofte avhenge av hvilke andre prosjekter som gjennomføres. Det kan være vanskelig å vite hvilke forutsetninger en skal legge inn i EFFEKT 5 når en nyttekostnadsberegner et slikt prosjekt. Det hersker da også ulike praksis på vegkontorene på dette området.

For å få til en ensartet og mest mulig riktig praksis når vegkontorene nå beregner lønnsomheten av prosjekter som kan inngå i neste vegplan, har Vegdirektoratet henvendt seg til TØI og bedt om en utredning av spørsmålet. Dette notatet inneholder en slik utredning. Hovedvekta er lagt på praktiske anbefalinger som kan gjennomføres på kort sikt. Den teoretiske drøftingen vil imidlertid vise at problemet har mange sider som ikke kan løses på kort sikt. I konklusjonen har vi derfor også skissert måter å følge opp dette på.

## 2 Problemstillinger

La oss tenke oss et vegkontor som skal lønnsomhetsberegne en gruppe på f.eks. 5 til 10 prosjekter som alle er kandidater til å bli med i vegplanen for 1998-2007, og som alle befinner seg i samme byområde. Som en følge av det utredningsarbeidet som har vært gjort, er utformingen av hvert av prosjektene klarlagt, og alle data om prosjektene foreligger, med unntak av hvordan de vil innvirke på trafikkmengdene på de ulike delene av vegsystemet i byen. Lønnsomheten skal beregnes med EFFEKT 5.

Lønnsomheten av en forbedring i infrastrukturen avhenger i høy grad av hvor mange trafikanter som vil benytte den forbedrede infrastrukturen.

**Definisjoner:** Betrakt en gruppe prosjekter. Det hersker *avhengighet på etterspørselssida* mellom prosjektene i gruppa dersom antallet trafikanter som vil benytte forbedringene, for minst ett av prosjektenes del avhenger av hvilke av de andre prosjektene som implementeres. Et prosjekt hvor antallet trafikanter som vil benytte forbedringen, *ikke* avhenger av hvilke av de andre prosjektene som implementeres, kaller vi i dette notatet *uavhengig*. (Det *kan* altså finnes uavhengige prosjekter i en gruppe prosjekter der det hersker avhengighet på etterspørselssida).

Trolig er avhengighet på etterspørselssida mye hyppigere forekommende i byområder enn ellers, bl.a. fordi det reint geografisk er kortere avstand mellom prosjektene i by, og fordi rutevalgsmulighetene er fler. Uten å prøve på en nærmere forklaring av begrepet, kan vi kanskje si at det hersker en større grad av *sammenbundethet* i vegnettet i byområder.

Avhengighet på etterspørselssida byr på problemer med lønnsomhetsberegninger av prosjektene. La oss f.eks. si at prosjekt A er avhengig på etterspørselssida av prosjekt B, men ingen andre. Da kan vi beregne to lønnsomheter for prosjekt A - med og uten prosjekt B på plass. Hvilken skal vi velge?

Hvis nå prosjekt C er uavhengig av de øvrige, så finns det en entydig lønnsomhet for det. Hvordan kan vi så tidlig og enkelt som mulig identifisere de prosjektene som er uavhengige av de øvrige, og på den måten redusere mengden av prosjekter som må undergis en særskilt behandling på grunn av avhengighet?

Prosjektene behøver ikke gjennomføres samtidig. Tvert imot vil det være en viktig avgjørelse hvilke som kan gjennomføres i den første 4-årsperioden, og hvilke som utsettes til de siste 6 år i perioden. Vi står altså overfor et problem med å velge den beste utbyggingsrekkefølgen på prosjektene, hva enten de er avhengige eller ikke. Hvordan skal dette problemet angripes?

Disse problemstillingene kan oppsummeres slik:

1. Identifisering av avhengige og uavhengige prosjekter.
2. Prosjektvalg under avhengighet mellom prosjektene.
3. Dynamisk prosjektvalg, eller valg av utbyggingsrekkefølge.

Av grunner som vil framgå etterhvert, behandler vi problemstilling 1 og 2 i omvendt rekkefølge.

En kan godt tenke seg at det finnes andre former for avhengighet mellom prosjekter enn via etterspørselen eller trafikkmengdene. Farta og dermed f.eks. ulykkene på en del av vegen kan avhenge av vegstandard og skilting på nærliggende deler av vegen. Dette kan påvirke lønnsomhetsberegninger for prosjekter i hver av de to delene. Anleggskostnadene for et prosjekt kan avhenge av hvor mange tilsvarende prosjekter som er gjennomført tidligere, eller av hvor mange andre prosjekter som gjennomføres samtidig. Vi ser i det følgende bort fra slike former for avhengighet.

Nyttekostnadsanalyser i bymessige strøk reiser særegne problemer. I byområder finnes det en mye større mulighet enn ellers til å velge kollektive transportmidler. Grunnideen i EFFEKT-beregningene er imidlertid å finne endringer i kostnadene ved å avvikle gitte trafikkstrømmer (en gitt til-fra-matrise). Med prosjekt A,B, C og D på plass er det tenkelig at vegnettet er blitt så godt at folk trekkes fra kollektivreiser til bil. M.a.o. er trafikkstrømmene ikke lenger uavhengig av hva vi gjør i nettet, slik som beregningsmetoden forutsetter.

Byområder kan også være preget av kapasitetsproblemer i vegnettet og andre deler av infrastrukturen. Dette gir opphav til køer. Den samtidige forekomsten av køproblemer og konkurranse fra kollektivtrafikken kan tenkes å komplisere de tre problemstillingene vi behandler i dette notatet.

For det første vil en avhengighet som har sitt utspring på etterspørselssida, smitte over til kostnadssida gjennom at køene påvirker reisekostnadene. Isolert sett innebærer ikke dette at noen av resonnementene og anbefalingene i det følgende blir ugyldige, såvidt vi kan se, men det innebærer at avhengighetene strengt tatt er mer omfattende enn vi har gitt uttrykk for med begrepet «avhengighet på etterspørselssida». Vi velger likevel å opprettholde dette begrepet i drøftingene nedenfor.

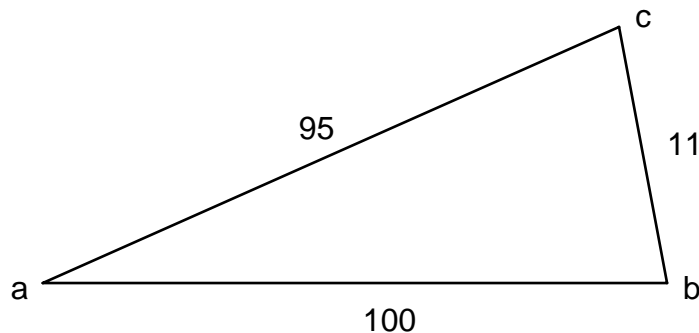
For det andre vil grunnforutsetningen i vegvesenets beregningsmetode, nemlig at trafikkstrømmene er uendret med og uten tiltakene, naturligvis kunne gi opphav til feil når trafikkstrømmene i virkeligheten er funksjoner av reisekostnadene. Disse feilene kan tenkes å være av ulik størrelse med og uten avhengighet mellom prosjektene. Det vil si at avhengighetsproblematikken kan tenkes å stå i et komplisert forhold til problematikken med fast kontra variabel OD-matrise. Vi har ikke kunnet utrede dette nærmere i dette notatet, men kommenterer problemstillingen kort i et eget avsnitt til slutt.

### 3 Et eksempel på avhengighet mellom prosjekter

Vi begynner med et konstruert eksempel som belyser problem nr. 2 ovenfor på en klar måte. Dette eksemplet vil tjene til å begrunne hvorfor vi har vært såpass pirkete som vi har i det teoretiske kapitlet nedenfor, og vil også tjene som en advarsel mot enkle praktiske patentløsninger når vi kommer til det praktiske i kapittel 5.

La oss si at vi har et hovedvegnett slik som på figur 1. Punktene a, b og c er knutepunkter der trafikk oppstår og ender. Tallene på hver av lenkene er kjørekostnader i før-situasjonen.

Figur 1. Nettverk med lenkekostnader



Trafikkstrømmene er de samme i før og etter-situasjonen, og er gitt ved tilfra-matrisen (OD-matrisen) i tabell 1.

Tabell 1. OD-matrise

Fra/til	a	b	c
a	0	5	2
b	5	0	10
c	2	10	0

I dette nettverket har vi 3 kandidatprosjekter som skal nyttekostnadsberegnes etter Vegvesenets metode. Kall dem A, B og C. Gjennomføring av flere av prosjektene samtidig kaller vi AB, AC, BC og ABC. Følgende opplysninger er gitt om hvert av prosjektene enkeltvis:

1. Prosjekt A reduserer kjørekostnadene på lenka ac med 5 til en anleggskostnad av 30.
2. Prosjekt B har akkurat samme egenskaper som A: det reduserer kjørekostnadene på lenka ac med 5 til en anleggskostnad av 30.
3. Prosjekt C reduserer kjørekostnadene på lenka ab med 10 (fra 100 til 90). Anleggskostnaden er 70.

