

PRIORITERING AF TRAFIKINVESTERINGER

Af INGE THYGESEN*

1. Selv om de offentlige budgetter vokser hurtigere end nogen sinde, synes kravene om offentlige investeringer inden for alle sektorer at stige endnu stærkere. Dette gælder ikke mindst inden for trafiksektoren, hvor direktoraterne for de enkelte trafikarter alle opererer med milliardprojekter. Mange planlæggere, teknikere og økonomer arbejder på at belyse og vurdere, hvorledes de presserende behov bedst kan tilgodeses. Kræfterne har meget naturligt været koncentreret om de mest permanente aspekter af de forelagte projekter. Langt de fleste investeringsbeslutninger involverer forhold, der ikke siden kan ændres med rimelige omkostninger. Dette gælder normalt den geografiske beliggenhed (f. eks. lufthavn på Saltholm eller Amager og motorvej i Øst- eller Midtjylland) og dele af den tekniske udformning, herunder især de mere kvalitative aspekter (f. eks. bro versus tunnel). Men hertil kommer en lang række forhold, der er af mindre definitiv art, og som derfor bedre kan afvejes med de øjeblikkelige og forudselige økonomiske muligheder. Dette gælder i særlig grad spørgsmålet om, hvornår et projekt skal realiseres, men også om hvor stor en kapacitetsudvidelse, man skal foretage i første omgang. Selv den geografiske beliggenhed kan undertiden opfattes som et spørgsmål om udbygningstakt; f. eks. var Øresundsgruppernes problem ikke, om de skulle anbefale en forbindelse Helsingør-Helsingborg eller København-Malmø, men derimod at udpege den forbindelse, der skulle bygges først.

Midt i en sparetid ligger den væsentligste del af politikernes handlefrihed netop i at spille på alle disse muligheder. Prioritering må ske såvel inden for den enkelte aktivitet som mellem aktiviteter. Planlæggerne kan yde en betydningsfuld indsats ved at udarbejde det nødvendige grundlag for en sådan *dynamisk planlægning ved at belyse effekten af varierende udbygningstakt i de enkelte aktiviteter.*

* Lektor ved Danmarks tekniske Højskole. Artiklen er udarbejdet på grundlag af et foredrag holdt ved Københavns Universitets Økonomiske Seminar og Regional Science Association's møde den 15. februar 1968.

PRIORITERING AF TRAFIKINVESTERINGER

Af INGE THYGESEN*

1. Selv om de offentlige budgetter vokser hurtigere end nogen sinde, synes kravene om offentlige investeringer inden for alle sektorer at stige endnu stærkere. Dette gælder ikke mindst inden for trafiksektoren, hvor direktoraterne for de enkelte trafikarter alle opererer med milliardprojekter. Mange planlæggere, teknikere og økonomer arbejder på at belyse og vurdere, hvorledes de presserende behov bedst kan tilgodeses. Kræfterne har meget naturligt været koncentreret om de mest permanente aspekter af de forelagte projekter. Langt de fleste investeringsbeslutninger involverer forhold, der ikke siden kan ændres med rimelige omkostninger. Dette gælder normalt den geografiske beliggenhed (f. eks. lufthavn på Saltholm eller Amager og motorvej i Øst- eller Midtjylland) og dele af den tekniske udformning, herunder især de mere kvalitative aspekter (f. eks. bro versus tunnel). Men hertil kommer en lang række forhold, der er af mindre definitiv art, og som derfor bedre kan afvejes med de øjeblikkelige og forudselige økonomiske muligheder. Dette gælder i særlig grad spørgsmålet om, hvornår et projekt skal realiseres, men også om hvor stor en kapacitetsudvidelse, man skal foretage i første omgang. Selv den geografiske beliggenhed kan undertiden opfattes som et spørgsmål om udbygningstakt; f. eks. var Øresundsgruppernes problem ikke, om de skulle anbefale en forbindelse Helsingør-Helsingborg eller København-Malmø, men derimod at udpege den forbindelse, der skulle bygges først.

Midt i en sparetid ligger den væsentligste del af politikernes handlefrihed netop i at spille på alle disse muligheder. Prioritering må ske såvel inden for den enkelte aktivitet som mellem aktiviteter. Planlæggerne kan yde en betydningsfuld indsats ved at udarbejde det nødvendige grundlag for en sådan *dynamisk planlægning ved at belyse effekten af varierende udbygningstakt i de enkelte aktiviteter.*

* Lektor ved Danmarks tekniske Højskole. Artiklen er udarbejdet på grundlag af et foredrag holdt ved Københavns Universitets Økonomiske Seminar og Regional Science Association's møde den 15. februar 1968.

2. Prioriteringsopgaven kan skematiseres i følgende tre punkter:
 - 1° at udpege de relevante alternativer for hver aktivitet med hensyn til udbygningstakt i videste forstand.
 - 2° at beskrive konsekvensen af disse med hensyn til
 - a) den langsigtede samfundsøkonomiske interesse
 - b) de kortsigtede samfundsøkonomiske interesser
 - c) diverse ikke-økonomiske interesser.
 - 3° at opbygge beslutningsregler, der fører til velafbalancerede planer inden for de givne økonomiske rammer.

Uheldigvis kan opgaverne 1°–3° ikke løses successivt. Thi der eksisterer et (uendeligt) stort antal alternativer for enhver aktivitet, og det er principielt umuligt at afgøre, hvilke alternativer der er relevante (jvf. 1°) uden vidtgående indsigt i såvel konsekvenserne (2°) som prioriteringsreglerne (3°). Den overvejende del af planlæggerens arbejde består derfor i at eliminere så stor en del af de mange mulige alternativer, som det er forsvarligt på et objektivt grundlag. Nedenfor diskuteres nogle metoder til rangordning af projekter alene ud fra økonomiske hensyn, idet det overalt vil blive forudsat, at de betragtede projekter har tilnærmelsesvis samme ikke-økonomiske virkninger.

Der er i de senere år gjort store fremskridt i udviklingen af disse metoder. Man synes nu at være nået så vidt, at metoderne må betegnes som på samme tid teoretisk tilfredsstillende, rimeligt virkelighedsnære og beregningsmæssigt overkommelige. Inspirationen i denne udvikling er kommet fra mange sider: den driftsøkonomiske investeringsteori, velfærdsteorien, herunder de såkaldte »benefit-cost« analyser, og matematisk programmering. De fleste sider af denne sammensatte problemstilling er belyst i to små bøger af Stephen Marglin [8], [9]. Disse overvejende teoretiske fremstillinger suppleres dog efterhånden af artikler og rapporter om anvendelser af metoderne; nedenfor omtales således nogle eksempler fra vejplanlægning.

