

Af Christian Overgård Hansen, TetraPlan ApS

## **1 BAGGRUND OG FORMÅL**

Den stigende gods- og persontrafik har medført voksende kapacitets- og miljøproblemer på vejnettet i Europa. Der er derfor et politisk ønske om at dæmpe vejtrafikken og fremme alternative transportformer. Skal transportmiddelvalget påvirkes, er det en forudsætning at kende de kriterier, der ligger til grund for valget af transportform, samt i hvilket omfang ændringer i beslutningsparametrene fører til en ændret adfærd.

På denne baggrund besluttede Transportrådet i 1993 at lade Carl Bro Anlæg as og Institut for Transportstudier gennemføre en analyse af overflytningsmuligheder af gods til kombinerede transportformer.

Projektet er gennemført i 2 faser. Den første fase omfattede dataindsamling og en kvalitativ analyse af barriererne mod øget brug af kombineret vej-/ banetransport og søtransport. Denne fase er dokumenteret i rapporten "Virksomheders valg af transportmiddel - en interviewanalyse" fra Transportrådet, og blev præsenteret på Trafikdage på AUC '94 ved Carsten Vædele Madsen, Institut for Transportstudier.

I den anden fase er der på grundlag af de indsamlede data gennemført en kvantitativ beregning af danske virksomheders følsomhed over for ændringer i transportkvalitet samt opstillet en transportmiddelvalgsmode (modal split model), som kan belyse valget mellem lastbil, vej- /banetransport og skib. Arbejdet er dokumenteret i rapporten "Valg af transportmiddel i international godstransport - en stated preference analyse" fra Transportrådet.

I det følgende behandles fase 2 af projektet nærmere.

## **2 DATAGRUNDLAG**

### **2.1 Spørgeskema**

Spørgeskemaet blev kodet i et specielt softwareprogram MINT, således at interviewene blev gennemført med bærbar PC'er.

Anvendelse af PC'er muliggør en dynamisk interaktion mellem interviewer og respondent, som udnyttes i forbindelse med stated preference spil (SP-spil). I SP-spillene vælger respondenterne mellem to hypotetiske alternativer på baggrund af

forskellige transportegenskaber. For at gøre SP-spillene nærværende er der taget udgangspunkt i aktuelle transportere.

Det valgtes at anvende følgende transportegenskaber i SP-spillene:

- prisen på transporten
- tiden fra "dør" til "dør"
- præcision i form af sandsynlighed for en kritisk forsinkelse
- skadesrisiko
- afgangshyppighed for tog og skib

Der blev der gennemført 4 SP-spil. De første tre spil omfattede afvejsninger indenfor henholdsvis lastbilløsninger, vej- /banetransportløsninger og søtransportløsninger. I det fjerde spil blev transportmiddelvalget mellem to forskellige transportformer undersøgt.

## 2.2 Dataindsamling

Dataindsamlingen blev foretaget som personlige interview med de transportansvarlige i 174 større danske virksomheder og speditivirksomheder.

I den første fase af projektet blev der gennemført 115 interview, som er beskrevet i "Virksomheders valg af transportmiddel - en interviewanalyse". Under Energiministeriets Forskningsprogram 1993 har Institut for Transportstudier og Carl Bro Anlæg as parallelt med nærværende projekt gennemført en tilsvarende undersøgelse blandt 59 større danske virksomheder inden for fødevarerbranchen og kemibranchen.

Branche	Antal	Fordeling
Fødevarer	57	32%
Kemiske produkter	37	21%
Metalvarer	7	4%
Møbler	8	5%
Bulkvarer	8	5%
Forarbejdede varer	29	17%
Speditivirksomheder	28	16%
I alt	174	100%

Tabel 1 De interviewede virksomheder fordelt efter branche

## 3 VIRKSOMHEDERNES VURDERING AF TRANSPORTKVALITET

### 3.1 Indledning

På basis af SP-spillene er virksomhedernes villighed til at betale for forbedringer af transportkvaliteten belyst.

