Modellering af tomme ture i en regional godstransportmodel

Ole Kveiborg og
Mikal Holmblad

Danmarks Transportforskning

Abstract
Ture i lastbil uden læs udgør op mod 25% af alle ture i Danmark. I modelsammenhæng har der ikke tidligere været gennemført særligt sofistikerede tilgange til at bestemme disse ture. Ofte er koblingen alene ved en fast faktor mellem ture med læs og uden læs. Dvs. at når godsvolumet stiger stiger antallet af tomme ture, selvom det umiddelbart vil være mulighederne for at få returgods, der er mest afgørende. Desuden køres ofte mindre omveje for at samle gods op. Papiret beskriver en simpel modeltilgang, der kan tage hensyn til bl.a. omvejskørslen og sammenligner dette med en relativ simpel tilgang, hvor afstanden og antallet af ture er afgørende for antallet af tomme ture mellem to zoner. Begge modeller giver mønstre, der minder om de observerede, men modelvarianten, der tager hensyn til omvejskørslen rammer bedre end den simple tilgang. Alle modellerne kan estimeres alene med de allerede tilstedeværende data fra Danmarks Statistik.

Indledning

Ture med lastbil uden læs – tomme ture – udgør ca. 25% af alle nationale ture i Danmark. En tom tur er ikke produktiv og er desuden belastende for miljø, infrastruktur mv. Det ville være ønskeligt at begrænse de tomme ture. Men tomme ture er umulige at undgå, selv når udnyttelsen af lastbilerne er optimeret uden hensyn til praktiske begrænsninger. Alene det faktum at der ikke er balance i mængderne der skal transporteres mellem Øst- og Vest Danmark fører til at nogle lastbiler nødvendigvis må returnere uden læs.

Da antallet af tomme ture er så stort er det vigtigt at få bestemt hvordan antallet af disse ture udvikler sig over tid, hvordan de påvirkes af kapacitetsforbedringer og regulering af transportsektoren på linie med udviklingen i trafikken med læs. Dette er et væsentligt element i opbygningen af enhver godstrafikmodel som f.eks. Øresundsgodsmodellen, der er under udvikling på DTU (Holmblad, 2006).

Kørsel uden læs er ikke ønskværdigt hverken fra samfundet eller fra transporterhvervet. Transporterhvervet får ikke betaling for kørslen uden læs og kørslen skaber unødig belastning af miljø og infrastruktur. Da transporterhvervet selv har et ønske om at begrænse mængden af tomkørslen kan man som udgangspunkt antage, at den er på et optimalt (minimeret) niveau. Vi ved dog ikke meget om, hvad der fastsætter dette niveau. Hvordan relateres tomkørslen til kørsel med læs? Der er væsentlige forskelle afhængigt af typen af lastbil samt bilernes anvendelse, transportørernes specialisering i særlige typer af transporter mv. For at fange disse forskellige detaljer i forklaringen af tomkørslen i modellen skal man have adgang til et meget detaljeret datasæt. Dette forefindes ikke, så modelmæssigt er man bundet til at benytte forholdsvis aggregerede data.

Spørgsmålet er derfor: Hvordan kan tomkørslen bestemmes til anvendelse i de aggregerede matematiske godsmodeller? En væsentlig pointe i de aggregerede data er, at det ikke umiddelbart er muligt at definere hvilke ture, der er udgående og hvilke ture, der er retur til et udgangspunkt efter at den primære tur er gennemført. Mange vognmænd tager måske et lille læs med tilbage efter at have leveret et fuldt læs på den udgående tur, for om ikke andet at få dækket nogle af omkostningerne. Disse forhold kan ikke identificeres i data. En anden pointe er, at ture ikke gennemføres som simple ud- og hjem ture, men i større og større grad forløber i såkaldte turkæder. En turkæde kan f.eks. være en tom tur fra vognmandens garageanlæg til første afhentningssted. Her opsamles et læs, der køres videre til et aflæsningssted. Her kan man være heldig at få et læs med videre fra eller man må køre videre til et nyt opsamlingssted for at returnere til sit udgangspunkt med læs og/eller til en anden destination inden turen går retur (igen uden læs). Mulighederne for at gennemføre sådanne turkæder har betydning for omfanget af tomkørslen. Er der tale om forholdsvis korte (enkel)ture vil sandsynligheden for en turkæde med flere ben større end hvis den første (primære) deltur er lang; bl.a. pga. køre-hviletids bestemmelser.

I dette papir ser vi på mulighederne for at modellere kørsel uden læs i relation til Øresundsgodsmodellen, der er under udvikling på DTU. En kort gennemgang af de typisk anvendte modeller gives i næste afsnit. I det følgende afsnit beskrives en mere kompleks model, der inddrager turkæder i beskrivelsen. Dette komplementeres med en tilpasset model, der er blevet valgt til Øresundsgodsmodellen. Endelig beskrives estimationsresultaterne for de to sidstnævnte modeller og der konkluderes.

Hvad siger litteraturen?