3. Ved opgørelsen af *den langsigtede samfundsøkonomiske interesse* i gennemførelsen af et offentligt investeringsprojekt melder der sig to hovedproblemer: Hvilke størrelser skal indgå på projektets indtægtsside? Hvilken rente skal benyttes ved sammenvejningen af indtægter og udgifter?

Den sædvanlige fremgangsmåde i *benefit-cost analyserne* er at medregne alle de fordele for borgerne, som med rimelighed kan opgøres i penge, og ikke kun de indtægter, som det offentlige får gennem takstopkrævning i forbindelse med den forbedrede service. Eksempelvis søger man i benefits ved en udbygning af transportsystemet at medregne den forventede samfundsøkonomiske værdi af trafikanternes tidsbesparelse og af nedsættelsen af antallet af trafikulykker. Det skal nedenfor antages, at de betydelige afgrænsnings- og måleproblemer, der altid opstår i praksis, har fundet deres løsning.

Den rente, som anvendes i benefit-cost analyserne, udtrykker i princippet et skøn over *samfundets marginale tidspræferencerente*, d.v.s. den reale indkomstforøgelse, borgerne vil kræve næste år som kompensation for opgivelse af een kroners indkomst i år. Denne rente afhænger utvivlsomt af, hvor stor den disponible indkomst er i øjeblikket og forventes at blive især i den nærmeste fremtid. Så længe de offentlige budgetter (og dermed skattetrykket) fastholdes, kan man derfor antage, at den marginale tidspræferencerente er tilnærmelsesvis uafhængig af, hvilken plan man vælger for udbygningen af de offentlige aktiviteter. I praksis har man ikke mulighed for at give et velbegrundet skøn over denne rente; man må vælge en vilkårlig, »rimelig« rentefod, således som f.eks. Øresundsgruppernes betænkning [1] har gjort det ved at anvende en kalkulentefod på 7 pct. p.a.

Den langsigtede samfundsøkonomiske interesse kan herefter udtrykkes ved *kapitalværdien af benefits minus costs opgjort ved tidspræferencerenten*, og en rangordning kan opstilles for de projekter, der har en positiv kapitalværdi.

4. En sådan rangordning er imidlertid kun tilstrækkelig som beslutningsgrundlag i det hypotetiske tilfælde, hvor det samlede kapitalkrav fra de udvalgte projekter netop svarer til de budgetrammer, der var forudsætningen for fastlæggelsen af den marginale tidspræferencerente. I praksis vil budgetrestriktioner og/eller begrænsninger af særligt knappe produktionsfaktorer som f. eks. visse typer af arbejdskraft medføre, at ikke alle projekter med en positiv kapitalværdi (opgjort som nævnt ovenfor) kan gennemføres. Denne kapitalknaphed er et udtryk for en suboptimal fordeling af samfundets ressourcer mellem den private og den offentlige sektor, som det imidlertid er politisk uigennemførligt at ændre. Derved opstår der et behov for rationering af de offentlige midler, således at der skabes overensstemmelse mellem udgiftsønsker og -muligheder.

Dette kræver en særskilt opgørelse af projekternes *samfundsøkonomiske konsekvenser på kort sigt* (jvf. 2^ob ovenfor), *herunder især kapitalomkostningerne¹ i hvert af de nærmeste år.*

5. Kapitalknapheden medfører, at den ovennævnte rangordning alene ud fra projektets kapitalværdi må modificeres gennem en *afvejning af de langsigtede og de kortsigtede samfundsøkonomiske interesser.*

Betragter man en offentlig aktivitet, hvis benefits er approksimativt uafhængige af andre offentlige aktiviteter, kan de alternative udbygningsmuligheder rangordnes efter flg. kriterium:

1. Principielt ville det være mere relevant at opgøre de samlede nettoomkostninger for det offentlige. Ifølge gældende bevillingspraksis er det imidlertid anlægsbudgetterne, der er afgørende. De uheldige virkninger heraf er fremhævet af Erik Ib Schmidt [10].

$$(1) \quad \max_{\{k\}} (Y_k - \sum_t c_{kt} \lambda_t (1+r)^{-t}),$$

hvor

$$Y_k = \sum_t (b_{kt} - c_{kt}) (1+r)^{-t}$$

= kapitalværdien af benefits minus costs for alternativ k opgjort til tiden $t = 0$ ved renten r .

b_{kt} = netobenefit excl. kapitalomkostninger for alternativ k i år t .

c_{kt} = kapitalomkostninger for alternativ k i år t .

λ_t = marginale alternativomkostning i år t .

r = samfundets marginale tidspræferencerente.

Kapitalværdien af hvert alternativ er formindsket med de tilsvarende *alternativomkostninger*, der her er defineret som kapitalværdien af den samfundsøkonomiske gevinst, der kunne opnås ved den bedst mulige alternative anvendelse af kapitalen i andre aktiviteter, der skal tilgodeses af samme budget. Denne vurdering af alternativomkostningerne, der er nødvendig og tilstrækkelig for kriteriet (1), er i fuld overensstemmelse med det grundsynspunkt, der ovenfor førte til formuleringen af samfundets målsætning på langt sigt. Det bemærkelsesværdige ved (1) er, at kapitalknapheden udtrykkes ved skyggeværdien af kapital i de enkelte år inden for planlægningsperioden, mens den tidspræferencerente, der svarer til befolkningens indkomstforhold, fastholdes som kalkulerente (se f.eks. nærmere hos M. S. Feldstein [2]).

Hvis kapitalknapheden ikke er følelig, vil $\lambda_t \approx 0$ for alle t , og (1) simplificeres da til det klassiske kapitalværdikriterium, der blev nævnt ovenfor under 3.

6. Hersker der kapitalknaphed, afviger kriteriet (1) derimod fra traditionel økonomisk teori, ifølge hvilken kalkulerenten fastlægges gennem kravet om, at budgettet skal balancere. Denne metode maksimerer den interne rente af den samlede plan, d.v.s. summen af de projekter, der udvælges inden for budgettet. Det må understreges, at de to kriterier ikke er identiske og kun sjældent vil føre til samme rangordning af projekterne. Prioriterer man ud fra den interne rente, vil eksempelvis en plan, der afkaster 20 pct. p. a. i 5 år, blive foretrukket for en plan, der afkaster 18 pct. p. a. i 20 år, uanset at kapitalindsatsen – det vil her sige budgettet – er den samme. Anvendes det modificerede kapitalværdikriterium (1), vil den sidste plan blive foretrukket, idet man roligt tør antage, at den marginale tidspræferencerente er mindre end 18 pct. p. a. Den forhøjelse af kalkulerenten, som udgør forskellen mellem den traditionelle og den her foreslåede metode til prioritering, bevirker med andre ord en favorisering af projekter med kort levetid. Det er i det hele taget en mere og mere udbredt opfattelse, (se f.eks. B. Hållsten [4]), at den interne

rente er uegnet som beslutningsgrundlag, idet man ofte føres til inkonsistente beslutninger.