Disse opplysningene gjelder uansett om flere av prosjektene gjennomføres samtidig. Avhengigheten som vi finner mellom disse prosjektene, er derfor på etterspørselssida, ikke kostnadssida.

Trafikken vil alltid velge billigste rute. Hvis f.eks. prosjektene A og B er gjennomført, men ikke C, vil det koste 85 å kjøre lenka ac. Trafikken fra A til B vil da velge ruta over c, som totalt vil koste  $85 + 11 = 96$ . Ingen vil lengre bruke lenka ab, som koster 100. I et mer komplisert tilfelle ville vi bruke en rutevalgmodell for å finne rutevalgene i før- og ettersituasjonen. Her skulle det ikke være nødvendig.

Nåverdiberegningene foregår ved å sammenlikne de samlede kjørekostnadene for alle trafikkstrømmene i før- og ettersituasjonen, og beregne besparelsene i kjørekostnader for å avvikle den gitte trafikken.

Anleggskostnadene trekkes så fra besparelsene. Vi ser bort fra neddiskontering her.

La oss gjøre disse regnestykkene, først for situasjonen uten noe prosjekt gjennomført:

### Ingen prosjekter

Kjørekostnad for trafikken fra a til b og tilbake:	$10 \cdot 100 =$	1000
Kjørekostnad for trafikken fra a til c og tilbake:	$4 \cdot 95 =$	380
Kjørekostnad for trafikken fra b til c og tilbake:	$20 \cdot 11 =$	220
		<hr/>
		1600

Nåverdi = 0

### Prosjekt A

Kjørekostnad for trafikken fra a til b og tilbake:	$10 \cdot 100 =$	1000
Kjørekostnad for trafikken fra a til c og tilbake:	$4 \cdot 90 =$	360
Kjørekostnad for trafikken fra b til c og tilbake:	$20 \cdot 11 =$	220
		<hr/>
		1580

Nåverdi =  $(1600 - 1580) - 30 = 20 - 30 = -10$

Nyttekostnadsbrøk =  $-10/30 = -1/3$

### Prosjekt B

Som prosjekt A

### Prosjekt C

Kjørekostnad for trafikken fra a til b og tilbake:	10·90 =	900
Kjørekostnad for trafikken fra a til c og tilbake:	4·95 =	380
<u>Kjørekostnad for trafikken fra b til c og tilbake:</u>	<u>20·11 =</u>	<u>220</u>
		1500

$$\text{Nåverdi} = (1600 - 1500) - 70 = 100 - 70 = 30$$

$$\text{Nyttekostnadsbrøk} = 30/70 = 3/7$$

Ingen av prosjektene enkeltvis er istand til å endre rutevalgene til noen av trafikantene. Konklusjonen ved beregning av prosjektene enkeltvis er at bare C er lønnsomt. Vi fortsetter imidlertid med å beregne *kombinasjoner* av prosjekter:

### Prosjekt AB

Kjørekostnad for trafikken fra a til b og tilbake:	10·96 =	960
Kjørekostnad for trafikken fra a til c og tilbake:	4·85 =	340
<u>Kjørekostnad for trafikken fra b til c og tilbake:</u>	<u>20·11 =</u>	<u>220</u>
		1520

$$\text{Nåverdi} = (1600 - 1520) - 60 = 80 - 60 = 20$$

$$\text{Nyttekostnadsbrøk} = 20/60 = 1/3$$

Prosjekt A og B er åpenbart avhengige av hverandre på etterspørselssida, i og med at nåverdiberegningen for de to sammen ikke gir samme resultat som summen av nåverdiene hver for seg. *Sammen* er de to prosjektene, som begge ligger på lenka ac, istand til å trekke trafikken mellom a og b over fra lenka ab til ruta {ac,cb}.

### Prosjekt AC

Kjørekostnad for trafikken fra a til b og tilbake:	10·90 =	900
Kjørekostnad for trafikken fra a til c og tilbake:	4·90 =	360
<u>Kjørekostnad for trafikken fra b til c og tilbake:</u>	<u>20·11 =</u>	<u>220</u>
		1480

$$\text{Nåverdi} = (1600 - 1480) - 100 = 120 - 100 = 20$$

$$\text{Nyttekostnadsbrøk} = 20/100 = 1/5$$

Heller ikke i dette tilfellet endres det noe rutevalg.

### Prosjekt BC

Som prosjekt AC

### Prosjekt ABC

Kjørekostnad for trafikken fra a til b og tilbake:	10·90 =	900
Kjørekostnad for trafikken fra a til c og tilbake:	4·85 =	340
<u>Kjørekostnad for trafikken fra b til c og tilbake:</u>	<u>20·11 =</u>	<u>220</u>
		1460

$$\text{Nåverdi} = (1600 - 1460) - 130 = 140 - 130 = 10$$

$$\text{Nyttekostnadsbrøk} = 10/130 = 1/13$$

### Drøfting av beregningene

Vi har beregnet alle mulige kombinasjoner. Uansett om vi bruker nåverdi eller nyttekostnadsbrøk som valgkriterium, så skal prosjekt C aleine velges. I dette tilfellet ville altså metoden med å beregne prosjektene enkeltvis gi riktig resultat. Men hvis prosjekt C ikke fantes, og vi skulle velge fra portefølja {A, B}, så ville metoden med enkeltvis beregning bli feil, idet begge prosjektene samlet bør gjennomføres.

Ingen av disse to metodene gir altså noen garanti for riktig resultat.

En annen tenkelig metode er å gå over til å beregne lønnsomheten av *kombinasjoner* av prosjekter, men se bort fra de kombinasjonene som ikke bruker opp budsjettet. Vi beregner og velger mellom de prosjektkombinasjonene som tilnærmet bruker opp budsjettet. En begrunnelse for det er at i området vi ser på, finnes det åpenbart mer enn nok av lønnsomme prosjekter, slik at overføring av budsjettet til andre områder virker meningsløst.

Her har vi ikke gitt noe budsjett, men la oss si at det er 130. Med denne metoden ville vi f.eks. ha lønnsomhetsberegnet alle kombinasjoner med et samlet budsjett på 100 og mer, dvs. AC, BC og ABC. Valget ville ha falt på AC eller BC. Dette ville også ha vært feil.

Vi merker oss ellers:

1. To ulønnsomme prosjekter kan tilsammen utgjøre et lønnsomt (AB).
2. Et lønnsomt prosjekt som framstilles som en samla plan, kan forbedres ved å kutte ut et av de isolert sett lønnsomme prosjektene som inngår i planen. (Kutt ut AB eller C fra ABC). Forbedringen kan finne sted sjøl om det mest lønnsomme prosjektet i den samla planen kuttes (ved å kutte C oppnås en forbedring på 10 i forhold til ABC).
3. Hvis vi allerede har bestemt oss for AB, er det ulønnsomt å føye til C. Hvis vi allerede har bestemt oss for C, er det ulønnsomt å føye til A, B eller AB. Hvis vi allerede har bestemt oss for det ulønnsomme prosjektet A, er det mer lønnsomt (ifølge nyttekostnadsbrøken) å føye til det ulønnsomme B enn det beste av alle prosjektene, C. Derfor kan vegkontoret ikke alltid opprettholde sin prioriteringsliste hvis politikerne bestemmer seg for et prosjekt som står langt ned på lista.
4. Avhengighet mellom prosjekter på etterspørselssida gir vegkontoret en farlig makt til å manipulere ved å framstille prosjektene mer eller mindre

aggregert. Vegkontoret er sannsynligvis ikke klar over dette sjøl, slik at de utøver denne makta tilfeldig og ubevisst.

Det følger av dette at nyttekostnadsbrøk og lønnsomhet for enkeltprosjekter ikke er veldefinerte størrelser når det hersker avhengighet mellom prosjektene på etterspørselssida. De blir først veldefinerte når vi bestemmer oss for en bestemt rekkefølge å vurdere prosjektene i. Det skal imidlertid *meget godt skjønn* til å begynne i den rette enden. I vårt tilfelle kunne vi f.eks. begynne med det mest lønnsomme prosjektet, isolert sett, nemlig C. Gitt C, forkaster vi B. Gitt at vi har valgt C og forkastet B, forkaster vi også A. Resultatet ville bli riktig her.

Men hvis jeg reduserer investeringskostnadene på både A og B fra 30 til 15, hva skjer da? C er framleis det beste enkeltprosjektet. Gitt C, velger jeg også B, og øker derved nåverdien fra 30 til 35. Og gitt BC, velger jeg også A. Resultatet blir ABC til en nåverdi av 40. Men riktig resultat skulle vært AB, som har en nåverdi på 50.

Det finnes rett og slett ikke noen enkel oppskrift på hvordan en kan komme fram til riktig prosjektvalg ved å låse fast beslutningene en og en. Derfor finns det heller ingen «riktig» måte å bestemme nåverdi og nyttekostnadsbrøk for enkeltprosjekter på.