Datamaterialet er til det formål grupperet efter varens værdi og transportafstand:

Højværdiprodukter	:	pris mindst 20 kr. pr. kg
Lavværdiprodukter	:	pris under 20 kr. pr. kg
Lange transporter	:	afstand mindst 600 km
Mellemlange transporter	:	afstand under 600 km

Datamaterialet omfatter 235 faktiske transporter, som har dannet udgangspunkt for SP-spillene. I tabel 2 præsenteres disse transporter i henhold til ovenstående inddeling.

Kategori	Tid (timer)	Pris (kr.)	Kritisk forsinkelse		Skadesrisiko (%)
			U. 24 timer (%)	O. 24 timer (%)	
Højværdi	36	6940	1,7	1,5	7,9
Lavværdi	39	8315	2,5	2,1	6,3
Lang	54	9785	2,7	1,9	6,6
Mellemlang	13	4500	1,3	1,8	7,7
Total	38	7671	2,1	1,8	7,0

Tabel 2 Gennemsnitlige transportegenskaber i stikprøven

At der er tale om internationale transporter bekræftes af forholdsvis lange og dyre transporter.

Der skelnes i undersøgelsen mellem transporter, hvor selv mindre forsinkelser inden for 24 timer er kritiske (stor præcisionskrav), og transporter, hvor forsinkelsen skal overskride 24 timer, før det er kritisk (lille præcisionskrav). Den gennemsnitlige risiko for forsinkelse er henholdsvis 2,1% og 1,8%. Det ses, at højværdivarer generelt forsinkes mindre end lavværdivarer. Endvidere ses, som forventet, at lange transporter forsinkes oftere end mellemlange transporter.

Den gennemsnitlige skadesrisiko i stikprøven er 7,0%. At højværdiprodukter har større skadesrisiko end lavværdiprodukter, skal formodentlig tillægges produktets karakter i højere grad end transporten. At de lange transporter i stikprøven har mindre skadesrisiko end mellemlange transporter, skyldes sandsynligvis forholdsvis mange lange kemiske transporter, hvor skadesrisikoen er lille.

### 3.2 Vurdering af transporttid

Den gennemsnitlige marginale værdiansættelse af en times transporttid fremgår af tabel 3. Det skal bemærkes, at der i tabel 3 og i de følgende tabeller er tale om

gennemsnitlige betalingsvilligheder inden for international godstransport, således at der i mange enkeltstående tilfælde kan observeres væsentlige afvigelser fra de i tabellerne angive værdier.

Kategori	Betalingsvillighed
Højværdi	39
Lavværdi	9*
Lang	23
Mellemlang	-
Total	20

Tabel 3 Marginal værdiansættelse af 1 times transporttid pr. transport  
\* Ikke statistisk signifikant

I gennemsnit værdiansætter virksomhederne i undersøgelsen transporttiden til 20 kr. pr. time pr. transport. For transporter med højværdiprodukter vurderes tiden til 39 kr. pr. time, hvorimod tiden ved transporter med lavværdiprodukter vurderes til ca. 9 kr. pr. time.

For lange transporter vurderes tiden til 23 kr. pr. time. Da datamaterialet primært omfatter lange transporter, er der relativ få observationer af transporter under 600 km, og det har vist sig umuligt at bestemme en betalingsvillighed for disse.

### 3.3 Vurdering af præcision

Som tidligere nævnt skelnes der mellem, om det kritiske forsinkelsesinterval er under eller over 24 timer. Analyser viser, at betalingsvilligheden afhænger af den aktuelle forsinkelsesrisiko. Der er derfor foretaget en opdeling i transporter, hvor den aktuelle forsinkelsesrisiko er henholdsvis 0-4%, 5-9% og mindst 10%.