Den mest simple måde at modellere tomkørslen på er den naive metode (Hautzinger, 1984). Hvis vi lader z_{ij} være antallet af ture mellem zone i og zone j, x_{ij} er antallet af ture med læs og y_{ij} er antallet af ture uden læs. Derudover lader vi m_{ij} være godsmængderne i tons og a_{ij} være den gennemsnitlige last (load faktor) på lastbilerne.
Den naive metode kan så beskrives ved

$$z_{ij} = \frac{m_{ij}}{\alpha}$$

Hvor α er en faktor, der skal fastlægges empirisk, så antallet af ture (tomme og lastede) kobles til godsmængderne. En tilsvarende metode er at lade det z_{ij} relatere sig til x_{ij} via en enkel parameter på samme måde som den naive metode. Metoden er naturligvis meget begrænset. Den tager f.eks. ikke hensyn til at en stigende godsmængde (eller alternativt antal ture med læs) i retningen fra i til j med stor sandsynlighed vil forøge antallet af tomme ture i modsatte retning (fra j til i), dette vil den naive metode ikke fange, men vil blot beregne et uændret antal ture fra j til i.
Det næste skridt er en model foreslået af Nortman og van Es (1978), der laver den naturlige ændring, at de tomme ture er afhængig af godsmængden der strømmer i modsatte retning. Deres formulering kan beskrives ved

$$z_{ij} = \frac{1}{a_{ij}}\left(m_{ij} + p_0 m_{ji}\right)$$

Hvor p_0 er en konstant, der skal estimeres. Det antages her implicit at den gennemsnitlige last er den samme i begge retninger. Det er dog muligt at gøre formuleringen retningsbestemt og endvidere igen lade den relatere sig til antallet af ture med læs i stedet for godsmængderne:

$$z_{ij} = x_{ij} + p'_0 x_{ji}$$

Et problem med formuleringen er som påpeget af Hautzinger (1984), at empirien antyder, at antallet af ture mellem to zoner er stort set ens i begge retninger uanset at mængderne, der flyttes er meget forskellige. Dette kan modellen ikke fange, da

$$z_{ij} - z_{ji} = \frac{1-p_0}{a_{ij}}\left(m_{ij} - m_{ji}\right)$$

Altså at forskellen i antallet af ture er afhængig i forskellen i godsmængderne.
Hautzinger (1984) foreslår i stedet modellen

$$z_{ij} = \frac{p_i m_{ij} + p_j m_{ji}}{a\left(1-(1-p_i)(1-p_j)\right)}$$

$$p_i = \exp\left(-\lambda\left(\frac{m_{ji}}{m_{ij}}\right)^2\right)$$

Hvor $p_i$er sandsynligheden for at en bil baseret i zone *i* returnerer fra zone *j* uden læs.
Hautzingers model er bedre, men betragter udelukkende simple turkæder, der går ”ud-og-hjem”. Derudover kræver modellen kendskab til udgangspunktet for turkæden, hvilket ofte ikke vil være tilgængeligt.

Holguin-Veras og Thorsen (2003) laver yderligere en tilpasning, hvor de tager turkæder med flere ben med ind i formuleringen uden dog at modellere de faktiske turkæder. Formålet med modellen er ikke at beskrive de faktiske turkæder, men at lave en formulering, der i højere grad kan beskrive de observerede ture med og uden læs og i højere grad relaterer sig den faktiske transportadfærd. Et væsentligt element i deres formulering er at indbygge en vis ”hukommelse” i valget af destination. Dette er relevant da, som nævnt ovenfor, der er større sandsynlighed for at vælge en anden destination end zonen, hvorfra turkæden er udgået, hvis der ikke er kørt så stor en distance, mens en længere tilbagelagt distance tidligere på turkæden i højere grad vil betyde at udgangszonen vælges som næste destination.
Deres model beskriver dog ikke alle dele af de komplicerede turkæder, men antager, at den væsentligste del af disse ”omveje” kan fanges i en model, der beskriver turkæder med tre ben (*i-h-j-i*).

Modellen

Den foreslåede model forsøger at inddrage det forhold, at de fleste vognmænd søger efter returgods. I basismatricer for godsstrømme mellem to punkter er det sjældent at der er balance, således at der skal flyttes lige meget gods i begge retninger. Der vil derfor naturligt

være nogle tomme ture ud fra den ene zone. Men ofte går der tomme ture begge veje. Det er ikke i alle tilfælde, at returgodset befinder sig i samme zone som den netop afsluttede tur er endt, der vil derfor være en (kortere) tur til en anden zone uden læs inden bilen returnerer til sit udgangspunkt. Dette kan f.eks. skyldes faste fragtaftaler, der forhindrer andre vognmænd i at tage returgodset med eller at returgodset ikke skal fragtes på det tidspunkt en lastbil er tømt.
Eventuelt sker aflæsningen ikke i udgangszonen, men i en nabozone. Herfra kan der enten medtages nyt gods eller der kan returneres til udgangspunktet uden gods. Man kan med andre ord forestille sig en række komplekse turkæder, hvor der køres med og uden gods på de enkelte delture.

Dette har fået Holhuin-Veras og Thorsen (2003) til at foreslå en model, der tager hensyn til omvejskørslen. Dog vil det kræve et omfattede og detaljeret datamateriale at beskrive turkædernes fulde kompleksitet. Udgangspunktet er derfor at dele ture op i ture med læs, simple returture uden læs og ture, der indgår i en kompleks turkæde.