En liten kommentar er på sin plass her angående Vegvesenets måte å behandle igangsatte prosjekter på under lønnsomhetsberegningene. Det vil som regel være gitt at vi skal fullføre det vi har pågynt. Slik sett må påbegynte prosjekter være et gitt utgangspunkt når vi skal nyttekostnadsberegne ikke-påbegynte prosjekter, og så langt er det ihvertfall gitt et startpunkt for i hvilken rekkefølge vi skal vurdere prosjektene. I den grad avhengigheten er mellom de påbegynte og de planlagte prosjektene, kan dette lette problemene med avhengighet. Men er det sikret i retningslinjer at påbegynte prosjekter skal legges inn i transportmodellen ved beregning av de planlagte?

Prosjekter som er påbegynt i en tidligere planperiode framstår som de mest lønnsomme i vegvesenets oversikter over lønnsomheten av de ulike prosjektene som inngår i vegplanen. Dette har noe for seg: det gjenspeiler at fullføring må ha første prioritet, og at kostnadene som er lagt ned i tidligere planperioder, er ugjenkallelige kostnader som ikke kan inngå i noen kalkyle over hva vi skal velge i framtida. Likevel kan det også være misvisende, nemlig hvis vi skal beregne den totale lønnsomheten av veginvesteringer over en eller flere planperioder. Åpenbart kan slike beregninger bare bli riktige hvis vi enten trekker ut nytta, men ikke påløpte kostnader på alle ufullførte prosjekter i en planperiode, eller hvis vi omvendt trekker ut påløpte kostnader på ufullførte prosjekter, og legger til kostnadene som påløp i tidligere perioder på de prosjektene som blei startet, men ikke fullført da.

## 4 Teori

### 4.1 Prosjektvalg under avhengighet mellom prosjektene

Jeg håper at kapittel 3 har tatt tak i leseren, så hun nå er fullstendig klar over hvilke potensielt meget alvorlige problemer som avhengighet mellom prosjekter reiser for bruk av nyttekostnadsanalyser i byområder. Da vil hun kanskje også interesse seg for et sikkert botemiddel, sjøl om det innebærer mye arbeid å ta det ibruk. For det *er* mulig å velge prosjekter under avhengighet på en teoretisk riktig måte.

#### a) Metoden med kombinasjoner

Vi forutsetter nå at vi kan se bort fra tidsaspektet. Vi skal velge ut prosjekter for gjennomføring fra en portefølje av  $n$  kandidatprosjekter der det hersker avhengighet på etterspørselssida. Dvs. at noen eller alle prosjektene er avhengige av hverandre på etterspørselssida. De prosjektene vi velger ut, antar vi blir ferdigstilt samtidig.

For hvert prosjekt finnes det to muligheter: enten blir det med blant de utvalgte eller ikke. Det totale antall mulige ulike utfall av valgprosessen når vi har  $n$  prosjekter, er derfor  $2^n$ . Det ser vi slik: Det er to muligheter mht. prosjekt nr. 1. For hver av de to mulighetene finnes det to muligheter for prosjekt nr. 2. Det er altså  $2^2 = 4$  mulige måter å velge på blant de to første prosjektene. De er: Gjennomfør 1 og 2, gjennomfør 1 men ikke 2, gjennomfør 2 men ikke 1, og gjennomfør ingen av dem. For hver av disse fire mulighetene finnes det to muligheter mht. gjennomføring av prosjekt nr. 3. Derfor er det  $4 \times 2 = 8 = 2^3$  mulige måter å velge ut prosjekter på fra en portefølje på 3 prosjekter. Osv.

Å velge hvilke prosjekter som skal gjennomføres fra en portefølje på  $n$  prosjekter, er derfor det samme som å velge *en* av de  $2^n$  kombinasjonene som det er mulig å danne av disse  $n$  prosjektene. Logisk sett må vi velge en og bare en av disse kombinasjonene. Det er ikke logisk mulig å velge to ulike kombinasjoner samtidig. Eller sagt på en annen måte: to ulike prosjektkombinasjoner lar seg ikke begge realisere fysisk. To ulike *prosjekter* kan la seg realisere, men ikke to ulike *kombinasjoner*. Et hvert forsøk på å gjøre det ville innebære at vi i virkeligheten realiserte en tredje kombinasjon, og ingen av de to opprinnelige.

Ettersom to ulike kombinasjoner ikke begge lar seg realisere fysisk, må hver av kombinasjonene være uavhengig av hverandre. En ikke-realisert kombinasjon kan jo ikke påvirke noen trafikkmengder eller rutevalg, og dermed heller ikke virke inn på den realiserte kombinasjonen.

Hvis leseren er med på dette resonnementet, så har vi nå omformet problemet å velge mellom prosjekter som påvirker hverandre, til et problem med å velge en prosjektkombinasjon som *ikke* påvirkes av andre kombinasjoner.

I prinsippet er resten enkelt. For hver prosjektkombinasjon går vi fram som vi ville gjort med et hvilket som helst enkeltstående prosjekt. Med en rutevalgsmoell finner vi hvordan trafikken på hver lenke endres fra før- til ettersituasjonen. Disse dataene går inn i EFFEKT 5 og nyttekostnadsberegningen gjennomføres.



Problemet er naturligvis at vi skal ikke ha noe stort antall prosjekter i porteføljen før  $2^n$  blir et stort tall, mye større enn  $n$ . F.eks. er  $2^{10} = 1024$ . Beregningsarbeidet blir derfor fort stort. Avhengig av hvor lang tid det tar å legge inn prosjektkombinasjonen i nettverket og kjøre rutevalgsmodellen, og hvor lang tid det tar å kjøre EFFEKT, finnes det en øvre grense for hvor mange prosjekter det kan være i porteføljen før denne løsningen blir upraktisk.

*b) Teoretisk holdbare muligheter til å forenkle arbeidet*

For å redusere denne typen arbeid har vi på TØI utviklet prosjektvalgsmodellen SPIN (Strategisk prosjektvalg i nettverk). Den krever imidlertid at vi bygger opp et eget forenklet nettverk for dette formålet og legger prosjektene inn i det. Nettverket i f.eks. EMMA blir for komplisert for SPIN. Men når det er gjort, trengs det bare en kjøring av modellen. Vi antar imidlertid at tida nå ikke strekker til for å gjøre det som skal til for at SPIN skal kunne tas i bruk på vegkontorene.

Det finns imidlertid også en annen mulighet til å redusere arbeidet med å trafikkbergne og lønnsomhetsbergne alle mulige kombinasjoner av prosjektene i portefølja. Det er å dele opp portefølja i deler eller undergrupper som er uavhengige. Hvis slike undergrupper består av bare ett prosjekt, så er dette prosjektet naturligvis uavhengig. Men sjøl om undergruppene består av mange prosjekter, vil gevinsten være stor hvis vi kan identifisere slike undergrupper. Anta f.eks. at portefølja inneholder 4 prosjekter. I utgangspunktet skal vi lønnsomhetsbergne  $2^4 = 16$  kombinasjoner for å velge den beste. Men hvis vi veit at prosjekt 1 og 2 er avhengige, og prosjekt 3 og 4 er avhengige, men undergruppa bestående av 1 og 2 er uavhengig av undergruppa med 3 og 4, så kan beregningsarbeidet reduseres til 8 beregninger, nemlig 4 for hver av undergruppene.

Vi skal nedenfor se at dersom vi skal være sikre på riktig resultat når vi velger prosjekter ved å behandle hver gruppe av avhengige prosjekter for seg, så må vi enten ha oppfylt strenge krav om delelighet av prosjektene, eller være villig til å fordele budsjettet til hver gruppe. Dessuten har vi framleis ikke sagt noe om hvordan vi kan identifisere slike undergrupper. Dette problemet behandler vi i punkt 4.2.

*c) Nyttekostnadsbrøk og nåverdi for avhengige prosjekter*

Den skarpsindige leseren vil allerede ha merket seg at hvis vi følger den løsningen på problemet som består i å nyttekostnadsbergne kombinasjoner i stedet for enkeltprosjekter, så får vi nåverdi og nyttekostnadsbrøk for hver kombinasjon, men ingen tilsvarende indikatorer for prosjektene enkeltvis. Det er en svakhet i forhold til gjeldende regelverk, men en styrke i virkeligheten.

Det er nemlig slik at hvis prosjektene virkelig er avhengige, så er disse indikatorene tvetydige eller mangetydige. De kan ikke spesifiseres uten at en angir hvilke forutsetninger de bygger på mht. hvilke andre prosjekter som gjennomføres samtidig. *Og sjøl da er de fremdeles ikke entydige.* Vi kan beregne lønnsomheten av et avhengig prosjekt gitt at visse andre prosjekter gjennomføres samtidig, men det er tenkelig at dette prosjektet bidrar til å endre lønnsomheten av de andre, gitte prosjektene, slik at vi egentlig skulle

justert lønnsomheten av vårt prosjekt med den innvirkningen det har på lønnsomheten av de andre.