På grund af relativ få observationer medfører den ekstra opdeling af datamaterialet en større usikkerhed på de beregnede betalingsvillighederne i tabel 4. Og det har været umuligt at belyse betalingsvilligheden ved forsinkelsesrisici over 10% udtømmende.

Kategori	Stor præcisionskrav		Lille præcisionskrav		
	0-4%	5-9%	0-4%	5-9%	≥10%
Højværdi	876	(354)	587	(239)	(155)
Lavværdi	468	330	303	(163)	(82)
Lang	878	413	460	(235)	(107)
Mellemlang	391	(244)	346	(183)	-
Total	617	353	418	209	(98)

Tabel 4 Marginal værdiansættelse af ændret præcision ved henholdsvis stor og lille præcisionskrav  
( ) Få observationer

Det fremgår af tabellen, at hvis risikoen for forsinkelse er mindre end 4% og præcisionskravet stor, er virksomhederne i gennemsnit villige til at betale 617 kr. pr. transport for at få reduceret forsinkelsesrisikoen med en procentpoint. Hvis den aktuelle risiko for forsinkelse er større (5-9%), er værdiansættelsen mindre - 353 kr. pr. transport pr. procentpoint.

Tabellen viser, at mindre præcisionskrav medfører mindre betalingsvillighed. Endvidere ses, at betalingsvilligheden for transporter med højværdiprodukter er større end for lavværdiprodukter. At præcisionsforbedringer værdiansættes højere for lange transporter end for mellemlange transporter, hænger i nogen grad sammen med de højere transportomkostninger.

### 3.4 Vurdering af skadesrisiko

Analyser viser, at virksomhedernes betalingsvillighed overfor ændringer i skadesrisikoen afhænger af den aktuelle skadesrisiko. Transporterne er derfor opdelt i tre grupper efter aktuel skadesrisiko: 0-4‰, 5-9‰ og ≥10‰.

Beregningen af betalingsvilligheden er som følge af opdelingen blevet noget usikker i de sidste to grupper, da antallet af observationer er forholdsvis lille. Resultaterne fremgår af tabel 5.

Kategori	Skadesrisiko		
	0-4‰	5-9‰	≥10‰
Højværdi	819	(574)	59
Lavværdi	288	167	2*
Lang	684	121*	13
Mellemlang	303	268	12
Total	487	263	15

Tabel 5 Marginal værdiansættelse af ændret skadesrisiko  
( ) Få observationer  
\* Ikke statistisk signifikant

Tabellen viser, at betalingsvilligheden falder jo større den aktuelle skadesrisiko er. Det er logisk eftersom en forbedring i skadesrisikoen på 1‰ er forholdsvis større for transporter med en aktuel risiko på under 4‰ end for transporter med f.eks. en skadesrisiko på 10‰. Samtidig er skader på transporter med lav skadesrisiko ofte mere kritisk, der kan eksempelvis nævnes transporter med kemiske produkter.

For transporter med en lav aktuel skadesrisiko værdiansættes en marginal forbedring på en promillepoint til 487 kr. pr. transport., mens betalingsvilligheden for transporter med større aktuel skadesrisiko er 263 kr. pr. transport pr. promillepoint.

Betalingsvilligheden for forbedringer i transportsikkerheden synes i følge tabel 5 at være forholdsvis stor for transporter med højværdiprodukter. Der synes også at være en tendens til større betalingsvillighed ved lange transporter end ved mellemlange transporter. I gruppen 5-9‰ er resultatet for de lange transporter ikke statistisk signifikant, således at forholdet mellem betalingsvilligheden for lange og mellemlange transporter i denne gruppe ikke kan tillægges større vægt.

Da datamaterialet til belysning af betalingsvilligheden overfor ændringer i afgangshyppighed er spinkelt, behandles det ikke nærmere her.

#### 4 MODAL SPLIT MODEL

Formålet med modal split modellen er at beregne antal transporter og transporterede godsmængder i international trafik med lastbil, skib og kombineret vej- /bane-transport under forskellige forudsætninger om transportpris og transportkvalitet.