7. Anvendeligheden af (1) som prioriteringsgrundlag er åbenbart afhængig af kendskabet til de marginale alternativomkostninger λ_t . En nærmere fastlæggelse heraf kan kun ske ved en principplanlægning for hele den betragtede sektor (det vil her sige et sæt af offentlige aktiviteter, der tilgodeses af samme budget). Selv uden at der foreligger en sådan samlet plan, er (1) alligevel meget nyttig, idet et foreløbigt skøn over størrelsesordenen af λ_t altid vil være tilstrækkeligt til at eliminere en væsentlig del af de mange udbygningsmuligheder for den enkelte aktivitet.

Som en konsekvens af usikkerheden vil det ofte være rimeligt at antage, at kapitalknapheden er lige udtalt i hele planlægningsperioden. (1) simplificeres da til

$$(2) \quad \max_{\{k\}} (Y_k - \lambda C_k),$$

hvor

$$C_k = \sum_t c_{kt} (1+r)^{-t}$$

= kapitalværdien af anlægsomkostningerne for alternativ k .

$$\lambda \equiv \lambda_t$$

= marginale alternativomkostning i alle perioder.

I praksis er den information, man har om λ , yderst begrænset, og det er derfor ønskværdigt at analysere *resultatets følsomhed over for variationer i λ* .

Figur 1 illustrerer en grafisk metode til bestemmelse af det optimale projekt for alle værdier af λ . Udgangspunktet er et diagram som figur 1,1, hvor (Y_k, C_k) er indprykket for hvert alternativ (k). For enhver fast værdi af λ kan man indtegne et sæt af *indifferenskurver* (i dette tilfælde rette linier) på hvilke den samfundsøkonomiske nettogevinst, $Y - \lambda C$, er konstant (se figur 1,2). Det projekt, der ligger på den højeste linie, er åbenbart det optimale projekt svarende til den anvendte værdi af λ . Udfører man dette for alle positive værdier af λ , fremkommer der en slags »*ekspansionsvej*» (se figur 1,3), der viser, hvorledes investeringerne (c) bør udvides for faldende værdier af de marginale alternativomkostninger (λ). Hvis konsekvenserne af alle planer er målt relativt til en fortsættelse af den eksisterende aktivitet, vil ekspansionsvejen være en konkav, stykkevis lineær kurve, som går fra (0,0) via visse projekter til det projekt, hvor Y er størst. Liniestykkernes hældning angiver umiddelbart de kritiske værdier af λ . Det er herefter tilstrækkeligt at skønne over, hvilket af de således definerede intervaller λ tilhører (jvf. analysen af figur 1,3).

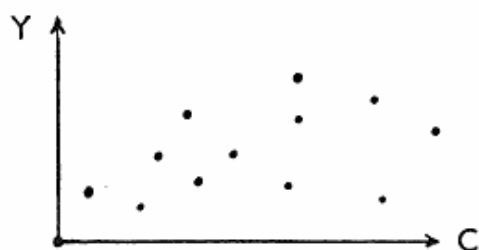


Fig. 1,1. Alternative projekter.

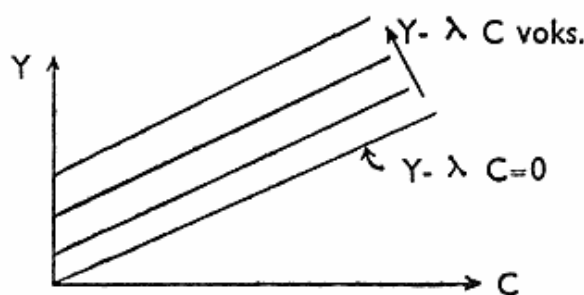
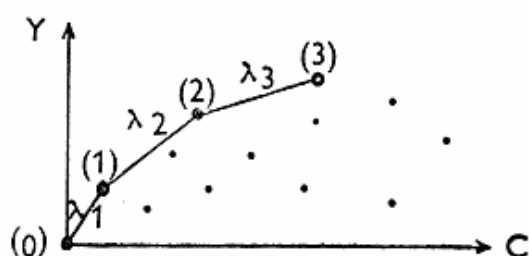


Fig. 1,2. Indifferenskurver.



Alternativomk.:	Optimalt projekt:
$\lambda < \lambda_1$	(0) = status quo
$\lambda_1 \leq \lambda < \lambda_2$	(1)
$\lambda_2 \leq \lambda < \lambda_3$	(2)
$\lambda_3 \leq \lambda$	(3)

Fig. 1,3. Ekspansionsvej. Kritiske værdier af λ . ($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ betegner hældningen på de tilhørende liniestykker).

Figur 1. Valg mellem alternative projekter ud fra kriteriet (2). Følsomhedsanalyse m. h. t. λ .

Nytten af den foreslåede metode er naturligvis voksende med antallet af alternativer, der skal vurderes. Selve den grafiske afbildning kan udføres af datamaskiner i tilslutning til udskriften af de numeriske resultater.

8. I den nyligt afgivne *betænkning vedr. faste forbindelser over Øresund* [1] findes et forbilledligt arbejde af denne art. Øresundsgrupperne har belyst konsekvenserne af et meget stort antal alternativer m.h.t. geografisk placering, teknisk udformning (bro/tunnel), kapacitet (antal vejbaner og jernbanespor) og tidsplan. Det er det mest udfordrige trafikøkonomiske beslutningsgrundlag¹, der hidtil er set i Danmark. Det har utvivlsomt krævet mere arbejde end den traditionelle rentabilitetsundersøgelse af et enkelt alternativ, men meromkostningerne er stærkt aftagende med antallet af vurderede alternativer. Dette skyldes dels den systematiske tilrettelæggelse af dataopstillingerne og dels den effektive eliminationsteknik, der hurtigt forkaster langt de fleste alternativer på overbevisende måde. De centrale dele af analysen er kort refereret i det følgende.