Eller sagt på en annen måte: sålenge vi tar prosjektene opp til vurdering ett og ett i en bestemt rekkefølge, er nåverdi og nyttekostnadsbrøk for hvert av dem veldefinert. Men ved å endre vurderingsrekkefølgen, endrer vi også nåverdien og nyttekostnadsbrøken for prosjektene.

For å klargjøre dette kan vi innføre noen symboler. Vi kaller prosjektene A, B, C osv., og lar f.eks. ABC bety det sammenslåtte eller kombinerte prosjektet som går ut på å gjennomføre A, B og C under ett. A|BC derimot betyr prosjekt A, gjennomført under den forutsetning at prosjektene B og C også gjennomføres. La  $N(A)$  bety nåverdien av prosjekt A.

Hvis prosjektene er uavhengige, så har vi, ut fra sjølve definisjonen av uavhengighet, at  $N(A) = N(A|B) = N(A|\text{ikke-B})$ . Hvorfor? Jo, fordi hvert av prosjektene ikke påvirker de trafikkmengdene som berøres av det andre. Følgelig påvirkes heller ikke nåverdien.<sup>1</sup> Samtidig er  $N(AB) = N(A) + N(B)$ . Sammenfatter vi dette, så har vi f.eks. i dette tilfellet at  $N(AB) = N(A|B) + N(B)$ . I dette tilfellet er  $N(A)$  og  $N(B)$  veldefinert, og all kalkulasjon er enkel og grei.

Hvis derimot prosjektene er avhengige, så er pr. definisjon  $N(A|B) \neq N(A|\text{ikke-B})$ .  $N(A)$  er da ikke en veldefinert størrelse. Hvis videre AB avhenger av andre prosjekter, som C, så er heller ikke  $N(AB)$  noen veldefinert størrelse. Den minste gruppa av prosjekter som har en entydig nåverdi, er en gruppe som er uavhengig av andre prosjekter.

Kan vi ikke likevel konvensjonelt tilskrive det enkelte, avhengige prosjekt en nåverdi? Det kan vi naturligvis, men bare gjennom at vi på forhånd bestemmer oss for en rekkefølge som vi vil vurdere prosjektene i. Vi må bestemme oss for å se ett av prosjektene som det grunnleggende prosjektet, det neste som et mulig tilleggsprosjekt til dette, osv. Noen ganger kan det være naturlig, som hvis prosjekt B overhode ikke et fysisk mulig uten at prosjekt A også er med. Men for det meste er en slik forhåndsgitt rekkefølge vilkårlig. De beregnede nåverdiene for hvert av de avhengige prosjektene har da ingen verdi som vegledning til prosjektvalget.

Kapittel 3 har illustrert dette. La oss ta et eksempel til. La prosjekt A og B være to løsninger av samme problem, f.eks. to parallelle bruer som hver for seg har tilstrekkelig kapasitet. Situasjonen er likevel slik at det ikke er utelukket at begge bør bygges, fordi A betyr en forbedring for den sørlige bebyggelsen, mens B betyr en forbedring for den nordlige. Den nordlige bebyggelsen er noe større enn den sørlige. Hvis vi nå bestemmer oss for å vurdere prosjekten i rekkefølgen først B, så A, så kan vi si at vi har *definert*  $N(A)$  ved  $N(A) = N(A|B)$ , og  $N(B)$  ved  $N(B) = N(B|\text{ikke-A})$ . Hvis vi bestemmer oss for å vurdere A først, definerer vi derimot  $N(A)$  ved  $N(A) = N(A|\text{ikke-B})$  og  $N(B)$  ved  $N(B) = N(B|A)$ .

---

<sup>1</sup> Det omvendte, at hvis  $N(A) + N(B) + N(C) = N(ABC)$ , så er prosjektene uavhengige, er ikke nødvendigvis riktig. Det kan jo tenkes at de gjensidige påvirkningene tilfeldigvis utlikner hverandre.

Anta at anleggskostnad er 1 for hver av bruene, og nytte ved prosjekt A aleine er 2, nytte ved prosjekt B aleine er 3 og nytte ved to bruer er 3.9. Ved å vurdere B først får vi  $N(AB) = N(B|ikke-A) + N(A|B)$ , eller  $1.9 = 2 + N(A|B)$ , dvs. at vi vil påstå at  $N(A) = -0.1$  og  $N(B) = 2$ . Ved å vurdere A først får vi at  $N(AB) = N(A|ikke-B) + N(B|A)$ , eller  $1.9 = 1 + N(B|A)$ , dvs. at vi vil påstå at  $N(A) = 1$  og  $N(B) = 0.9$ .

Med nåverdi som valgkriterium får vi derfor at etter den første definisjonen skal bare B velges, mens etter den andre definisjonen skal A og B velges.

Et forhold som vi ikke har gått nærmere inn på til nå, er om det er nåverdien eller nyttekostnadsbrøken som bør være valgkriterium. Teorien sier oss at det vi skal prøve å maksimere når vi velger, er samlet nåverdi av prosjektene. Teorien sier videre at når det er gitt en budsjettskranke og prosjektene er uavhengige og delelige (slik at det siste prosjektet vi velger godt kan gjøre nytte for seg sjøl om bare en del av det blir gjennomført), så er det å velge prosjektene i rekkefølge etter nyttekostnadsbrøken, den eneste *metoden* som gir maksimal samlet nåverdi av prosjektene.

Ved avhengighet mellom prosjektene er vi tvunget over på å vurdere ulike *kombinasjoner* av prosjektene mot hverandre. I den forbindelsen er det meningsløst å følge oppskriften «velg i rekkefølge etter nyttekostnadsbrøken». Vi skal jo ikke velge flere kombinasjoner, men en og bare en. Naturligvis skal vi da velge bare blant de kombinasjonene som holder seg innenfor budsjettet. Blant disse igjen skal vi velge den som gir størst samlet nåverdi av prosjektene. Nåverdien må altså være valgkriteriet i denne sammenhengen.

Hvordan går vi så fram hvis vi har lykket med å dele prosjektportefølja inn i uavhengige undergrupper av kombinasjoner som utelukker hverandre gjensidig (jfr. pkt 4.2)? Vi forutsetter at det er gitt et budsjett som skal gjelde for alle undergruppene tilsammen. Det teoretiske svaret er da at hvis alle prosjekter er delelige, skal vi først velge den kombinasjonen i hver undergruppe som har størst nyttekostnadsbrøk, og så velge ut etter nyttekostnadsbrøk blant vinnerne fra første runde.

Men det er store problemer med dette svaret. For det første er de fleste vegprosjekter ikke delelige. Vi kan som regel ikke på noen meningsfylt måte gjennomføre  $\frac{1}{2}$  bru,  $\frac{1}{2}$  planfritt kryss eller  $\frac{1}{2}$  tunnel. For det andre er spesielt ikke prosjekter som er *kombinasjoner* av underliggende avhengige prosjekter, delelige på en meningsfylt måte. Vi har nettopp konstatert at om vi deler kombinasjonen opp i de enkelte prosjektene, er rekkefølgen vi gjør det i, avgjørende. Nytte og kostnader er verken proporsjonale med størrelsen på delen, eller like store uansett hvilke like store deler vi ser på.

Følgelig er det en dristig forenkling å gjennomføre en slik trinnvis valgprosedyre. Dette må vi huske på når vi skjønnsmessig eller ved grundige undersøkelser deler prosjektene inn i avhengighetsgrupper for å redusere antall kombinasjoner som må beregnes (pkt. 4.2). Anta at vi har fått valgt ut den kombinasjonen med størst nåverdi eller nyttekostnadsbrøk fra hver av delene. Strengt tatt veit vi ikke noe om at det er nettopp disse prosjektene/kombinasjonene som inngår i den samlet sett beste løsningen. Det er derfor grunn til å ta med seg flere kandidater fra hver gruppe i den videre

vurderinga (Minken 1995). Alternativt kan vil være villig til å fordele totalbudsjettet ut på hver av avhengighetsgruppene. Fra hver gruppe velge vi da den kombinasjonen som har størst nåverdi blant dem som oppfyller budsjettet.

Til ethvert budsjett som på denne tilfeldige måten er gitt til en avhengighetsgruppe, svarer det en skyggepris på budsjettkroner. Det er den forbedringen pr. budsjettkrone vi kunne få i nåverdien ved en liten økning i budsjett-ramma. Vi skjønner at hvis skyggeprisen på budsjettkroner avviker mye mellom avhengighetsgruppene, vil det sannsynligvis være mulig med en omfordeling av budsjetttrammene som gir en større samlet nåverdi.

Dette motiverer en prøve- og feilemetode for å finne de beste budsjetttrammene for hver avhengighetsgruppe. Tankegangen er hentet fra Lorie og Savage (1955).

