SESO STUDIECENTRUM VOOR ECONOMISCH EN SOCIAAL ONDERZOEK

UNIVERSITAIRE FACULTEITEN ST.-IGNATIUS TE ANTWERPEN

EEN OVERZICHT VAN PROGNOSEMODELLEN VOOR HET GOEDERENVERVOER

Dr. G. Blauwens

7430/10291

oktober 1974

Universitaire Faculteiten St.-Ignatius
Prinsstraat 13 - 2000 Antwerpen

D/1974/1169/03

Voor het voeren van een optimaal transportbeleid zijn zeer gedetailleerde prognoses vereist. Men dient niet alleen de totale vervoervraag in ton of ton.km te voorspellen, maar ook de verdeling van dit totale vervoer over de ruimte en de aandelen van weg, spoor en binnenvaart in de verschillende vervoerstromen. Dit is essentiële informatie voor een reeks beslissingen van vervoerpolitieke aard, zoals aanleg van infrastructuur, investering in spoormaterieel of capaciteitsbeheersing in wegvervoer en binnenvaart.

Met de vervoerprognoses die in diverse landen gemaakt werden en met de theoretische literatuur ter zake, kunnen bibliotheken gevuld worden. Opvallend is de grote variëteit van voorspellingsmethodes en -modellen. Het lijkt wel, alsof elke auteur er een eigen werkwijze op na houdt.

Toch is het mogelijk, in deze literatuur een lijn terug te vinden en de verschillende modellen in enkele grote categorieën onder te verdelen. Dit is althans de bedoeling van deze korte survey:

1. DE VIER NIVEAU'S VAN TRANSPORTPROGNOSE

Er kunnen vier niveau's van transportprognose onderscheiden worden. Dit wordt geïllustreerd door onderstaande tabel:

	1	2	3	...	I	Rijtotaal
1	x_{11}	x_{12}	x_{13}	...	x_{1I}	R_1
2	x_{21}	x_{22}	x_{23}	...	x_{2I}	R_2
3	x_{31}	x_{32}	x_{33}		x_{3I}	R_3
⋮						
I	x_{I1}	x_{I2}	x_{I3}		x_{II}	R_I
kolom totaal	K_1	K_2	K_3		K_I	X

In deze "transporttabel" is het land (of de onderzochte economische ruimte) opgesplitst in I regio's, genummerd van 1 tot I. Het symbool x_{ij} vertegenwoordigt het aantal ton, vervoerd van regio i naar regio j. Het rijtotaal

$$R_i = \sum_{j=1}^{I} x_{ij}$$

is de totale afvoer van regio i, het kolomtotaal

$$K_j = \sum_{i=1}^{I} x_{ij}$$

de totale aanvoer van regio j en

$$X = \sum_{i=1}^{I} R_i = \sum_{j=1}^{I} K_j$$

het totale aantal ton, verzonden binnen de onderzochte economische ruimte. Op de hoofddiagonaal vindt men de vervoerstromen x_{ii}, die binnen één en dezelfde regio vertrekken en eindigen.

Men kan nu volgende niveau's van transportprognose onderscheiden:

1) <u>Transportgeneratie</u>

Dit is de voorspelling van het totale vervoer X en van de randtotalen R_i en K_j.

2) <u>Transportdistributie</u>

Dit is de voorspelling van de verdeling der randtotalen R_i en K_j over de afzonderlijke kwantiteiten x_{ij} in de tabel. De transportdistributie betreft dus de uitsplitsing van de aan- en afvoertotalen der regio's in afzonderlijke vervoerstromen van regio naar regio.

3) <u>Modale uitsplitsing</u>

Dit is de voorspelling van de aandelen der diverse modi (weg, spoor, binnenvaart) in de vervoerstromen. Door de modale uitsplitsing worden de vervoerstromen x_{ij} dus nog verder onderverdeeld, naargelang de modus die het vervoer waarneemt Men bekomt kwantiteiten w_{ij} (wegvervoer van i naar j), s_{ij} (spoorvervoer van i naar j), b_{ij} (vervoer per binnenschip van i naar j).

4) <u>Toewijzing op de infrastructuur</u>

Dit is een localisatie op kaart van de vervoerkwantiteiten w_{ij}, s_{ij}, b_{ij}, zodanig dat men de belasting van het infrastructuurnet bepaalt.