I erkendelse af at både en Helsingør-Helsingborg (HH) og en København-Malmø (KM) forbindelse må realiseres i en overskuelig fremtid, omformulerer man problemet om geografisk beliggenhed ved at undersøge, hvilken af disse der bedst tåler at udsættes². HH viser sig klart at være mindst påtrængende. Man kan da koncentrere sig om planer, der starter med en KM-forbindelse suppleret med en HH-forbindelse enten straks (1980) eller senere, når et a priori fastlagt serviceniveau kræver det. I tabel 1 gengives beregningerne for nogle af de mest rele-

1. Uheldigvis baseres betænkningens beregninger udelukkende på anlæggenes rent driftsøkonomiske konsekvenser. Da formålet her er et referat af analyseformen, er dette gennemført, som om de viste tal udtrykte samfundsøkonomiske benefits og costs.

2. Dette er en anvendelse af kriterium (4) nedenfor.

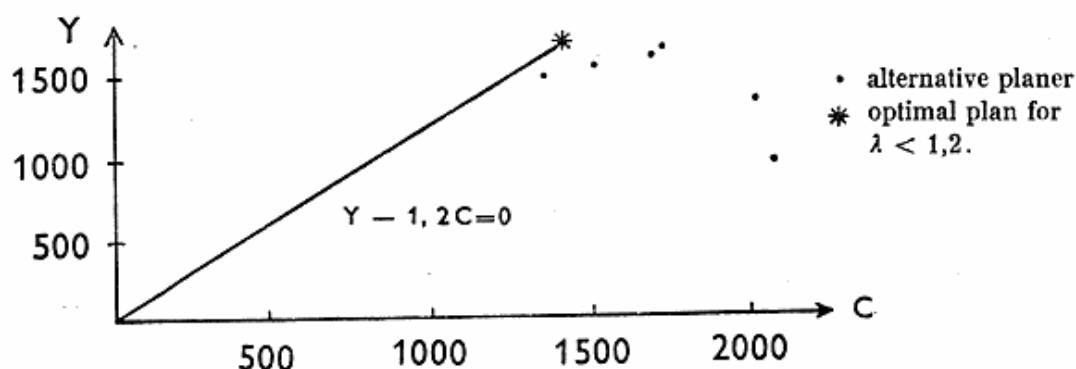
Tabel 1. Øresundsforbindelserne. Økonomisk vurdering af alternative planer for udbygningstakt.

Alternativ ¹			Y ²	c ₁₉₈₀ ³	c ₁₉₉₀ ⁴	C ⁵	-ΔY ⁶
nr.	1980	1990					
(1)	KM62	—	978	2479	—	2479	-4
(2)	KM60	—	1479	1358	—	1358	48
(3)	KM40	HH01	1710	1082	645	1405	} 69
(4)	KM40	HH40	1556	1082	839	1502	
(5)	KM40	HH41	1637	1082	1198	1681	
(6)	KM40+HH01	—	1661	1727	—	1727	55
(7)	KM40+HH41	—	1382	2018	—	2018	21

1. KM 62 = København-Malmø forbindelse med 6 vejbaner og 2 jernbanespor.
HH 01 = Helsingør-Helsingborg forbindelse med 0 vejbaner og 1 jernbanespor.
2. Y = nettokapitalværdi i mill. kr. opgjort 1/1-1980 ved 7% p. a.
3. c₁₉₈₀ = anlægsomkostninger i mill. kr. ved 1980-forbindelsen.
4. c₁₉₉₀ = anlægsomkostninger i mill. kr. ved 1990-forbindelsen.
5. C = kapitalværdi af anlægsomkostninger ialt opgjort som Y.
6. -ΔY = fald i Y, hvis 1980-forbindelsen udskydes 1 år.

Kilde: Øresundsgruppens betænkning [1].

vante alternativer m.h.t. kapacitet og tidsfæstelse. I betænkningen fastlægges først den optimale kapacitet under forudsætning af, at anlægget kan tages i brug i 1980 svarende til, at beslutning, projektering og anlæg sker i sædvanligt tempo. Man anvender kriteriet (2) og konstaterer, at



Figur 2. Øresundsforbindelserne. Valg mellem alternativ udbygningstakt m.h.t. kapacitet (se tabel 1).

KM40 i 1980+HH01 i 1990 er bedst for $\lambda = 0, 0,1, 0,2$ og $0,3$. Ved den grafiske afbildning af (C, Y) , som er vist i figur 2, kan man let overbevise sig om, at det fundne resultat er yderst ufølsomt over for graden af kapitalknaphed, idet det holder for alle $\lambda < 1,2$.

9. Det er værd at bemærke, at anvendelsen af kriterierne (1) og (2) kun involverer *prognoser over de relative virkninger af hvert alternativ*. Består prioriteringen udelukkende i tidsfæstelse af projektet, kan man således nøjes med at forudsige projektets konsekvenser i det første driftsår. Det optimale anlægstidspunkt findes ved en gentagen anvendelse af »first-year benefit« kriteriet¹:

1. Det må forudsættes, at b er ikke-aftagende. Metoden er første gang anvendt herhjemme i Arne Jensen [5].

$$(3) \quad b - r(1 + \lambda)C \begin{cases} < 0 : \text{udskyd} \\ \approx 0 : \text{realiser} \\ > 0 : \text{fremskynd,} \end{cases}$$

hvor

- b : nettobenefit i projektets første driftsår.
- C : kapitalværdi af anlægsomkostninger opgjort ved slutningen af anlægsperioden.
- λ : marginal alternativomkostning, der her må forudsættes konstant i anlægsperioden.
- r : samfundets marginale tidspræferencerente.

$b - rC$ er faldet i projektets kapitalværdi og $-r\lambda C$ er nettoværdien af at have anlægskapitalen til rådighed til andre projekter i det betragtede år. $b - r(1 + \lambda)C$ udtrykker således det totale samfundsøkonomiske tab ved at udskyde projektet. Hvis projektet involverer signifikante ikke-økonomiske interesser, må b opgøres i forskellige enheder, og den endelige beslutning overlades til politikerne.