Begynn med en skyggepris som virker rimelig ut fra hvor stramt det totale budsjettet er, f.eks. kr. 1,40. Kalkuler nåverdien av alle kombinasjoner i hver avhengighetsgruppe med denne oppblåsingsfaktoren på budsjettkroner. Velg kombinasjonen med størst nåverdi fra hver avhengighetsgruppe, hvis det finnes noen med positiv nåverdi der. Legg sammen investeringskostnadene for de utvalgte kombinasjonene. Hvis det overstiger den totale budsjett-ramma, så senk skyggeprisen og beregn igjen. Hvis det motsatte er tilfelle, så hev skyggeprisen og beregn igjen.

Dette er naturligvis ikke annet enn å velge etter nyttekostnadsbrøk. Lorie og Savage skreiv sin artikkel før nyttekostnadsbrøken blei et begrep, men det de viser, er at når det finnes et budsjett, er det nyttekostnadsbrøken som må brukes. De antok uavhengighet mellom prosjektene, dvs. et prosjekt i hver avhengighetsgruppe. Eksistensen av kombinasjoner som er udelelige, og mange kombinasjoner i hver gruppe, kan føre til at denne tilnæringsprosessen ikke blir så enkel som det kan se ut. Dette har vi ikke vurdert nøye. Men uansett vil en slik prosess gi et materiale av samlede nåverdier som kan sammenliknes. Det vil også gi et materiale av rimelige fordelinger av budsjettet på avhengighetsgrupper, hvis en ønsker å angripe problemet den vegen.

#### *d) Forholdet mellom vegvesenet og politikerne når det hersker avhengighet mellom prosjektene*

I det hele tatt vil avhengighet mellom prosjekter medføre at forholdet mellom vegkontoret som faginstans og de politiske myndigheter som tilslutt bestemmer, lett blir mer komplisert enn før. Anta at vegkontoret anbefaler de prosjektene som inngår i kombinasjonen med størst nåverdi. Likevel velger politikerne et annet prosjekt. Da vil vegkontoret ikke kunne holde fast ved de samme prosjektene som før. Hvis vegkontoret fremdeles vil ha størst mulig samfunnsøkonomisk lønnsomhet, så må de nå undersøke de prosjekt-kombinasjonene som inneholder det prosjektet som politikerne har valgt, og finne ut hvilke av disse som gir størst nåverdi (nyttekostnadsbrøk). Denne kombinasjonen kan godt inneholde helt andre prosjekter enn de som opprinnelig var anbefalt av vegkontoret.

På samme måte blir det hvis vegkontoret sjøl har en oppfatning om at bestemte prosjekter bør med uansett. Anbefalingen om de øvrige vil ofte bli veldig avhengig av hvilke prosjekter som er «forhåndsuttatt». Dette er ikke rart. Det er det samme som skjer når en trener tar ut et lag i idrett. Det er avhengighet mellom medlemmene av laget. Hvis treneren bygger opp laget rundt en kjerne av nøkkelspillere, vil laget ofte bli helt annerledes på alle plasser når disse nøkkelspillerne byttes ut. Det gjelder naturligvis at det må være best mulig kommunikasjon mellom den som bestemmer kjernen i laget og den som bestemmer resten.

Som eksempel på problemet gjengir vi i tabell 2 <sup>2</sup> noen kombinasjoner av prosjekter på stamvegen mellom Oslo og Trondheim over Dovre, med tilhørende nåverdi. Nummereringen av prosjektene er gjort av oss. I dette tilfellet finnes det ikke avhengighet mellom prosjektene (tror vi). Likevel vil en se at hvis f.eks. prosjekt 9 er forhåndsuttatt, så skal prosjekt 6 også være med i den beste kombinasjonen. Prosjekt 4 og 7 skal da begge tas «ut av laget» i forhold til den anbefalingen som ville vært gjort hvis det ikke fantes bindinger. I dette tilfellet skyldes denne effekten at prosjektene har ulike investeringskostnader, slik at de passer på ulikt vis inn i budsjettskranken. Virkningen når prosjektene passer i ulik grad til hverandre trafikalt, vil være tilsvarende.

Table 2. The E6 trunk road between Oslo and Trondheim. 8 project combinations that nearly use up a NOK 1.5 BN budget. Investment costs and net present values (excluding environmental costs).

Combination	Projects in the combination <sup>1)</sup>	Investment cost of comb.	Net present value of comb. <sup>2)</sup>
A	{1,2,3,4,7}	1479	1420
B	{1,2,3,5,6}	1464	1396
C	{1,2,3,4,8}	1482	1394
D	{1,2,4,6,8}	1478	1302
E	{1,2,3,6,9}	1474	1291
F	{1,2,5,6,9}	1464	1252
G	{1,3,4,6,7,9}	1455	1044
H	{1,3,4,6,8,9}	1458	1018

1) The projects are numbered by their benefit-cost ratio, excluding environmental costs.

2) Net present value = generalised cost savings + accident cost savings - investment cost

---

<sup>2</sup> Tabellen er hentet fra Minken (1995).

#### e) Avslutning

Slik er teorien om valg av avhengige prosjekter i det statiske tilfellet. I kapittel 5 har vi oppsummert denne teorien i tre teoremer. I praksis kan en kanskje nærme seg til denne teoretisk sett eneste tilfredsstillende behandlingen av slike tilfeller ved å bruke godt skjønn til å «forhåndsutta» prosjekter, og så undersøke noen få aktuelle kombinasjoner for de andre prosjektene. Slike utveger drøfter vi i neste kapittel.

Det er imidlertid klart at det finnes to framgangsmåter som nødvendigvis vil gi feil resultater i slike tilfeller. Den første er å beregne trafikken med et og et prosjekt innlagt, og så nyttekostnadsberegne prosjektene enkeltvis. En opptrer da som om de andre prosjektene ikke fantes. Det er å se bort fra hele avhengigheten, og kan være svært misvisende. Den andre er å beregne trafikken med alle prosjekter innlagt, og så nyttekostnadsberegne ett og ett prosjekt. Det er å forutsette at alle prosjekter skal gjennomføres, og eventuelt trekke konklusjoner som bryter med forutsetningen.

## 4.2 Identifisering av uavhengige og avhengige prosjekter.

Det er nyttig å kunne skille ut uavhengige prosjekter fra prosjektportefølja, fordi det reduserer antall kombinasjoner som må beregnes etter metoden i forrige punkt. På samme måte er det nyttig å kunne dele de avhengige prosjektene i grupper som er uavhengige av hverandre. Når vi nå skal finne ut hvordan det kan la seg gjøre å identifisere de uavhengige og de avhengige prosjektene, vil vi gå fram på litt merkelig vis. Vi vil først forutsette at vi har gjennomført en full analyse av alle mulige prosjektkombinasjoner. Det gir oss en forestilling om hva uavhengighet innebærer, som vi så kan bruke til å utvikle andre metoder.

La oss nå tenke oss at vi har trafikkberegnet og lønnsomhetsberegnet alle mulige prosjektkombinasjoner, i tråd med den løsningen på problemet med avhengighet som vi skisserte i forrige punkt. Vi vil undersøke om noen av prosjektene er uavhengig av de øvrige. En mulig framgangsmåte er å starte med å undersøke alle de  $n$  kombinasjonene som bare inneholder ett prosjekt. Vi noterer oss nåverdi for hver av dem. Deretter undersøker vi alle  $n(n-1)/2$  kombinasjoner med to og to prosjekter. Er nåverdien av hver av dem lik nåverdien av de to prosjektene de inneholder? Hvis vi kommer over et tilfelle av det motsatte, er disse to prosjektene avhengige av hverandre. Vi sier at de inngår i samme *avhengighetsgruppe*. Anta som eksempel at vi fant at A og B var avhengige, men ikke C. Da har vi to avhengighetsgrupper. Dette er hva vi ville finne hvis vi anvendte en slik framgangsmåte på eksemplet i kapittel 3.

Men vi må gå videre. Er det tenkelig at sjøl om prosjekt A og B, B og C og C og A er uavhengige av hverandre, så er prosjekt A, B og C avhengige av hverandre? Ja, det er tenkelig. F.eks. kan de alle ligge på samme hovedveg, som Ytre ringveg i Oslo. Hvilke som helst to av dem kan tenkes å ikke føre til så store kjøretidsreduksjoner at trafikk blir overført fra Fjellinjen, men med alle tre på plass inntreer en slik effekt.

Følgelig tar vi for oss alle kombinasjoner av tre og tre prosjekter. Er summen av nåverdiene til hvert av de tre prosjektene lik nåverdien av kombinasjonen? Hvis nei, så er de tre prosjektene avhengige. Men nå kan det tenkes at vi har trukket forhastede slutninger om ett av prosjektene. Det ene kan være uavhengig, mens avhengigheten er mellom de to andre. Det kontrollerer vi ved å gå tilbake til sammenlikningen av kombinasjonene med 2 prosjekter. Er summen av nåverdien til ett av prosjektene og kombinasjon av de to andre, lik nåverdien av kombinasjonen på 3? Dvs. er  $N(A) + N(BC) = N(ABC)$ ? Er  $N(B) + N(AC) = N(ABC)$ ? Er  $N(C) + N(AB) = N(ABC)$ ? Hvis svaret for noe prosjekt er ja, så er dette prosjektet ikke avhengig av de to andre. På bakgrunn av disse undersøkelsene av kombinasjoner på 3 prosjekter, kan vi nå slå sammen noen av avhengighetsgruppene vi fant i første trinn.