Vaak worden deze vier niveau's beschouwd als vier opeenvolgende werkfasen. In een eerste fase gebruikt men een model (een <u>generatiemodel</u>) dat alleen de randtotalen voorspelt. Deze randtotalen worden vervolgens als gegevens ingevoerd in een tweede model (een <u>distributiemodel</u>), waaruit de vervoerstromen van regio naar regio resulteren. Die vervoerstromen worden op hun beurt door een derde model (een <u>modaal uitsplitsingsmodel</u>) omgezet in naar modus gespecifieerde stromen. In een vierde fase ten slotte geschiedt de localisatie van de berekende transportstromen op het infrastructuurnet (met een <u>toewijzingsmodel</u>).

Soms wordt in deze vier-fasenmethode de volgorde van transport-distributie en modale uitsplitsing omgekeerd: na de transport-generatie wordt onmiddellijk een modaal uitsplitsingsmodel aangewend dat de randtotalen R_i en L_j per modus oplevert. Voor elke modus afzonderlijk wordt dan een distributiemodel toegepast, dat zijn vervoerstromen van regio naar regio berekent.

Deze voorspellingsmethode, in afzonderlijke fasen, maakt de theoretici niet onverdeeld gelukkig. Uit schattingstheoretisch standpunt zou het te verkiezen zijn, de vier niveau's van transportprognose gelijktijdig in één enkel model te behandelen, dat direkt de naar modus gespecifieerde stromen oplevert, liefst reeds toegewezen op de infrastructuur. Voorlopig echter is dit theoretisch ideaal slechts haalbaar ten koste van al te grove vereenvoudigingen. Wel bestaan er reeds aanvaardbare modellen die transportgeneratie en - distributie tegelijk behandelen en dus rechtstreeks de vervoerstromen x_{ij} opleveren (<u>generatie-distributiemodellen</u>).

De onderverdeling in generatiemodellen, distributiemodellen, generatie-distributiemodellen, modale uitsplitsingsmodellen en toewijzingsmodellen is fundamenteel. Deze verschillende categorieën van modellen hebben een duidelijk verschillend doel. Zij zullen op een verschillende wijze geconcipieerd worden en op verschillende factoren gebaseerd zijn. Zij zijn niet zonder meer vergelijkbaar.

2. GENERATIEMODELLEN

De predictie van het algemeen vervoertotaal X kan geschieden door een eenvoudige extrapolatie van de tijdreeks. Beter is het, deze predictie te binden aan de verwachte ontwikkeling van het nationaal produkt, of, nog beter, van de industriële en landbouwproduktie. Noemt men deze verklarende variabele Y, dan kan men uit de observaties in het verleden de parameters α en β schatten in de functie $X=\alpha Y^{\beta}$. De exponent β geeft de procentuele stijging in vervoervraag per procent stijging van de produktie. Men kan deze schattingen nauwkeuriger maken als men per goederencategorie werkt en het vervoer van kolen en staal relateert aan de kolen- en staalproduktie, het vervoer van landbouwprodukten aan de landbouwproduktie, enz. Vooral Duitse auteurs, zoals Gleissner, Streifinger, Schneider en Rüthlein, hebben onderzoek op dit terrein gedaan. Zij bekomen statistisch zeer beuidende resultaten.

De groei van de randtotalen kan voorspeld worden op analoge wijze, door de diverse R_i en K_j aan regionale produktie- of consumptiecijfers te relateren. Een andere methode is het bepalen van R_i en K_j uit X door het constant houden van hun aandelen in dit totaal of door predictie van deze aandelen met methodes zoals regionale input-outputanalyse, shift-and-share, enz. Men dient er wel op te letten dat rij- en kolomtotalen blijven sommeren tot hetzelfde totaal X, maar deze restrictie is in de meeste methodes automatisch vervuld.

Pure generatiemodellen zijn gewoonlijk zeer eenvoudige - zelfs simplistische - specificaties, die het vervoer op een voor de hand liggende wijze koppelen aan bestaande prognoses van produktie en consumptie. Met complicaties en verfijningen krijgt men te maken, zodra het distributieaspect in de voorspelling betrokken wordt.