##### 4.1 Teori og modelstruktur

Modal split modellen opbygges som en logit model. I logit modeller, som bygger på nytteteorien, forudsættes, at individer vælger det alternativ, som opfattes som det bedste, det vil sige, at nytten maksimeres. Man kan udtrykke et individs nytte ved alternativ  $i$  på følgende måde:

$$(1) \quad u_i = v_i + \varepsilon_i$$

hvor  $v_i$  er den målbare nytte af alternativ  $i$ .  $\varepsilon_i$  indeholder alle de egenskaber ved alternativet, som i praksis ikke har kunnet observeres og måles.  $v_i$  er her - som i de fleste tilfælde - en lineær funktion af typen:

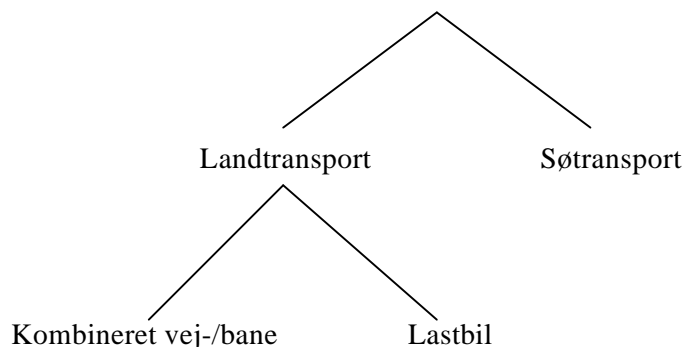
$$(2) \quad v_i = \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots$$

hvor  $x_{in}$  angiver den  $n$ 'te egenskab ved alternativ  $i$  og  $\beta$  er parameter, hvis værdi bestemmes ud fra de indsamlede observationer.

I logitmodeller antages  $\varepsilon_i$ 'erne at være uafhængige og ens Weibulfordelte. Antages endvidere, at de er relativ små i forhold til parameterværdierne, kan sandsynligheden for, at alternativ  $i$  vælges udtrykkes som:

$$(3) \quad Pr_i = \exp(v_i) / \sum \exp(v_j)$$

Hovestrukturen i modal split modellen er skitseret i figur 1. Den valgte modelstruktur er resultatet af en maximum likelihood ratio test .



Figur 1 Overordnet struktur af modal split modellen

Parameterværdierne i modellen bestemmes ud fra disaggregerede SP-data og oplysninger om faktiske transporter (RP-data). Tidligere anvendtes enten RP-data eller SP-data. Anvendelse af RP-data er typisk forbundet med følgende problemer:

- at observationerne ikke varierer tilstrækkeligt til etablering af statistiske prognosemodeller
- at enkelte egenskaber f.eks. transporttid og transportpris er meget korrelerede, så bestemmelse af parameterværdier er vanskelig
- at nye alternativer ikke kan belyses

Disse ulemper findes ikke i SP-analyser. En svaghed ved SP-data er derimod, at respondenter ofte overreagerer på hypotetiske spørgsmål. Ved at kombinere dataene, kan styrken fra hver af de to datatyper udnyttes.

Antages f.eks. følgende situation:

$$(4) \quad \begin{aligned} u^{\text{RP}} &= \beta x^{\text{RP}} + \alpha y + \epsilon \\ u^{\text{SP}} &= \beta x^{\text{SP}} + \gamma z + v \end{aligned}$$

hvor  $\alpha$ ,  $\beta$  og  $\gamma$  er parametre, og  $x$ ,  $y$  og  $z$  egenskaber.

Når dataene kombineres skal der tages højde for forskellige spredninger, det vil sige at  $\text{var}(v) \neq \text{var}(\epsilon)$ . Følgende skaleringsfaktor beregnes:

$$(5) \quad \Theta = \text{var}(\epsilon) / \text{var}(v)$$

Derefter kan SP-data skaleres til RP-data på følgende måde:

$$(6) \quad u^{SP} = (\Theta\beta)x^{SP} + (\Theta\gamma)z + (\Theta v)$$

således at  $(\Theta v)$  har samme varians som  $\epsilon$  fra RP-data.