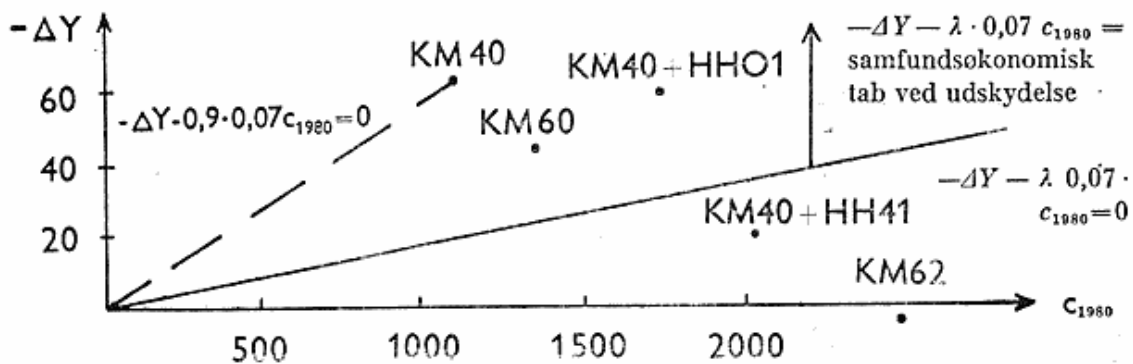
10. Øresundsgrupperne anvender dette kriterium¹ til at undersøge, om åbningsåret bør være 1980 som forudsat. Til brug herfor beregnes (jvf. tabel 1):

$$-\Delta Y = b - 0,07 c_{1980},$$

d.v.s. faldet i kapitalværdien, hvis anlægget udskydes i et år. I figur 3 findes en grafisk afbildning af $(c_{1980}, -\Delta Y)$, hvoraf det fremgår, at det samfundsøkonomiske tab

$$-\Delta Y - 0,07 \lambda c_{1980}$$

ved at udskyde KM 40 er positivt for alle $\lambda < 0,9$. Det hurtigst mulige anlæg (1977) kan derfor anbefales. Figuren viser endvidere, at rangordningen af alternativerne m.h.t. kapacitet ikke



Figur 3. Øresundsforbindelserne. Effekten af en udskydelse af de alternative udbygningsplaner i 1 år (se tabel 1).

ændres herved, idet KM 40 vinder mest ved en fremskyndelse. Udskyder man derimod realiseringen tilstrækkeligt længe, vil KM 60 blive mere rentabel end KM 40, ganske som man ville vente.

1. I dette spørgsmål ser man mærkeligt nok væk fra alternativomkostninger, d.v.s. sætter $\lambda = 0$ i (3).

11. »First year benefit« metoden kan let generaliseres til *tidsfæstelse af et vilkårligt antal afhængige projekter*. I princippet må projekterne kombineres til et sæt af alternative planer (nummereret $i = 1, 2, \dots$) for hvilke projekter der skal realiseres i det førstkommende år. Den bedste plan findes som den, der giver den største samfundsøkonomiske gevinst i det første år, d.v.s. ud fra kriteriet

$$(4) \quad \max_{\{i\}} [b(i) - r(1 + \lambda)C(i)],$$

hvor betegnelserne er analoge med de i (3) anvendte. Ved (4) sikrer man sig, at de projektkombinationer, der dårligst tåler at udskydes, gennemføres først.

I praksis kan antallet af projektkombinationer, der skal analyseres, ofte reduceres afgørende. I første omgang kan man således begrænse sig til at vurdere projekterne dels enkeltvis, dels i kombinationer, der kan tænkes at forstærke hinanden. Hvis den samfundsøkonomiske gevinst af en sådan plan er positiv, kaldes den en gunstig plan. Finder man en eller flere gunstige planer, der kan antages at være uafhængige, påbegyndes alle de tilsvarende projekter. Findes derimod et sæt af gunstige planer, der er afhængige, må man foretage fornyede beregninger for kombinationer af de gunstige planer, der mistænkes for at afsvække hinanden. Det endelige valg mellem de derved fremkomne relevante alternativer kan ske ud fra (4). Anvendes metoden efter sin hensigt, d.v.s. hvert år, vil antallet af gunstige planer være småt, hvorfor de alternative kombinationsmuligheder vil være få. Det er ikke så meget antallet af projekter som afhængighederne mellem disse, der er afgørende for beregningsarbejdet. Såfremt det er muligt at fordele projekterne på serier, der er indbyrdes uafhængige, kan metoden anvendes på hver serie for sig, og meget væsentlige besparelser opnås.

12. Metoden er afprøvet på prioriteringen af *den jydsk motorvejs sektioner for færdiggørelsesåret 1972* [3]¹. De resterende 21 sektioner er blevet opdelt i 6 uafhængige serier. Der er i alt vurderet 55 planer, inklusive status quo. Det er derved lykkedes at dække alle signifikant afhængige kombinationer samt at sandsynliggøre seriernes uafhængighed.

Selve beregningsarbejdet viste sig ikke nær så kostbart som oprindeligt frygtet. Regnetiden på ca. 2,5 min. pr. plan på IBM 7090 er ikke afskrækkende i forhold til opgavens dimensioner. Trafikken mellem 47 zoner blev analyseret på et vejnet bestående af 716 strækninger og 237 knudepunkter. Det må dog understreges, at inputdata er yderst spinkle, hvorfor resultaterne er behæftet med stor usikkerhed. Således måtte sektionerne omkring Århus udgå af de endelige vurderinger.

De vigtigste resultater iøvrigt er resumeret i tabel 2,1, der viser b , C samt overskuddet $b - r(1 + \lambda)C$ for en række alternative planer i hver serie. Den optimale, totale plan findes ved i hver serie at vælge den plan, der giver størst overskud, forudsat at dette er positivt. Jo større

1. Idet projekterings- og anlægsperioden af Vejdirektoratet er anslået til 4-5 år.

Tabel 2. Den jydske motorvej.

Tabel 2.1. Økonomisk vurdering af de analyserede planer.

Serie	Sektion	C ¹	b ¹	$b - r(1 + \lambda)C^2$			
				$r(1 + \lambda): 0,10$	0,15	0,18	
1	Ø	58,2	8,2	<u>4,4</u>			
	Z	107,0	0				
	V	45,8	0,7				
	Ø+Z	165,2	11,8				
	Z+V	152,2	0,7				
	Ø+Z+V	211,0	16,7				
2	U	75,2	1,4				
3	S	53,1	1,7				
4	M	51,5	6,0	0,8			
	L	55,7	3,6				
	K	71,5	9,4	2,2			
	I	69,9	0,4				
	M+L	107,2	14,4	3,7			
	K+I	141,4	24,9	10,9	3,8		
	M+L+K	178,7	31,7	13,8	3,9		
	L+K+I	197,1	31,5	11,8	1,9		
	M+L+K+I	248,6	48,5	<u>23,6</u>	<u>11,2</u>	<u>3,8</u>	
	5	H	142,4	8,5			
		G _I	50,2	0			
G _{II}		45,3	0,3				
H+G _I		193,2	8,5				
H+G _{II}		187,7	12,7				
H+G _I +G _{II}		238,6	21,5				
6	A	86,0	11,7	3,1			
	B	64,3	11,6	5,2	2,0		
	C	61,0	0				
	D	104,2	7,2				
	E	74,9	1,6				
	F	43,9	0				
	A+B	150,3	25,0	<u>10,0</u>	<u>2,5</u>		
	B+C	125,3	11,6				
	C+D	165,2	7,2				
	D+F	179,1	10,1				
	E+F	118,8	1,6				
	A+B+C	211,3	25,0	3,9			
	D+E+F	223,0	10,1				
	A+B+C+						
	D+E+F	434,3	43,9	0,5			

1. Kilde: S. Hamann [3].

2. Overskuddet er kun anført, hvor det er positivt. Understregning angiver de optimale kombinationer.

Tabel 2,2. Den optimale udbygningsplan for 1972.