3. DISTRIBUTIEMODELLEN

De distributie van de gegeven randtotalen R_i en K_j over afzonderlijke vervoerstromen x_{ij}, kan geschieden op twee fundamenteel verschillende manieren:

3.a) Kostenminimerende distributie

Berekening van een transportdistributie die met minimale kosten voldoet aan de opgelegde randtotalen, komt neer op het door Koopmans en Hitchcock geformuleerde "transportprobleem". Men lost volgend lineair programmeringsprobleem op:

$$\text{Minimeer} \quad \sum_{i=1}^{I} \sum_{j=1}^{I} c_{ij} x_{ij}$$

$$\sum_{j=1}^{I} x_{ij} = R_i \qquad (i=1\ldots I)$$

$$\sum_{i=1}^{I} x_{ij} = K_j \qquad (j=1\ldots I)$$

$$x_{ij} \geq 0$$

waarin c_{ij} de kost per ton is van het vervoer uit i naar j. In woorden betekent dit lineair programmeringsmodel, dat men van alle niet-negatieve vervoerstromen die sommeren tot de voorspelde randtotalen, diegene kiest die in totaal de geringste uitgave aan vervoerkosten meebrengen.

Dit distributiemodel heeft het voordeel, een duidelijke economische betekenis te bezitten: Indien alle marktpartijen competitief optreden, zal het marktmechanisme inderdaad zulke kostenminimerende transportdistributie tot stand brengen. De nadelen van het model zijn echter substantieel:

1. Het moet toegepast worden voor elk homogeen goed afzonderlijk. Men moet dus voor elk goed de randtotalen R_i en K_j bepalen en het programmeringsprobleem oplossen. Dit is een vrijwel onmogelijke opgave: een lijst van alle werkelijk homogene goederen in de economie is onvoorstelbaar lang.

2. Het model voorspelt fout indien de marktpartijen niet competitief handelen, bijvoorbeeld indien een aanbieder prijsdiscriminatie toepast om afzetgebieden te verwerven die hij wegens te hoge vervoerkosten niet zou bereiken met een uniform af-fabriek prijs.

3. De predictiefouten, wegens aggregatie van in feite niet-homogene goederen of wegens oncompetitief marktgedrag, zijn systematisch: men kiest steeds vervoerstromen met een te laag vervoerkostentotaal. Men onderschat in die zin de vervoervraag en men schrijft gemiddeld een te sterk effect toe aan voorziene wijzigingen in vervoerkosten c_{ij}.

Deze drie nadelen wegen niet licht. Zij worden niet van de baan geholpen door varianten op het model, die verfijningen op een ander terrein aanbrengen en bijvoorbeeld de vervoerkosten c_{ij} niet als constanten behandelen, maar als functies van de vervoerkwantiteiten x_{ij}.

Voor de oplossing van gedetailleerde micro-economische problemen zijn deze modellen zeer nuttig. In een macro-economische transportprognose daarentegen, hebben zij waarschijnlijk toch minder toekomst dan vele auteurs menen.

3.b) De RAS-methode

De RAS-methode, ontwikkeld in Cambridge, vertrekt van voorlopig berekende vervoerstromen $\hat{x}_{ij}$, die nog niet sommeren tot de voorspelde randtotalen. Voor elke rij i wordt dan een correctiecoëfficiënt r_i bepaald, waarmee alle vervoerstromen van de rij vermenigvuldigd worden. Ook voor elke kolom j wordt een correctiecoëfficiënt k_j bepaald, waarmee alle vervoerstromen van de kolom vermenigvuldigd worden. Deze correctiecoëfficiënten r_i en k_j worden zodanig gekozen dat de voorspelde stromen $x_{ij}=(r_i+k_j)\hat{x}_{ij}$, sommeren tot de voorspelde randtotalen. De berekening van de correctiecoëfficiënten die inderdaad deze balans met de randtotalen verwezenlijken, geschiedt meestal met een iteratieve methode.

De voorlopig berekende vervoerstromen $\hat{x}_{ij}$, die men met de RAS-methode aan de gegeven randtotalen aanpast, zijn ofwel de vervoerstromen die men observeert tijdens een basisjaar, ofwel grootheden die volgens een bepaalde functie afhangen van de afstand, de infrastructuur, en andere variabelen die de interactie tussen regio's i en j beïnvloeden. Een simplistisch voorbeeld van zulke functie is $\hat{x}_{ij}=(c_{ij})^{-2}$. Meer realistische versies kunnen gespecifieerd worden naar analogie met de potentiaalmodellen die wij nog zullen behandelen.