Notation

	Beskrivelse
z_{ij}	Ture mellem *i* og *j*
m_{ij}	Varestrøm mellem *i* og *j* (tons)
a_{ij}	Gennemsnitlig last for ture mellem *i* og *j*
p	Sandsynlighed for at en tur er en simpel (ud og hjem) tur
γ	Parameter
x_{ij}	Ture med læs
y_{ij}	Ture uden læs
d_{ij}	”Afstand” mellem *i* og *j*
β	Parameter, afgør betydning af afstand
$P^h(E\|j)$	Sandsynlighed for tomkørsel når *j* er destination

Opstilling af model

Vi ønsker at finde det sandsynlige antal ture mellem to zoner (ture med og uden læs). Holguin-Veras og Thorsens (2003) model gør dette ved opstilling af følgende model for det sandsynlige antal ture mellem *i* og *j*:

$E(z_{ij})=E(x_{ij})+E(y_{ij})$

Antallet af ture uden læs kan opdeles i simple returture (0’te ordens ture) og ture af højere orden:

$$E\left(y_{ij}\right)=\sum_{n=0}E\left(y_{ij}^{n}\right)=E\left(y_{ij}^{0}\right)+E\left(y_{ij}^{1}\right)+\sum_{n>1}E\left(y_{ij}^{n}\right)=E\left(y_{ij}^{0}\right)+E\left(y_{ij}^{1}\right)\left[1+\frac{\sum_{n>1}E\left(y_{ij}^{n}\right)}{E\left(y_{ij}^{1}\right)}\right]$$

$$=E\left(y_{ij}^{0}\right)+\gamma^{*}E\left(y_{ij}^{1}\right)$$

Det sidste lighedstegn antyder, at turkæder med flere ben end 3 kan relateres til turkæderne med tre zoner.

Antallet af tomme ture med udgangspunkt i en zone må være afhængig af antallet af ture, der ankommer til zonen. Dette kan umiddelbart anvendes til at give en formulering for 0'te ordens turene, der så kan bestemmes som en „sandsynlighed“ (p) for at ture med læs mellem i og j kører direkte retur til i i forhold til antallet af ture med læs fra i til j.
Endvidere må sandsynligheden for at vælge en bestemt zone, j, som næste destination ofte være afhængig af den allerede tilbagelagte afstand (og her afstanden mellem den umiddelbart foregående destination), idet chaufføren er begrænset af bl.a. køre-hviletidsregler mv. Altså må sandsynligheden for at vælge en bestemt zone som den næste være afhængig af ikke blot afstanden til denne zone, men også afstanden til den forrige zone i turkæden.
Disse antagelser indsættes i udtrykket fra ovenfor:

$$E\left(z_{ij}\right)=E(x_{ij})+E(y_{ij})=\hat{x}_{ij}+p\hat{x}_{ji}+\gamma^{*}\sum_{h\neq j}\hat{x}_{hi}\left(p^{h}(j)p^{h}(E\mid j)\right)-p\gamma^{*}\sum_{h\neq j}\hat{x}_{hi}\left(p^{h}(j)p^{h}(E\mid j)\right)$$

$$=\hat{x}_{ij}+p\hat{x}_{ji}+\gamma\sum_{h\neq j}\hat{x}_{hi}\left(p^{h}(j)p^{h}(E\mid j)\right)$$

En ^ angiver, at denne værdi er fundet eksogent til modellen. Eksempelvis via en turfordelingsmodel som i Øresundsgodsmodellen.

Det udtrykket nu siger, er, at antallet af tomme ture som led i en turkæde af højere orden kan findes som produktet af sandsynligheden for at en tur, der kommer fra zone h (til zone i) vælger zone j som næste destination ($p^h(j)$) og sandsynligheden for at den næste tur fra zone i efter turen fra zone h til zone i er tom givet turen går til zone j ($p^h(E|j)$), summeret over alle mulige udgangspunkter (h) der dog ikke giver anledning til en simpel returtur.
I udtrykket er der endnu ikke taget hensyn til afstanden tilbagelagt inden og afstanden itl zonen efter. Dette er afgørende for valget af zone j som den næste destination, mens den betingede sandsynlighed afgøres af konkurrencesituationen i transporterhvervet og dermed hvor let/svært det er at få et læs med givet turen går til zone j. Sammenhængen mellem afstand og sandsynlighed kan beskrivesved hjælp af gravitationslignende modeller, men som Holguin-Veras og Thorsen (2003) skriver vil en eksponentiel afstandsfunktion ikke give betydning til afstanden mellem den forudgående zone h og zone i som ønsket, men blot afstanden mellem zonerne i og j. I stedet foreslår de at benytte en potensafstandsfunktion men vægtet i forhold til hvor meget gods, der skal fragtes (m_{ij}):

$$E(z_{ij})=\hat{x}_{ij}+p\hat{x}_{ji}+\gamma\sum_{h\neq j}\hat{x}_{hi}\left(\frac{m_{ij}\left(d_{ij}+d_{hi}\right)^{-\beta}}{\sum_{l}m_{il}(d_{il}+d_{hi})^{-\beta}}p^{h}(E\mid j)\right)$$