For eksempel ville vi finne i tilfellet fra kapittel 3 at det ikke er likhet i noen av de tre sammenlikningene. Følgelig er alle tre prosjektene en avhengighetsgruppe.

Vi fortsetter så med å se på alle kombinasjonene av 4 prosjekter på samme måte.

Vi kommer enten til et punkt hvor vi har slått sammen alle avhengighetsgruppene til en. Da er alle prosjekter avhengige av hverandre. Undersøkelsen kan avbrytes der. Eller vi må gå gjennom absolutt alle mulige kombinasjoner. Sluttresultatet blir da en eller flere avhengighetsgrupper. De kan behandles som uavhengige i forhold til hverandre. Hvis en avhengighetsgruppe inneholder bare ett prosjekt, er dette prosjektet uavhengig av alle andre, og kan behandles deretter.

Dette er antakelig ikke et praktisk forslag til framgangsmåte når antall prosjekter overstiger 4. Dessuten er det jo en undersøkelse uten betydning for prosjektvalget, i og med at vi allerede har behandlet prosjektvalget ved å prøve alle kombinasjoner. Imidlertid belyser denne framstillingen hva det innebærer at prosjekter er avhengige eller uavhengige.

Det vi egentlig har undersøkt på denne måten, er topologien eller graden av «sammenbundethet» i vegnettet. Hvis vi nå tegner opp avhengighetsgruppene på et vegkart, vil vi for framtida ha en viss vegledning til hvilke geografiske områder som kan behandles atskilt i nyttekostnadssammenheng. Det er kanskje ikke uten verdi å gjøre en slik undersøkelse likevel?

Hva mere er, en slik oppdeling av et vegkart etter avhengighetsgrupper kan kanskje gi en vegledning til hvilke områder som vil bli berørt av kjøproblemer ved en uventet hendelse som sperrer en viktig veg. Her må jeg understreke at jeg ikke har prøvd noe slikt i praksis.

Nå som vi har trukket en forbindelse mellom avhengighet på etterspørselsida mellom prosjekter og graden av sammenbundethet i vegnettet, er vi istand til å finne mer praktiske metoder til å undersøke hvilke prosjekter som avhenger av hverandre. Dette vil ikke være eksakte metoder, og jeg har ikke prøvd dem i praksis, men jeg foreslår at en gjør visse forsøk med dem.

Det kan tenkes to slike metoder. Den ene går ut på å legge inn prosjektene enkeltvis i rutevalgsmodellen, og avmerke de lenkene i nettverket som får noen vesentlig endring i trafikkmengde med prosjektet. Dersom andre prosjekter ligger på noen av disse lenkene, betraktes de som avhengige. Dette gjentas for hvert prosjekt. Alle prosjekter som avhenger av hverandre gjennom å påvirkes av trafikken endringen fra et av de andre, betraktes som en avhengighetsgruppe. Hvis en er heldig, vil det finnes prosjekter som kan betraktes som uavhengige, eller det vil være mulig å identifisere atskilte avhengighetsgrupper.

Den andre måten, som kan være enklere å utføre, er å fjerne den lenken som et prosjekt ligger på, fra nettverket i trafikkmodellen. Hvis prosjektet er en ny lenke, fjernes den gamle lenken som tar den samme trafikken nå (den nye lenka legges heller ikke inn). På samme måte som i sted noteres de lenkene som påvirkes vesentlig av det. Dette gjentas for hvert prosjekt, og avhengighetsgrupper finnes på samme måte som før. Trolig vil vi overvurdere graden av avhengighet på denne måten, fordi å fjerne en lenke er mer drastisk enn å forbedre den, og dessuten foretar vi en endring som går i motsatt retning av det vi er interessert i.

Styrken i disse metodene er at vi har spart oss for nyttekostnadsberegningen, og nøyer oss med trafikkberegninger. Svakheten i disse metodene er *sjølsagt* at vi ikke prøver ut trafikkvirkningen av *kombinasjoner* av flere prosjekter. Om ønskelig kan det naturligvis gjøres.

#### 4.4 Dynamisk prosjektvalg, eller valg av utbyggingsrekkefølge.

Til nå har vår behandling ikke tatt hensyn til tidsaspektet. Vi har antatt at problemet besto i å velge prosjekter som kom samtidig til utførelse (eller ihvertfall i løpet av samme 4-årsperiode). Et nytt trekk ved vegplanen for 1998-2007 er imidlertid at den inneholder to perioder. Vi skal både velge prosjekter for den første fireårsperioden, og prosjekter for de neste 6 år, sjøl om dette siste valget bare har en foreløpig karakter.

En første tilnærming til problemet er å ignorere fordelingen av budsjettet på budsjettår, og oppdelingen i et budsjett for de fire første år og ett for den siste delen av perioden. Vi kan da enkelt håndtere prosjektvalget ved å definere et prosjekt ved hvilken periode det skal gjennomføres i. For prosjekt A danner vi da to prosjekter, prosjekt A1 som er prosjekt A gjennomført i første 4-årsperiode, og prosjekt A2 som er prosjekt A gjennomført i den siste 6-årsperioden. Deretter foretas prosjektvalget som før ved å trafikkberegne og lønnsomhetsberegne alle mulige kombinasjoner. Både trafikkberegningen og lønnsomhetsberegningen vil avhenge av hvilken periode byggingen skjer i.

Det er ikke mulig å gjennomføre prosjekt A i begge perioder. Dette gjør antall mulige kombinasjoner litt mindre enn det ellers ville vært. Likevel vil det være en betydelig komplikasjon å ta hensyn til de to tidsperiodene.

En kan tenke seg at med en slik metode vil de fleste av prosjektene som blir utvalgt, falle i første periode. Hvorfor vente med et lønnsomt prosjekt? Ettersom forsering av vegbyggingen, opplåning osv. i de fleste tilfellene er



uaktuelt, vil løsningen da lett ha et urealistisk preg. Men det er også mulig at noen prosjekter faktisk vil passe bedre i periode 2, uansett om det var mulig å framskynde dem. Det kan være viktig å identifisere disse få prosjektene, og sånn sett vil denne framgangsmåten ha noe for seg.

En mer avansert metode innebærer å gi to budsjettrestriksjoner, en for hver periode. Men sjøl om det er mer realistisk, vil det ikke gi noen bedre løsning, da den ekstra restriksjonen betyr en innsnevring av valgmulighetene. Faktisk kunne det trenge en begrunnelse for hvorfor vi pålegger oss en slik ekstra restriksjon, med fare for å gå glipp av nyttevirkninger i første periode.<sup>3</sup> I mangel av en slik begrunnelse, taler mye for å ikke ta i bruk den «avanserte» metoden.

Hvis man nå likevel insisterer på å se på problemet når det er gitt et budsjett for hver delperiode, hvordan stiller da problemet med avhengige prosjekter seg? Med ett ord: det blir ytterst *komplisert*. Vi skal likevel antyde en mulig veg som ikke krever andre typer av dataprogrammer enn trafikkberegningsprogrammet og EFFEKT. Den er igjen basert på Lorie og Savage (1955).

Istedet for å starte med *en* skyggepris på budsjettkroner, gir vi nå to skyggepriser, en for hver periode. Disse brukes i beregning av nåverdier for alle kombinasjoner. Skyggeprisene justeres opp og ned som i pkt. 4.1c, inntil de er slik at budsjettene i hver av periodene er akkurat oppfylt. Her kommer nå den komplikasjonen inn at vi må sørge for at løsningen er gjennomførlig, dvs. at vi ikke har valgt noe prosjekt til gjennomføring i begge perioder. Dette kommer i tillegg til problemet med at tilnæringsprosessen sannsynligvis ikke er jevn og uproblematisk. Som før er det verdt å sammenlike den løsningen vil ender opp med, med de vi hadde undervegs, for å kontrollere at vi ikke har gått i gal retning.

## 5 Praktisk tillemping på kort sikt

Hovedhensikten med dette notatet er å komme med anbefalinger om hvordan en bør lønnsomhetsberegne prosjekter i byområder når det hersker avhengighet på etterspørselssida. Anbefalingene skal la seg gjennomføre på kort sikt, dvs. i de beregningene som foregår på vegkontorene i disse dager for å finne lønnsomheten av prosjektene i den neste vegplanen (1998-2007). Etter å ha gått gjennom de teoretiske problemene som slik avhengighet reiser, vender vi oss nå til dette praktiske spørsmålet.

---

<sup>3</sup> En type begrunnelse kan være at det å angi både en skyggepris på investeringskroner og budsjetttrammer i hver periode, letter konvergensen av et iterativt program for å finne det beste investeringsprogrammet i en divisjonalisert organisasjon (Maier og van der Weide 1976). Da snakker vi imidlertid om budsjetter som ved avslutningen av iterasjonsprosessen vil være satt optimalt, ikke slike budsjetter som utgjør en «tilfeldig» ytre skranke.