$r(1+\lambda)$	Optimal plan	C	b
0,09-0,14	M+L+K+I+B+A+Ø	451	80
0,15	M+L+K+I+B+A	399	72
0,16-0,17	M+L+K+I+B	313	60
0,18-0,19	M+L+K+I	249	49
0,20	status quo	0	0

Signaturforklaring:

M+L+K+I:	Skanderborg nord-Vejle nord.
B	: Kolding syd-Haderslev nord.
A	: Kolding Omfartsvej.
Ø	: Ålborg 14 km syd-Ålborg 23 km syd.

værdi man tillægger $r(1+\lambda)$, jo færre sektioner foreslås bygget, og jo mindre kapital foreslås anvendt til den jyske motorvej (jvf. oversigten i tabel 2,2). Dette er en simpel følge af det aftagende udbyttes lov, der dog først slår igennem for meget store investeringer.

13. Kriterierne (3) og (4) er desværre kun anvendelige, hvis *linieføring, kapacitet og teknisk udformning* af projekterne iøvrigt er givne. Består der valgmuligheder for disse forhold, må man anlægge et *længere perspektiv*. Ved valg af den optimale kapacitetsudvidelse i en etapevis udbygning kan prognoseperioden dog begrænses til tiden, indtil den fulde udbygning i al fald skal være sket, og prognosearbejdet indskrænkes til at omfatte forskellen mellem etapevis og fuld udbygning [6].

14. De hidtil diskuterede metoder er velegnede til *elimination* af størstedelen af de mulige projekter alene ud fra økonomiske kriterier. De udgør derfor en betydelig støtte til løsningen af opgave 1° i den formulering af prioriteringsproblemet, som blev givet under 2. I forbindelse hermed må der nødvendigvis være sket en afklaring af konsekvenserne af de relevante alternativer – jvf. opgave 2°.

For alle større projekters vedkommende varetager den politiske proces løsningen af opgave 3° ved en direkte afvejning af de under 2° nævnte hensyn. Det er derfor betydningsfuldt, at resultaterne af opgaverne 1° og 2° fører til et valg mellem et overskueligt antal alternativer. De mange ikke-økonomiske interesser omkring et større projekt bevirker på den anden side, at antallet ikke kan blive helt lille. Thi et relevant beslutningsgrundlag er først skabt, når konsekvenserne af at tillægge de forskellige hovedhensyn mere eller mindre vægt er belyst.

Øresundsgrupperne når frem til en klar konklusion, idet samtlige kendte hensyn peger mod samme valg af første etape. Alligevel præsenterer betænkningen også følgerne af en halv snes af de mest relevante alternativer og klarlægger derved prisen for at fravige den udpegede løsning til fordel for nye hensyn, der måtte dukke op under den politiske behandling af sagen.

15. For de mere sædvanlige projekters vedkommende sker den politiske indflydelse indirekte gennem budgetrestriktioner og visse standardkrav til rentabilitet og serviceniveau. Denne arbejdsdeling skaber et behov for metoder dels til sektorplanlægning, der sikrer den optimale udnyttelse af den enkelte sektors budget, dels til vurdering af hvorledes ressourcerne bedst fordeles mellem sektorerne. De modeller til principplanlægning, som i disse år opbygges inden for investeringsteorien, sigter mod at dække begge behov simultant.

16. Som et simpelt eksempel herpå kan nævnes Marglin's »Pure Sequencing Model« [8], der tidsfæster projekter under budgetrestriktioner¹. Her indføres et sæt af beslutningsvariable:

$$x_{kt} = \begin{cases} 1 & \text{hvis projekt } k \text{ skal realiseres (færdiggøres) i år } t. \\ 0 & \text{ellers,} \end{cases}$$

og problemet kan nu formuleres som følger:

$$(5) \quad \max_{\{x_{kt}\}} \sum_k \sum_{t=1}^T Y_{kt} x_{kt}$$

betinget af

$$(6) \quad \sum_k \sum_{t=1}^s c_{kts} x_{kt} \leq A_s \quad (s = 1, 2, \dots, T)$$

$$(7) \quad \sum_{t=1}^T x_{kt} \leq 1 \quad (\text{alle } k)$$

$$(8) \quad x_{kt} = 0 \text{ eller } 1.$$

Data er betegnet med:

Y_{kt} = kapitalværdi af projekt k realiseret i år t ,

c_{kts} = kapitalomkostninger i år s af projekt k realiseret i år t ,

A_s = anlægsbudget for år s .

Iflg. (5) maksimeres kapitalværdien af den udvalgte principplan, medens (6) sikrer, at budgettet ikke overskrides. (7) bevirker, at hvert projekt højst realiseres een gang i planlægningsperioden (T år). (5)–(7) er formuleret til lineær programmering², hvortil der eksisterer standardprogrammer, der kan løse endog meget store opgaver (her vil især k være stor).

1. Modellen kan let udvides til at inkludere andre ressourcerestriktioner og standardkrav.

2. Under beregningerne må (8) erstattes af $0 \leq x_{kt} \leq 1$. Løsningen vil derfor indeholde brudne værdier af x_{kt} , men en approksimativt optimal heltalsløsning kan let afledes heraf.

17. I Sverige indarbejdes og videreudvikles ovenstående model i Väg- og Vattenbyggnadsstyrelsen med henblik på en *lobende 5-års planlægning af udbygningen af riks- og länsvägar* [7].

Selve dataindsamlingen pålægges de lokale myndigheder. For hvert projekt udarbejdes en skitse, der viser vejstrækningen opdelt i ensartede delstræk før og efter udbygningen. Endvidere udfyldes et standardskema for hvert delstræk med oplysninger om vejlængde, vejtype, trafikmængde, oversigtsforhold, hastigheder m.v. samt for de nyes vedkommende anlægsomkostninger.