De tilgængelige data kan ikke give os viden om den specifikke betingede sandsynlighed $p^h(E|j)$, men udelukkende den generelle sandsynlighed for at en tur mellem zone i og zone j er uden læs. Vi antager derfor at $p^h(E|j)$ kan beskrives vha. $p(E|j)$. Vi ender derfor op med følgende model:

$$E(z_{ij}) = \hat{x}_{ij} + p\hat{x}_{ji} + \gamma p(E \mid j) \sum_{h \neq j} \hat{x}_{hi} \left(\frac{m_{ij}\left(d_{ij} + d_{hi}\right)^{-\beta}}{\sum_{l} m_{il}(d_{il} + d_{hi})^{-\beta}} \right)$$

Hvor de tre parametre p, β og γ skal estimeres.

Udover denne model og de simple modeller omtalt i forrige afsnit kan en række alternativer også afprøves, idet data ikke nødvendigvis har variation nok til at kunne bruges til at estimere modellen. F.eks. er variationen i afstanden mellem zonerne, når de lægges sammen to og to, ikke stor. Dette vil give problemer i forhold til at bestemme parametrene i modellen ligesom modellen ikke vil have særlig stor prediktionsevne.
En simplere model, der ligeledes tager hensyn til behovet for at køre en omvej for at samle nyt gods op er følgende:

$$E\left(y_{ij}\right) = p_{ij}\left(d_{ij}\right)x_{ji}$$

$$p_{ij}\left(d_{ij}\right) = \alpha e^{-\beta d_{ij}} + \delta$$

hvor
p_{ij} angiver antallet af ture uden læs, der foretages per tur med læs fra i til j

Denne model adskiller sig fra de tidligere modeller ved at inddrage afstanden mellem zonerne som en del af forklaringen. Der tages ikke hensyn til eventuel omvejskørsel, så modellen svarer til Holguin-Veras og Thorsens (2003) model, hvis de anvender en eksponentiel afstandsfunktion. En anden forskel er, at f.eks. Nortman og van Es's model benytter de fragtede mængder til at bestemme p_{ij}. I Holgiun-Veras og Thorsen (2003) vil der ikke være forskel på dette og vores anvendelse af antallet af ture, da de kobler disse to størrelser vha. fast gennemsnitlige load faktorer. Vores data giver dog direkte antallet af ture på OD relationer, hvilket betyder at de to formuleringer vil give forskellige resultater.

Data

Vi har benyttet et særudtræk fra Danmarks Statistiks kørebogsanalyse til at estimere modellerne. Vi har information om antallet af ture (med og uden læs), lodsede godsmængder af forskellige typer af varer og forskellige lastbilstørrelser. Endvidere er oplysningerne geografisk opdelt på amterne i Danmark. Opdelingen på varetyper er ikke relevant for nærværende analyse, da der ikke er mulighed for at relatere en tom tur til en tilsvarende tur med læs. Til gengæld har vi valgt at opdele lastbilerne i store biler (sololastbiler over 18 tons, vogntog og sættevognstog) og små biler (sololastbiler under 18 tons totalvægt).

Det er kendt, at stikprøveanalysen i form af kørebøgerne har en række begrænsninger, bl.a. tyder alt på at der er en kraftig underrepræsentation af turene og nok især af de korte ture. Det er dog noget, der er svært at afgøre præcist (Fosgerau et al, 2007).
Til nærværende formål vurderer vi dog ikke problemet til at være lige så afgørende, da forholdet mellem ture med læs og ture uden læs formentlig ikke er systematisk skævt.

Afstanden mellem zonerne er fundet med udgangspunkt i de faktiske ture og udregnet som den gennemsnitlige afstand af de rapporterede ture. Det er vurderet at dette vil være mere præcist end at benytte geografisk bestemte afstande med udgangspunkt i f.eks. zone midtpunkter mv.
Til estimationen er hvert zonepar en observation, men derudover skal sandsynlighederne for at ture til en zone ($p(E|j)$) udregnes. I den oprindelige model af Holguin-Veras og Thorsen (2003) relateres denne sandsynlighed sig yderligere til hvorfra turen er kommet, men det er ikke muligt at finde denne information i vores datasæt. I stedet benyttes den generelle sandsynlighed uafhængigt af turkæden.

Estimationsresultater

De tre parametre p, β og γ kan her bestemmes på to måder. I den første anvendes en ”fri” estimation, hvor parametrene kalibreres så forskellen mellem modellens resultat og de observerede tomkørsler minimeres. I den anden kan man eksogent fastsætte det samlede niveau for tomkørselsandelen (f.eks. i forbindelse med et prognoseår, hvor denne forudsættes reduceret) og bestemme parametrene bedst muligt herudfra. Denne tilgang vil vi dog ikke beskrive her. Vi har udelukkende set på en ubegrænset parametersøgning og en søgning, hvor det samlede antal tomme ture skal rammes.