## 5.1 Grunnlaget for anbefalingen

Vår anbefaling bygger på en forutsetning, tre teoremer, en hypotese og en praktisk nødvendighet.

*Forutsetningen* er at beregningene foregår etter vegvesenets metode (Håndbok 140) og med vegvesenets beregningsverktøy (EFFEKT 5, som lar seg kople til rutevalgsmodeller/transportmodeller som er basert på modelleringsverktøyene EMMA, MOTORS eller TRIPS). Det antas at vegkontorene har tilgang til en transportmodell av en av disse typene for det aktuelle området.

*Det første teoremet* er: Når prosjektene er uavhengige og delelige, og man skal velge prosjekter innafor en gitt budsjettskranke for å maksimere den samlede nåverdien, så kan det gjøres ved å velge prosjekter etter nyttekostnadsbrøken. I den sammenheng er både den gamle og den nye definisjonen av nyttekostnadsbrøken like gyldige, og gir samme riktige resultat.

Beviset for første del av teoremet finnes f.eks. i Nemhauser og Wolsey (1988). Lorie og Savage (1955) beviser også egentlig dette, uten å bruke begrepet nyttekostnadsbrøk.

*Det andre teoremet* er: Metoden med å trafikkberegne og lønnsomhetsberegne alle mulige kombinasjoner av prosjekter, og velge den kombinasjonen som har størst nåverdi blant de kombinasjonene som oppfyller budsjettkravet, gir en riktig løsning på problemet å velge de prosjektene som gir den største samlede nåverdien. Dette gjelder sjøl om det hersker avhengighet på etterspørselssida mellom prosjektene. Dersom en definerer et prosjekt gjennomført i periode 1 og det samme prosjektet gjennomført i periode 2 som to ulike prosjekter, gir denne metoden også løsningen på problemet å maksimere samlet nåverdi ved å velge prosjekter og fordelingen av dem på to planperioder, gitt at det finnes en felles budsjettskranke for begge perioder.

Beviset for teoremet er den argumentasjonen som er gjennomført i pkt. 4.1 og 4.4 ovenfor.

*Det tredje teoremet* er: Dersom prosjektporteføljen er delt i grupper, og det er gitt en budsjettskranke for gruppene samlet, gir det *ikke* nødvendigvis den største samlede nåverdien å først velge den prosjektkombinasjonen i hver gruppe som har størst nåverdi, og deretter bruke nyttekostnadsbrøken til å velge blant de prosjektkombinasjonene som blei valgt fra hver gruppe i første trinn. Det gir heller ikke nødvendigvis riktig resultat å bruke nåverdien som valgkriterium i begge trinn av valgprosessen, eller nyttekostnadsbrøk i begge, eller først nyttekostnadsbrøk, så nåverdi. Hvis prosjektene enkeltvis, og kombinasjonene av avhengige prosjekter i hver avhengighetsgruppe kan betraktes som delelige, gir det riktig resultat å bruke nyttekostnadsbrøken i hvert trinn av valgprosessen.

Dette er bevist med et eksempel i Minken (1995).

*Hypotesen* er: Det finns ikke noen trinnvis framgangsmåte til å velge prosjekter for å maksimere samlet nåverdi under en budsjettskranke når prosjektene er udelelige og det hersker avhengighet på etterspørselssida mellom prosjektene.

Med trinnvis framgangsmåte mener vi ett av to. Enten betyr det at man først velger et prosjekt eller en gruppe av prosjekter, og deretter velger fler bygd på kunnskapen om hva som er valgt i første omgang. Eller så betyr det at man først velger noen prosjekter og prosjektgrupper, og deretter foretar det endelige valg innafor de prosjektene og prosjektgruppene som blei valgt i første runde. Hypotesen innebærer at det første valget i en trinnvis prosedyre alltid må ha en foreløpig karakter. Kanhende vil vi angre oss og prøve andre muligheter seinere. Den innebærer også at vi ikke kan utelukke noen prosjekter i utgangspunktet.

Vi argumenterte for denne hypotesen i kapittel 3, i den konkrete sammenhengen som eksemplet der ga. Likevel ligger det i navnet, når vi har kalt det en hypotese, at vi langt fra mener å ha bevist at det er slik. Kanhende kommer noen opp med en trinnvis valgprosedyre. Det ville innebære en stor forenkling i forhold til metoden med å se på alle mulige kombinasjoner. Vi veit imidlertid fra det tredje teoremet at denne valgprosedyren ikke kan innebære en trinnvis anvendelse av nyttekostnadsbrøken eller nåverdien.<sup>4</sup>

*Den praktiske nødvendigheten* er at vi skal finne en framgangsmåte som kan brukes på kort sikt. Vi kan derfor ikke introdusere noen nye dataprogrammer, som krever implementering og opplæring. Dette utelukker bruk av prosjektvalgmodellen SPIN. Vi kan heller ikke legge opp til et arbeidsprogram som vegkontorene ikke har kapasitet til å gjennomføre i løpet av de nærmeste ukene.

Når vi ser den praktiske nødvendigheten i samband med teoremene, så må vi konkludere at det ikke er mulig å komme med en anbefaling som forhindrer at feil prosjektvalg kan bli foretatt. Siktemålet må snarere være å redusere sannsynligheten for feil.

## 5.2 Forslag til framgangsmåte

1. Det første en bør gjøre, er en skjønnsmessig bedømming av hvor alvorlige avhengighetsproblemene er. Noen velvalgte eksperimenter kan kanskje støtte opp under skjønnnet.
2. Hvis en finner ut at av avhengighetsproblemet ikke kan ignoreres, bør en skaffe seg en liste over alle mulige kombinasjoner av prosjektene. (Slike lister finnes på TØI). Et eksempel på en slik liste i det enkle tilfellet med 3 prosjekter er gjengitt i tabell 3. Det er høvelig å la 0 bety at prosjektet ikke blir valgt, og 1 at det blir valgt, fordi det da er lett å lage en regnearksformel som beregner anleggskostnaden for kombinasjonen. (Nytteelementene er ikke summen av nytteelementene i hvert av enkeltprosjektene, så de kan ikke føres inn i regnearket før kombina-

---

<sup>4</sup> SPIN-modellen innebærer også å se på alle mulige kombinasjoner. Men vi overlater til dataprogrammet å gjøre det i en regneoperasjon. Dette er mulig fordi alle mulige *prosjekter* er lagt inn som ekstra lenker i nettverket. Alle mulige *kombinasjoner* blir da til rutevalg i nettverket. Programmet er laget slik at hvis noen ruter som inneholder en «prosjektlenke» tas med i løsningen, så påløper anleggskostnadene for dette prosjekter. Det er forøvrig fordi vi på denne måten øker antall mulige ruter voldsomt, at vi må operere med et forenklet nettverk.

sjonen er trafikkberegnet!).

Hvis det er mange prosjekter, blir lista så lang at en bør sjekke om den går i regnearket.

Tabell 3. Kombinasjoner av 3 prosjekter.

0 = ikke valgt, 1 = valgt

Prosjekt A	Prosjekt B	Prosjekt C
0	0	0
1	0	0
1	1	0
1	1	1
0	1	0
0	1	1
0	0	1
1	0	1

3. Nå bør en prinsipielt beslutte seg til å beregne så mange kombinasjoner som det er praktisk mulig.
4. Dernest må en avgjøre om en full beregning av *alle* kombinasjoner er praktisk mulig. Hvis ja, gjør det. Det vil gi nøyaktig informasjon om alvorligheten av problemet, og ved å følge opp med en sammenlikning av de beregnede nåverdiene for å identifisere avhengighetsgrupper, vil en få et godt bilde av om det er mulig å dele byen i uavhengige soner eller områder for framtidige beregninger. Erfaring vil vise hvor mye tid som brukes på å gå fram teoretisk riktig. Kanskje er det mulig med 5 prosjekter?
5. Hvis full beregning er umulig, må en ta stilling til om en skjønnsmessig vil dele byen inn i soner eller områder. Helst bør en da ha grunnlag i eksperimenter med endringer i nettverket for å kunne utøve dette skjønnnet, jfr. pkt 4.2. Nå må en beslutte seg for om en foreta en full beregning av alle kombinasjoner *i hver del av byen*, eller om også det er umulig.
6. Først hvis full beregning i hver del ikke anses som en farbar veg, kommer problemet opp om hvilke kombinasjoner som en vil beregne, og hvilke en *ikke* vil gå videre med. Her er noen mulige kriterier en kan bruke:
  - Velg ut prosjekter som det er god grunn til å tru vil bli valgt under enhver omstendighet. Beregn bare de kombinasjonene der disse prosjektene inngår.
  - Sjøl om det ikke er sikkert, så er det jo sannsynlig at isolert sett lønnsomme prosjekter som føyes til en lønnsom kombinasjon, øker lønnsomheten av kombinasjonen. Og sjøl om det ikke er sikkert, så er det jo sannsynlig at en kombinasjon som inneholder prosjekter med en samlet nåverdi (beregnet isolert for hvert prosjekt) som er større enn den tilsvarende summen i en annen kombinasjon, er bedre. Den kombinasjonen som er best når prosjektene beregnes isolert, kan derfor tjene som et ut-

gangspunkt. Beregn lønnsomheten av den kombinasjonen. Sammenlikn med summen av de isolerte lønnsomhetene. Prøv å identifisere hva som gjør disse størrelsene ulike, og prøv å finn forbedringer på det grunnlaget.