## 4.2 Modelestimation

På baggrund af de gennemførte analyser har det vist sig hensigtsmæssigt at opdele modal split modellen i to delmodeller:

- delmodel for højværdiprodukter (varer med en værdi på mindst 20 kr. pr. kg)
- delmodel for lavværdiprodukter (varer med en værdi mindre end 20 kr. pr. kg)

Tabel 6 viser parameterværdierne i de to delmodeller, som er bestemt ud fra de indsamlede SP-data og RP-data.

Egenskab	Højværdiprodukter		Lavværdiprodukter	
	Parameter	t-værdi	Parameter	t-værdi
Transportpris	-0,0002622	-3,0	-0,0005002	-2,9
Transporttid	-0,01293	-2,8	-0,01263	-2,3
Forsinkelsesrisiko	-0,1830	-3,6	-0,3024	-2,9
Forsinkelsesrisiko (2 t.)	-0,1345	-3,1	-0,1315	-2,9
Strømskiftet	-0,2010	-3,6	-0,05140	-2,5
Frekvens - vej/bane	0,6717	3,2	0,2850	2,6
Frekvens - skib	0,5638	3,0	0,1912	1,9
Vægt (0/1) - vej/bane	0,7554	2,9	-	-
Vægt (0/1) - skib	2,027	2,2	-	-
Fødevarer - vej/bane	0,4450	2,0	-	-
Forarb.varer (0/1) -	1,012	2,8	-	-
Metal (0/1) - vej/bane	-	-	0,9191	2,0
Papir (0/1) - vej/bane	-	-	1,622	2,6
Konstant - vej/bane	-0,4451	-2,8	0,1189	0,8
Konstant - skib	1,298	2,1	4,944	1,2
Skalafaktor - model	0,5026	4,0	0,3046	1,2
Skalafaktor - SP-spil 4	0,9441	3,6	0,6449	3,1
Skalafaktor - SP-spil 1-3	2,448	3,5	1,051	2,8
Antal observationer	2079		2039	
$\rho^2(0)$	0,2048		0,1187	

Tabel 6 Parameterværdier i modal split model



t-værdien i tabel 6 er et mål for den statistiske signifikans af parameter værdien. Anvendes et signifikansniveau på 5% vil parameter værdien være signifikant forskellig fra 0, hvis t-værdien numerisk er mindst 2. Det skal dog for det første bemærkes, at konstanterne sjældent testes for statistisk signifikans, da de medtages for at afstemme modellen til observationerne. For det andet kan skalafaktorerne ikke direkte testes ud fra t-værdien, da den relevante test vedrører om skalafaktoren er forskellig fra 1 og ikke 0. Det kan imidlertid vises, at skalafaktorerne ved signifikans-niveauet 5% er forskellig fra værdien 1.  $\rho^2(0)$  er et statistisk mål for modellens evne til at forklare observationerne. Teoretisk kan den antage værdier mellem 0 og 1, hvor 1 angiver en fuldstændig forklaring. I praksis opnås sjældent større værdier end 0,4 til 0,5. Således er forklaringsværdien i delmodellen for højværdiprodukter ikke usædvanlig, derimod er forklaringsværdien i delmodellen for lavværdiprodukter mindre end det kan forventes.

(0/1) angiver, at den pågældende egenskab har værdien 0 eller 1. Eksempelvis anvendes en 0/1-variabel for transportens vægt, således at hvis vægten af transporten er større end 15 ton, er værdien 1. De positive værdier ud for vægtparameterne i tabel 6 tolkes, således at der for transporter med en vægt over 15 ton er en forøget sandsynlighed for anvendelse af kombineret vej-/banetransport og søtransport.