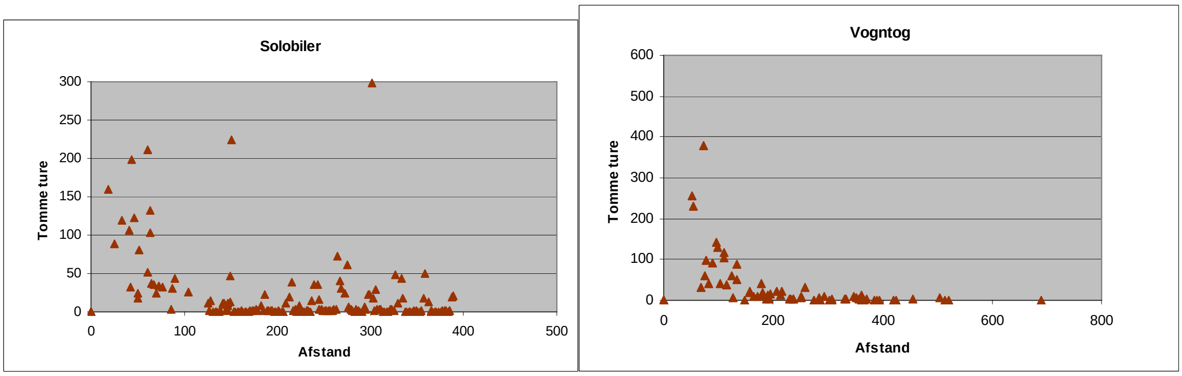
Første del af udregningen er antallet af ture med læs mellem i og j (x_{ij}). Vi beregner ikke denne værdi da den i Øresundsgodsmodellen bestemmes på anden måde, der ikke er afgørende for resultaterne her. Her er det derfor blot de to sidste led der skal indgå i beregningerne
Hovedformålet er at bestemme parametrene så afvigelsen fra de observerede tomkørsler minimeres (RMSE):

$$\varepsilon = \sum_{ij}\left(z_{ij}^{a} - z_{ij}\right)^2$$

I Holguin-Veras og Thorsen (2003) beskrives en metode, hvor søges efter parameterværdier til de tre parametre en af gangen med de andre holdt fast. Dette gennemføres iterativt indtil et minimum er fundet. Det er dog muligt ved hjælp af GAMS at søge efter de tre parametre simultant, hvilket alt andet lige må være en bedre tilgang. For at sikre, at metoden i GAMS ikke finder et lokalt minimum gennemføres optimeringen ved at anvende en række forskellige initiale parameterværdier og tage det globale optimum ved sammenligning af RMSE-værdierne for de forskellige kørsler.

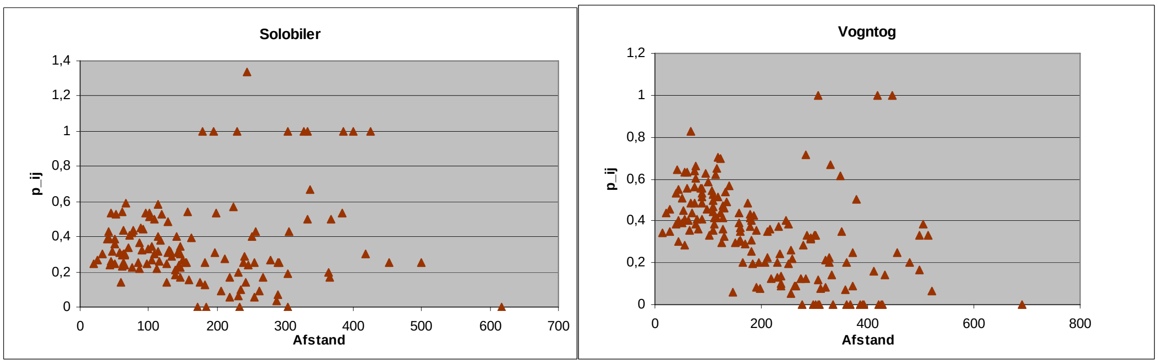
Vi har yderligere valgt at fjerne de zonepar, hvor antallet af ture er lavt (under 5000) da det har vist sig, at der i flere tilfælde opstår en uforklarlig stor andel af tomme ture (f.eks. at der er flere tomme ture mellem to zoner end ture med læs). Disse ekstreme observationer kan påvirke parametersøgningen uhensigtsmæssigt. Endelig har vi på forhånd bestemt, at alle parameterværdier skal være positive.

I figur 1 er antallet af tomme ture mellem alle zonepar vist i forhold til afstanden mellem zoneparene. For både sololastbilerne og for vogntogene får vi bekræftet hypotesen om, at den øgede afstand giver anledning til færre tomme ture.



Figur 1. Det observerede antal tomme ture i forhold til afstanden mellem turenes endepunkter

Mønstret bliver kun til en vis grad bekræftet, når antallet af ture med læs tages med i betragtningen. I figur 2 vises tilsvarende sandsynligheden for at en tur er tom i forhold til antallet af ture med læs. Igen set i forhold til afstanden mellem de to zoner. Det ses, at tendensen til faldende andel tomme ture er lidt kraftigere for vogntogene, hvilket ikke er overraskende.