- Beregn en overkommelig mengde av de kombinasjonene som oppfyller budsjettet best, og føy til et utvalg av kombinasjoner som ellers virker lovende.
- Velg ut ensidige kombinasjoner, dvs. kombinasjoner som legger ensidig vekt på forbedringer i en del av nettet (en rute, en hovedveg). Prøv å forbedre dem ved å supplere med lønnsomme prosjekter i andre deler av byen.

Disse kulepunktene inneholder stort sett oppskrifter på slike trinnvise prosedyrer som vi ifølge vår hypotese ikke kan stole på. Det vil imidlertid ikke si det samme som at de ikke kan gi gode resultater i de fleste tilfeller.

Etter beregningene følger nå valget av beste løsning.

1. Hvis det ikke er delt inn i avhengighetsgrupper, velg den av de beregnede kombinasjonene som har høyest nåverdi av dem som oppfyller budsjettet.
2. Hvis prosjektene er delt i avhengighetsgrupper, fordel budsjettet foreløpig mellom avhengighetsgruppene og følg punkt 1 for hver avhengighetsgruppe. Omfordel budsjettet mellom gruppene og gjenta prosedyren. Velg den budsjettfordelingen som gir størst samlet nåverdi. *Eller:* Angi en skyggepris på budsjettkroner, og beregn nåverdien av hver kombinasjon i hver avhengighetsgruppe med den skyggeprisen. Velg kombinasjonen med størst nåverdi fra hver gruppe, hvis den er positiv. Summer investeringskostnadene. Hvis de overstiger budsjettet, senk skyggeprisen og beregn igjen. Omvendt hvis budsjettmidler blir til overs. Ta vare på alle samlede nåverdier underveis, og avslutt med å velge den beste.

### 5.3 Avslutning

De forsøkene som nå gjøres for å håndtere avhengighet mellom prosjekter på etterspørselssida, vil gi et erfaringsmateriale som både kan være til hjelp for det enkelte vegkontor seinere, og av verdi for andre. Av den grunn er det viktig at vegkontorene ikke utfører dette arbeidet uten en klar plan, og at de er istand til å viderebringe erfaringene med den planen de har fulgt.

Det grunnleggende er naturligvis at de er klar over at beregningene for hvert prosjekt isolert sett ikke gir indikatorer som kan brukes til å treffe prosjektvalg med, men at nåverdi og nyttekostnadsbrøk bare er veldefinert for kombinasjonene av prosjekter. Det de må søke etter, er derfor kombinasjoner med størst mulig nåverdi.

Til slutt er det også viktig at de er klar over at den prioriteringen de til slutt foretar mellom prosjektene, i høy grad kan måtte revideres straks det blir klart at politikerne vil velge et bestemt eller noen bestemte prosjekter. Lønnsomheten av de øvrige prosjektene vil ikke være den samme med og uten slike føringer. Dette er behandlet i pkt. 4.1d.

## 6 Elastisk etterspørsel

Vi nevnte i kapittel 2 at i byområder finnes det en mye større mulighet enn ellers til å velge kollektive transportmidler. Grunnideen i EFFEKT-beregningene er imidlertid å finne endringer i kostnadene ved å avvikle gitte trafikkstrømmer (en gitt til-fra-matrise). Det er altså forutsatt at reisekostnaden ved en bilreise ikke f.eks. påvirker reisemiddelfordelingen mellom bil og kollektiv.

Forutsetningen i vegvesenets beregningsmetode, nemlig at trafikkstrømmene er uendret med og uten tiltakene, vil naturligvis kunne gi opphav til feil når trafikkstrømmene i virkeligheten er funksjoner av reisekostnadene. Disse feilene kan tenkes å være av ulik størrelse med og uten avhengighet mellom prosjektene. Det vil si at avhengighetsproblematikken kan tenkes å stå i et komplisert forhold til problematikken med fast kontra variabel OD-matrise.

I Williams og Moore (1990) er det gjort simuleringer med ulike forutsetninger om kjøreforhold og trafikkbilde for å finne hvor stor feilen blir når etterspørselen etter bilreiser på alle relasjoner forutsettes konstant i lønnsomhetsberegningen, mens den i virkeligheten er variabel, dvs. en funksjon av reisekostnadene. Fire forskjellige «politikker» er undersøkt under ulike forutsetninger om køforhold og kostnadselastisitet. En politikk er i denne sammenhengen en overgang fra en speed-flowkurve til en annen.

Vegvesenets metode undervurderer stort sett den virkelige nytta når køproblemen er små, og overvurderer den når køproblemen er store. *Både under- og overvurderingen er større jo mer elastisk etterspørselen er.* Dette betyr at feilutslagene begge veier er mer alvorlige når etterspørselen er elastisk. Feilene kan bli meget store ved en kostnadselastisitet på 1,5.

Det finnes et unntak fra regelen om at vegvesenets metode overvurderer den virkelige nytta når køproblemen er store. En politikk som øker kapasiteten betydelig på en veg med mye lavere kapasitet enn vegene i de andre politikkenes, og samtidig øker fri flyt-hastigheten fra 50 til 60 km/t, er undervurdert med vegvesenets metode under alle køforhold, og undervurderingen er større jo større køproblemen er i utgangspunktet, og jo mer elastisk etterspørselen er. Forskjellen mellom dette resultatet og de øvrige må, såvidt jeg kan se, ligge i at de andre politikkenes i mindre grad øker vegkapasiteten. Forøvrig vises det til artikkelen.

Nyttekostnadsanalyser i bymessige strøk vil kunne lide av to feil: den feilen som blir behandlet av Williams og Moore, og feilen å ikke ta hensyn til avhengighet. Hvordan feilene samvirker, om de motarbeider eller forsterker hverandre, er det for øyeblikket bare mulig å spekulere om.

## 7 Konklusjoner og forslag til videre arbeid

I teorien kan vi beregne lønnsomheten av veginvesteringer når prosjektene er avhengige på etterspørselssida gjennom å beregne lønnsomheten av alle mulige kombinasjoner av prosjektene. I praksis vil dette ofte bli et uoverkommelig arbeid.

SPIN-modellen er utviklet på TØI for å gjøre dette arbeidet overkommelig. Modellen vil imidlertid ikke være aktuell i et arbeidet vegkontorene skal gjøre de nærmeste månedene.

En anbefaling er gitt til hvordan vegkontorene kan gå fram i det umiddelbart forestående arbeidet. I utgangspunkt anbefaler vi å beregne et overkommelig antall kombinasjoner. En måte å oppnå et overkommelig antall kombinasjoner på, er å dele prosjektene i avhengighetsgrupper. Skjønnsmessige vurderinger kan også måtte gjøres. Gjennom eksperimenter med fordeling av budsjettet på avhengighetsgruppene, eller ved gjentatte beregninger med ulike skyggepriser på budsjettkroner, finner en så den samlede kombinasjonen av prosjekter som har størst nåverdi under budsjettbetingelsen.

*Tre forslag til videre oppfølging framgår av notatet:*

- For det første bør vegkontorenes erfaringer med avhengighetsproblematikken i denne omgangen systematiseres og analyseres.
- For det andre bør et arbeid med å gjøre SPIN-modellen tilgjengelig for vegkontorene settes iverk hvis erfaringene tilsier det.
- For det tredje bør et arbeid med å vurdere størrelsen på de feil som kan gjøres ved å anvende EFFEKT til lønnsomhetsberegninger i bymessige strøk, settes igang. Feil på grunn av at etterspørselen er elastisk og feil på grunn av at avhengige prosjekter behandles som uavhengige, bør studeres hver for seg og i sammenheng.

## Litteratur

- Nemhauser, G.L. og L.A. Wolsey (1988):  
*Integer and Combinatorial Optimization. John Wiley and Sons, New York.*
- Lorie, J.H. og L.J. Savage (1955):  
*Three problems in rationing capital. The Journal of Business* **28** (4) side 229-239.
- Maier, S.F. og J.H. van der Weide (1976):  
*Capital budgeting in the decentralized firm. Management Science* **23** (4) side 433-443.
- Minken, H. (1995):  
Interdependency between projects along a corridor. *Paper presented at the conference «Exploring the Application of Benefit-Cost Methodologies to Transportation Infrastructure Decision Making», May 14-17, Tampa, Florida.*
- Williams, H.C.W.L. og L.A.R. Moore (1990):  
*The Appraisal of Highway Investments under Fixed and Variable Demand. Journal of Transport Economics and Policy, January 1990.*