Databehandlingen er derimod helt centraliseret. Selve prioriteringen sker på basis af den relative kapitalværdi af trafikant-, anlægs- og vedligeholdelsesomkostninger ved at realisere projektet i ethvert af årene inden for planlægningsperioden fremfor at udskyde den derudover. Herved elimineres enhver indflydelse af usikkerhed vedrørende tiden efter 5-års perioden¹. Ved beregningen af de kapitaliserede meromkostninger (se tabel 3,1) suppleres de indsendte oplysninger med nogle fælles parametre, der sikrer en ensartet vurdering. Det gælder f.eks. tids- og ulykkesomkostninger. Der regnes med en levetid på 30 år og en kalkulerente på 5%. Analyser har godtgjort, at rentesatsen har ringe indflydelse på prioriteringen. Også trafikprognoserne udføres centralt, idet man for hvert delstræk vælger blandt 5 vækstrater under hensyn til vejtype, sted og trafikmængde.

Tabel 3. Svensk vejprioritering. Eksempler på beregningerne.

Tabel 3,1 Resultatsutskrift för det bedömda vägföretaget. (Tabellen är här koncentrerad til enbart summan för de adderade delsträckorna).

Vägföretag Nr: F2

Parameterlista Nr 1. A

F-Län RV E4 DUVULED-STÖDSTORP-KRÄNGSBERG

Trafikkostnader År 1967 (1000 Kr.):

	Del- sträcka	Fordons- kostnad	Tids- kostnad	Olycks- kostnad	Underh.- kostnad	Summa
Före Ombyggnad	Summa	6173,0	5094,0	928,5	179,5	12374,9
Efter »	Summa	6244,4	4275,6	619,5	255,3	11394,8
Trafikvinst År 1967		-71,4	818,3	309,0	-75,8	980,1

Summa Trafik- og Byggnadskostnader 1967-96. Nuvärde 1967 (1000 Kr.):

	Byggnadsstart År	
	1967	1972
Trafikkostnad före Ombyggnad	37405	99371
Trafikkostnad efter Ombyggnad	237642	180584
Byggnadskostnader	14228	11148
Övriga Kostnader	0	0
Summa Trafik- og Byggnadskostnader	289275	291103
Summa Trafik- og Byggnadskostnader jämfört med Byggnadsstart År 1972	1828	0
Lönsamhetsindex 0,128.		

1. Der er tale om en ren tidsfæstelse, og en generalisering af (3) ligger derfor lige for. Når man indfører alternative udbygningsmuligheder (jvf. ndf.), undgår man ikke terminalværdiproblemet.

Tabel 3,2. Flerårsplan beräknad med linjär programmering enligt maximering av kapitalvärdet över hela flerårsplanperioden.

<i>k</i>	Företag		Medelstillelse (c_{kt}) mkr.				
	<i>t</i>	x_{kt}	1967	1968	1969	1970	1971
2	67	1,0	0,7				
5	67	1,0	2,2				
..		
..		
3	68	0,133		2,0	2,0	1,6	
	70	0,693				10,4	10,4
	71	0,173					2,6
17	69	1,0			6,0	6,0	
4	71	0,33					5,0
Summa A_s			18,0	18,0	18,0	18,0	18,0

Kilde: Christer Lundin [7].

Efter således at have tilvejebragt det nødvendige input, findes principplanen ud fra modellen (5)-(8), idet (5) dog erstattes af en minimering af de kapitaliserede meromkostninger ved at udføre projekterne i planlægningsperioden fremfor at udskyde dem. I tabel 3,2 vises et eksempel på udskriften af beregningerne. Det fremgår, at projekt 2 og 5 begge skal udføres i 1967, mens projekt 17 kan vente til 1969. Projekt 3 er fordelt over 1968, 70 og 71, men kan med god approksimation henføres til 1970. Hvis budgettet skal overholdes meget nøje, må man forskyde nogle af de andre projekter tilsvarende. Iøvrigt er det kun tanken at anvende resultaterne for 1967, idet resten vil blive revideret ved næste års plan for 1968-1972.

Modellen er testet i et län og fundet meget operationel, omend der naturligvis er ønsker om effektivisering og generalisering.

I Norge har man opbygget en model til samme opgave, men formuleret til en anden løsningsform (dynamisk programmering), der forekommer mindre hensigtsmæssig. Også denne har været testet i et fylke og er under indarbejdning til brug for landsomfattende prioritering.

18. Modellen åbner imidlertid muligheder for at få langt flere oplysninger end lige den formelle *løsning*. For det første kan man undersøge *løsningens følsomhed* over for afgørende parametre i beregningen af Y_{kt} - f. eks. væksten i trafikken, vurderingen af tidsomkostninger, renten etc. For det andet er det let at danne et skøn over *omkostningerne ved at fravige den optimale løsning på grund af politiske hensyn*. En sådan vurdering af alternative principplaner er kun et spørgsmål om beregningsomkostninger.

Sidst, men ikke mindst, suppleres løsningen automatisk med *skyggeværdien af kapital* i hvert år. Herved forstås den tilvækst, man kunne opnå i principplanens samlede kapitalværdi ved en marginal udvidelse af budgettet i det betragtede år. Dette er, bortset fra en diskonteringsfaktor, identisk med de ovenfor omtalte marginale *alternativomkostninger*:

$$(9) \quad \mu_t = \lambda_t(1+r)^{-t}$$

μ_t = skyggeværdi af kapital i år t .

λ_t = marginale alternativomkostning af kapital i år t .

19. Hermed er kredsen sluttet tilbage til punkt 1°, idet man nu er i stand til at rangordne projekter efter kriteriet (1) og de deraf afledte kriterier (3) og (4). Dette kan forekomme overflødigt, efter at man har fundet frem til en principplan. Men så let er det ikke. Thi sandheden er, at modellen (5)–(8) er behæftet med et par alvorlige *mangler* af principiel karakter:

1. Der medtages kun ét alternativ til status quo i beregningerne. Der eksisterer altid mange alternativer (m.h.t. linieføring, standard etc.), og det er principielt umuligt at udpege det bedste af disse a priori, når der opereres med budgetrestriktioner.
2. Det forudsættes, at projekterne er uafhængige, hvilket kun er realistisk, hvis projekterne ligger meget spredt geografisk.