Figur 2. Sandsynligheden for en simpel tom returtur set i forhold til afstanden mellem to zoner.

Mønstrene i specielt andelen af ture er dog ikke så entydigt som vores hypotese kunne antyde. Det vil derfor også være svært at få fastlagt parametrene med stor nøjagtighed. Mønstret når vi alene ser på antallet af ture lader i højere grad til at være entydigt. Vi vil derfor også umiddelbart forvente en bedre model, når afstand og turkæder inddrages i forklaringen.

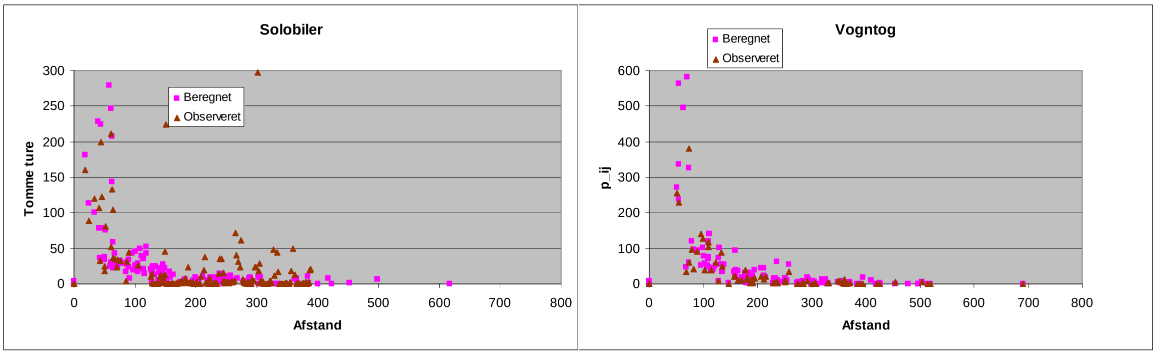
Vi kan umiddelbart konstatere, at der er en lille forskel på resultaterne i de to modeller. Betydningen af turkædekørslen (γ) får større betydning, når søgningen er ubegrænset. På den samlede afvigelse er der dog ikke en forskel, der giver anledning til bekymring.

Tabel 1. Parameterværdier af parametersøgningen.

	Ubegrænset søgning		Begrænset søgning	
	Solobiler	**Vogntog**	**Solobiler**	**Vogntog**
MSQE	152459		159530	
p	0,234	0,414	0,265	0,413
γ	0,856	0,405	0,662	0,088
β	0	0	0	0

Det er bemærkelsesværdigt, at afstanden tilsyneladende ikke har indflydelse på valget af turkæderne. Dette hænger sammen med, at en del af afstanden er forklaret gennem zoneparene.

I figur 3 vises de beregnede tomme ture fordelt på afstand og sammenlignes med de observerede antal tomme ture. Der er umiddelbart en tendens til at modellen beregner for mange tomme ture for den ubegrænsede søgning.

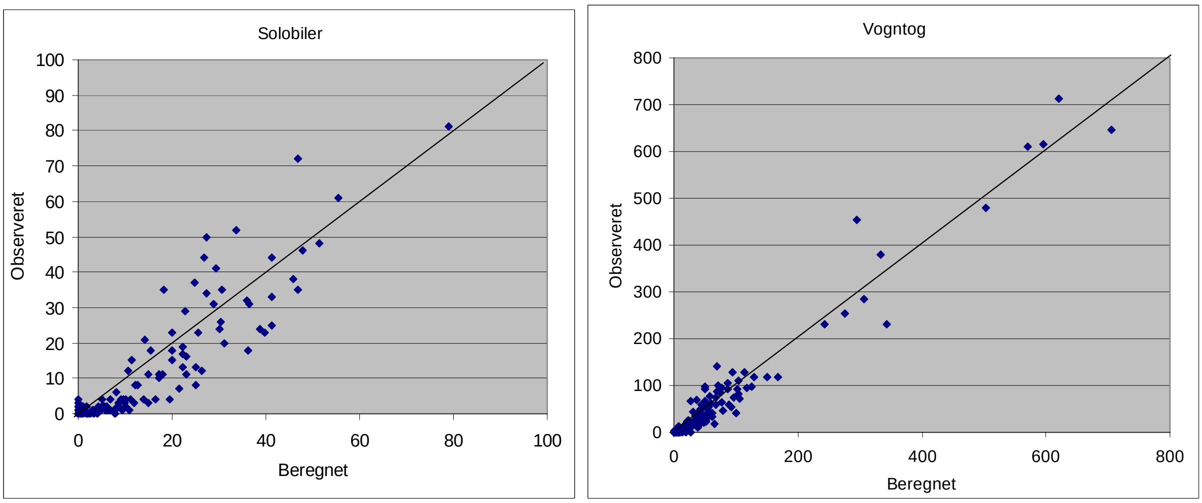


Figur 3. Sammenligning af modelberegnede resultater med de observerede antal tomme ture.

Mønstret er ikke væsentligt forskelligt når den begrænsede parametersøgning anvendes. Der er dog en tendens at overvurderingen af tomme ture mindskes, hvilket logisk følger af at vi netop har begrænset til at sikre, at det total antal ture rammes. Der vil dog stadig være en mindre forskel, hvilket skyldes måden vi har fjernet zonepar på (jf. ovenfor), hvilket har en mindre indflydelse på resultaterne.