### 4.3 Eksempel på anvendelse

I det følgende illustreres modal split modellen ved hjælp af et lille eksempel. Det skal dog understreges, at der ikke er tale om nogen egentlig prognose.

Det forudsættes i det følgende, at transportalternativet kombineret vej- /banetransport repræsenterer banetransporten generelt. Derefter kalibreres modal split modellen op imod Danmarks Statistiks udenrigshandelsstatistik fra 1992.

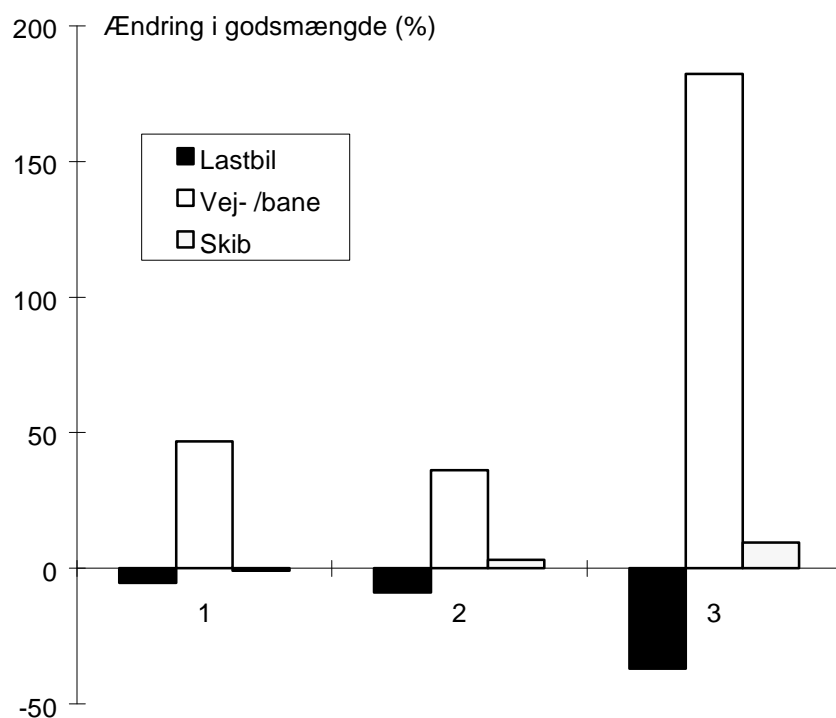
I figur 2 er følgende tre simple politikker belyst ved hjælp af modal split modellen:

1. Transportprisen for kombineret vej- /banetransport reduceres med 10%, og transporttiden reduceres med 15 %.
2. Transportprisen for lastbiltransport forøges 10%, og transporttiden forøges med 15%.
3. Transportprisen for lastbiltransport forøges med 50%, og transporttiden forøges med 25%.

Figuren antyder for det første, at det er nødvendigt med relativt store restriktioner på vejtrafikken, før der kan ventes væsentlige reduktioner i den internationale lastbiltrafik.

For det andet, synes selv mindre ændringer i pris og transportkvalitet at kunne forøge transportmængden med bane relativt meget. Da den internationale transport med bane i dag er forholdsvis lille sammenlignet med lastbil og skib,

vil selv relativ små overflytninger af lastbilgods bevirke større procentuelle forøgelse i banegodsmængden.



Figur 2 Beregnet relativ overflytninger under forskellige politikker

## 5 DET VIDERE ARBEJDE

Modal split modellen ønskes løbende forbedret, således at der med tiden skabes en generel modal split model for godstransport.

Et af de væsentligste ulemper i forbindelse med ovennævnte bestemmelse af modal split modellen er mangel på RP-data til skalering af SP-data og flere SP-data til belysning af søtransporten.

Transportrådet har derfor bevilliget Institut for Transportstudier og TetraPlan støtte til gennemførelse af indsamling af yderligere oplysninger med det formål at forbedre modal split modellen. Arbejdet forventes påbegyndt efteråret 1995.