Den første mangel kan let afbødes, men ikke fjernes. Dette sker simpelthen ved at medtage et passende antal alternativer for hvert projekt (nummereret med $k = k_1, k_2, \dots$) og erstatte ligning (7) med kravet om, at højst eet af disse alternativer må udvælges:

$$(10) \quad \sum_t \sum_{k=k_1, k_2, \dots} x_{kt} \leq 1.$$

Den anden mangel kan teoretisk afhjælpes på samme måde, idet man medtager alternative kombinationer af afhængige projekter. I praksis hjælper dette princip imidlertid ikke, idet antallet af tænkelige kombinationer hurtigt overstiger, hvad der er beregningsmæssigt muligt og arbejdsmæssigt forsvareligt.

Det store problem er derfor at udvælge de relevante alternativer, altså punkt 1°. Det fremkommer sandsynligt, at det vil vise sig muligt at opbygge en iterativ procedure, der successivt bortskærer de klart ufordelagtige og supplerer de klart fordelagtige alternativer, ved et samspil mellem modeller af samme type som ovenstående og kriterier afledt af (1). Intuition, flair m.v. bliver afgørende for, hvor hurtigt man når til et tilfredsstillende resultat. Muligheden for, at dette slet ikke nås, kan næppe afvises, men risikoen kan formindskes ved at starte med ret ekstreme alternativer.

20. Til sidst skal nævnes et par andre vigtige anvendelser af principplanlægningens biprodukter, skyggeværdierne af kapital i hvert år inden for planlægningsperioden. Disse tal er simpelthen nøglen til en koordineret planlægning. Principplanen kan kun være en grov skitse, der må udbygges gennem en detailplanlægning af de nærmestliggende investeringer. Skyggeværdierne eller alternativomkostningerne indeholder netop den nødvendige information, der gør det muligt at *decentralisere detailplanlægningen*. Anvendes kriterierne (1)–(4), vil balancen være sikret. Men skyggeværdierne udgør også forbin-

delsen til den overordnede planlægning, der *fordeler ressourcerne (her kapitalen) mellem sektorerne*. Hvis skyggeværdien af kapital i et givet år er større i en sektor end i en anden, indicerer dette, at man ville opnå en bedre resourceudnyttelse ved at forøge den første sektors budget på den andens bekostning. Skyggeværdierne kan således være af central betydning for fastlæggelse og revision af budgetrestriktioner m.v.

21. Prioritering efter de her beskrevne retningslinier er endnu en sjælden foreteelse herhjemme. Det kan næppe skyldes, at man finder den overflødig, men snarere, at arbejdet med at fremskaffe det bedst mulige beslutningsgrundlag synes uoverkommeligt.

Forhåbentlig har de konkrete eksempler på anvendelser sandsynliggjort, at dette ikke behøver at være tilfældet. Særligt ved prioritering af talrige, ensartede projekter vil man ved en standardiseret dataindsamling og databehandling hurtigt kunne opnå administrative besparelser. Hertil kommer så de samfundsøkonomiske gevinster, hvorom jeg ikke tør spå.

LITTERATURFORTEGNELSE

- [1] *Faste forbindelser over Øresund*. Betænkning nr. 463 af 10. okt. 1967. København 1967.
- [2] Feldstein, M. S.: »Net Social Benefit Calculation and the Public Investment Decision«. *Oxford Economic Papers*, March 1964.
- [3] Hamann, Svend, *Prioritering af den jydsk motorvej*. København 1967. (Stencileret).
- [4] Hållsten, B., *Investment and Financing Decisions*. Stockholm 1966.
- [5] Jensen, Arne, *Trafikøkonomisk undersøgelse af Lyngby Omfartsvej*. København 1964.
- [6] Jensen, Arne, *Metoder for prognoser*. Referat fra seminar om Fremtidens Transporttæterspørel. Helsingfors 1967.
- [7] Lundin, Christer: »Lönsamhetsbedömning av vägprojekt i flerårsarbetet«. *Svenska vägföreningens Tidsskrift*, 1966, pp. 1-10.
- [8] Marglin, S. A., *Approaches to Dynamic Investment Planning*. Amsterdam 1963.
- [9] Marglin, S. A., *Public Investment Criteria*. London 1967.
- [10] Schmidt, Erik Ib: »Statsfinanserne og planlægningen«. *Nationaløkonomisk Tidsskrift*, 1967, pp. 126-145.

delsen til den overordnede planlægning, der *fordeler ressourcerne (her kapitalen) mellem sektorerne*. Hvis skyggeværdien af kapital i et givet år er større i en sektor end i en anden, indicerer dette, at man ville opnå en bedre resourceudnyttelse ved at forøge den første sektors budget på den andens bekostning. Skyggeværdierne kan således være af central betydning for fastlæggelse og revision af budgetrestriktioner m.v.

21. Prioritering efter de her beskrevne retningslinier er endnu en sjælden foreteelse herhjemme. Det kan næppe skyldes, at man finder den overflødig, men snarere, at arbejdet med at fremskaffe det bedst mulige beslutningsgrundlag synes uoverkommeligt.

Forhåbentlig har de konkrete eksempler på anvendelser sandsynliggjort, at dette ikke behøver at være tilfældet. Særligt ved prioritering af talrige, ensartede projekter vil man ved en standardiseret dataindsamling og databehandling hurtigt kunne opnå administrative besparelser. Hertil kommer så de samfundsøkonomiske gevinster, hvorom jeg ikke tør spå.

LITTERATURFORTEGNELSE

- [1] *Faste forbindelser over Øresund*. Betænkning nr. 463 af 10. okt. 1967. København 1967.
- [2] Feldstein, M. S.: »Net Social Benefit Calculation and the Public Investment Decision«. *Oxford Economic Papers*, March 1964.
- [3] Hamann, Svend, *Prioritering af den jydsk motorvej*. København 1967. (Stencileret).
- [4] Hållsten, B., *Investment and Financing Decisions*. Stockholm 1966.
- [5] Jensen, Arne, *Trafikøkonomisk undersøgelse af Lyngby Omfartsvej*. København 1964.
- [6] Jensen, Arne, *Metoder for prognoser*. Referat fra seminar om Fremtidens Transporttæterspørsel. Helsingfors 1967.
- [7] Lundin, Christer: »Lönsamhetsbedömning av vägprojekt i flerårsarbetet«. *Svenska vägföreningens Tidsskrift*, 1966, pp. 1-10.
- [8] Marglin, S. A., *Approaches to Dynamic Investment Planning*. Amsterdam 1963.
- [9] Marglin, S. A., *Public Investment Criteria*. London 1967.
- [10] Schmidt, Erik Ib: »Statsfinanserne og planlægningen«. *Nationaløkonomisk Tidsskrift*, 1967, pp. 126-145.