Modellen viser generelt de mønstre vi også kan observere i data. Der er dog relativ stor variation i præcisionen på forskellige zonepar, hvilket heller ikke er overraskende, når spredningen tages i betragtning. Et væsentligt problem i vores estimation af modellen er, at der er relativt få korte afstande. Dette bliver mere udtalt, når vi husker på, at det ikke kun er afstanden mellem de to umiddelbare zoner, men at vi også tager zonerne, der ligger umiddelbart før på turkæden i betragtning. Dette vil have en tendens til at mindske variationen og undervurdere betydningen af afstanden. Dog må vi samtidig konstatere, at vi ikke kan observere dette i resultaterne, hvor modellen tenderer til at beregne for mange ture på de korte distancer. Dette kan dog også skyldes andelen af ture, der er simple tur-retur ture.

I figur 4 ser vi sammenligningen mellem beregnede og observerede tomme ture for hvert zonepar. Figuren viser de ubegrænsede parameter resultater og vi kan umiddelbart se, at der generelt beregnes lidt for mange tomme ture for sololastbilerne.



Figur 4. Sammenligning mellem beregnet og observerede tomme ture.

Da afstandsparameteren blive lig 0 vil vores model blive reduceret til

$$\hat{x}_{ij} + p\hat{x}_{ji} + \gamma p(E \mid j)\frac{m_{ij}}{\sum_j m_{ij}} \sum_{h \neq j} \hat{x}_{hi} \,,$$

hvor afstanden ikke har betydning for antallet af tomme ture (udover gennem den implicitte afstand via zoneparrene).

Den simple model

Resultaterne med den komplekse model som beskrevet ovenfor passer ikke helt med vores intuition om at afstanden mellem zonerne har betydning for omfanget af tomkørslen. Vi vil derfor gerne finde et udtryk, der i højere grad afspejler dette og som ikke har afhængigheden af de enkelte zonepar. Vi prøver derfor at se på den lidt simplere model vi beskrev ovenfor.

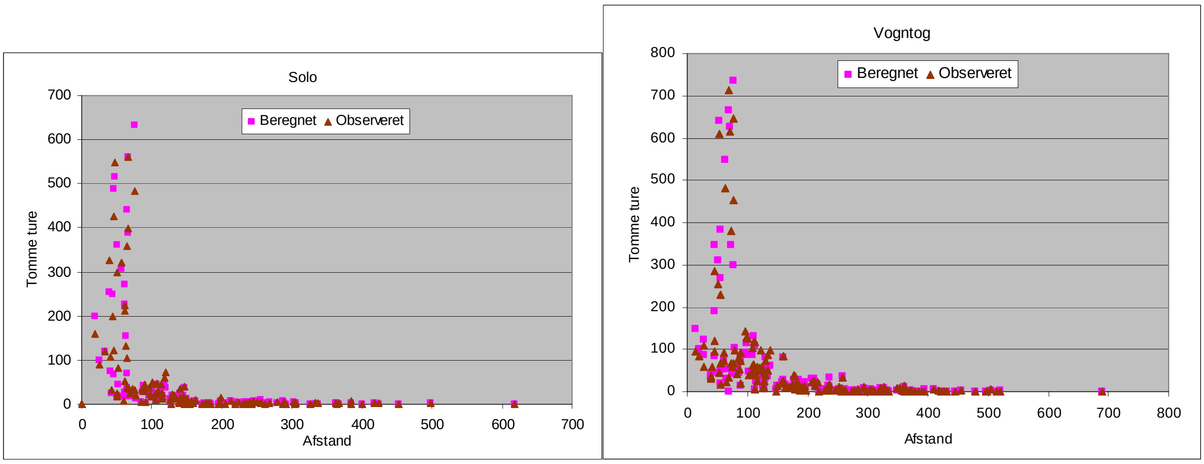
$$E(y_{ij}) = p_{ij}(d_{ij})x_{ji}$$
$$p_{ij}(d_{ij}) = \alpha e^{-\beta d_{ij}} + \delta$$

For de danske ture opnås parametrene som vist i Tabel 2

Tabel 2. Parameterværdier ved simpel afstandsafhængig model.

	Alpha	**Beta**
MSQE	161041	
Solobiler	0,3097	0,0008
Vogntog	0,5632	0,0033

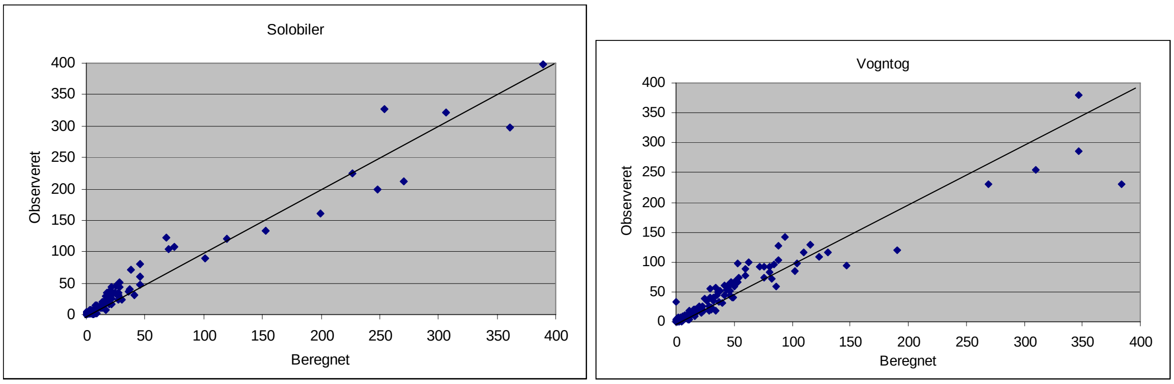
Igen bemærker viden forholdsvis lave afhængighed af afstanden, som dog er signifikant forskellige fra 0.
En sammenligning af de beregnede og observerede værdier for de to lastbiltyper er vist i figur 5.



Figur 5. Sammenligning mellem observerede og beregnede sandsynligheder for at en tur er tom – Danmark, hhv. sololastbiler og vogntog.

Mønstrene for de to typer af ture er næsten ens. Der er dog en lille tendens til at der er flere ture for lidt større afstande ved vogntogene. Dette er modellen også i stand til at fange. Derudover ser vi flere tomme ture selv ved forholdsvis lange afstande, selvom antallet af ture ikke er så højt, hvilket i høj grad skyldes forskellen i anvendelsen af de to typer af lastbiler. Generelt anvendes vogntog til længere transporter og har større omkostninger per kilometer. Når afstanden mellem udgangspunkt og destination derfor er lille vil der ikke være så stor tendens til at køre omveje for at opsamle returgods, mens en større returvej vil gøre det væsentligt mere rentabelt at få et returlæs med jo større bilen er. Sololastbilerne dækker over såvel de helt små biler med forholdsvis lave omkostninger og store sololastbiler, der gennemfører transporter, der minder om vogntogenes typiske transporter. Der vil derfor være større sandsynlighed for at der ikke er behov for at samle returgods op (f.eks. hvis turen gennemføres med en mindre bil med relativt lave omkostninger).

I sammenligning med den komplekse model ser vi også at prediktionsevnen er væsentligt lavere (MSQE stiger). Dette bliver særligt tydeligt, når vi ser på et plot af observerede og estimerede ture overfor hinanden som vist i figur 6.



Figur 6. Simpel model. Beregnet overfor observerede tomme ture.

Modellen har en tendens til at undervurdere antallet af ture for begge vogntyper, især hvor der ikke er så mange ture, mens den overvurderer antallet af ture, når der er mange ture. Dette er ikke et overraskende fænomen da vi har fundet parametrene ved at minimere forskellen på observerede og estimerede ture. Derved kommer de zonerelationer, hvor der er mange tomme ture til at veje tungt. Vi har vurderet, at denne tilgang giver et bedre resultat i forhold til anvendelse i modellen i sammenligning med f.eks. at minimere forskellen på de observerede og estimerede sandsynligheder for at en returtur er tom (p_{ij}), der ikke tager hensyn til hvor mange ture, der er og derfor vil risikere at give for stor betydning til zonepar med et meget lille antal ture.

Konklusion

Ud fra et teoretisk synspunkt synes en model, der tager højde for omvejskørslen for at skaffe læs, at være logisk. Modellen er hensigtsmæssig idet den ikke kræver indsamling af yderligere data, men alligevel er intuitiv.
Vores resultater antyder dog, at afstand ikke er den mest betydende (selvstændige) faktor, men i høj grad fanges af den specifikke zonerelation. Dette får vi bekræftet gennem den simplere model, hvor zoneparene ikke indgår, men alene er repræsenteret ved deres indbyrdes afstand.

Der er flere udbygningsmuligheder i modellen som (i princippet) er mulig med vores data. Dette kan muligvis give forbedringer i estimationerne, men det bør huskes, at udgangspunktet ikke er lovende og at mere komplekse modeller af denne grund ligeledes kan rammes af de samme problemer som de mere simple modeller.

Litteratur

Holmblad, M. (2006). *En godstrafikmodel for Øresundsregionen*. Paper præsenteret ved Trafikdage på Aalborg Universitet August 2006.

Fosgerau, M., C. Brems, C. Jensen, N. Pilegaard, M. Holmblad, O. Kveiborg og L.P. Nielsen (2007). *Langsigtet fremskrivning af vejtrafik. - Indikation af fremtidige problemområder – Baggrundsrapport.* DTF Rapport 2, 2007, Danmarks Transportforskning.

Holguin-Veras, J.M. og E. Thorsen (2003). Modeling commercial vehicle empty trips with a first order trip chain model. *Transportation Research* **37**, 129-148

Hautzinger, H. (1984). The prediction of interregional goods vehicle flows; some new modelling concepts. *Ninth international symposion on transportation and traffic theory, VNU Science Press,* 375-396

Nortman, H.J. and J van Es (1978). *Traffic Model.* Manuscript for the Dutch Freight Transport Model.