Zulke functie van diverse interactiefactoren is een beter uitgangspunt voor de RAS-methode, dan de geobserveerde vervoerstromen. Zij maakt inderdaad de RAS-predictie van de vervoerstromen x_{ij} afhankelijk van voorziene wijzigingen in vervoerprijzen, in infrastructuur, enz.

De RAS-methode is niet zo mechanistisch als zij schijnt. Men heeft aangetoond dat zij de aanpassing aan de randtotalen verricht met minimale relatieve afwijkingen tegenover de voorlopig berekende vervoerstromen. Dit minimumcriterium is zinvol. Prefereert men minimale absolute afwijkingen, dan kan bovendien de RAS-methode hieraan aangepast worden.

Prectie met behulp van de RAS-methode laat toe, de systematische fout te vermijden die aggregatie en oncompetitief marktgedrag veroorzaken in een kostenminimerend distributiemodel. De vervoerstromen tijdens een basisjaar of een interactiefunctie die uit reële gegevens geschat werd, bevatten inderdaad de invloed van heterogeniteit van de goederen en oncompetitief gedrag. Men veronderstelt deze fenomenen niet weg maar men neemt ze op in de uitgangsbasis van de RAS-methode. Dit betekent niet dat de predictiefouten met de RAS-methode noodzakelijk geringer zijn dan met kostenminimering, maar wel dat zij neutraler zijn.

4. GENERATIE-DISTRIBUTIEMODEL

In tegenstelling tot de voorgaande werkwijzen, waarbij in een eerste fase de randtotalen gegenereerd worden en in een tweede fase de vervoerstromen aan deze gegeven randtotalen aangepast, bestaan er methodes om in één tijd de vervoerstromen x_{ij} te voorspellen. Deze kunnen in twee grote categorieën onderverdeeld worden:

4.a) Kostenminimerende generatie-distributie

Kostenminimerende generatie-distributiemodellen vervullen simultaan twee functies:

1) zij bepalen de randtotalen R_i en K_j;
2) zij zoeken het stel van vervoerstromen x_{ij} dat aan deze randtotalen voldoet met minimale kosten.

Een voorbeeld is het model van Moses, een lineair programmeringsmodel steunend op input-output begrippen:

$$\text{Minimeer} \quad \sum_{i=1}^{I} \sum_{g=1}^{G} w_i^g X_i^g + \sum_{i=1}^{I} \sum_{j=1}^{I} \sum_{g=1}^{G} c_{ij}^g x_{ij}^g$$

$$\sum_{j=1}^{I} x_{ji}^g - \sum_{j=1}^{I} x_{ij}^g = Y_i^g + \sum_{h=1}^{G} a_i^{gh} X_i^h - X_i^g \qquad (i=1\ldots I, g=1\ldots G) \quad (1)$$

$$X_i^g \leqslant C_i^g \qquad (i=1\ldots I, g=1\ldots G) \quad (2)$$

$$X_i^g \, , \; x_{ij}^g \geqslant 0 \qquad (i,j=1\ldots I, g=1\ldots G) \quad (3)$$

Hierin betekent

I het aantal verschillende regio's;

G het aantal verschillende goederen;

c_{ij}^{g} de vervoerkost van regio i naar regio j voor goed g;

x_{ij}^{g} de vervoerstroom van goed g uit regio i naar regio j;

w_{i}^{g} de kost aan primaire produktiefactoren per eenheid van goed g, geproduceerd in regio i;

X_{i}^{g} produktie van goed g in regio i;

Y_{i}^{g} finale vraag naar goed g in regio i;

C_{i}^{g} produktiecapaciteit van goed g in regio i;

a_{i}^{gh} hoeveelheid van goed g, nodig voor de produktie van een eenheid van goed h in regio i.

De restricties (1) drukken uit dat het invoer-uitvoersaldo van goed g in regio i (linkerlid), gelijk moet zijn aan het verschil tussen de vraag naar dit goed in regio i en de eigen regionale produktie (rechterlid). De restricties (2) leggen op dat elke regio maximaal ten belope van zijn capaciteit produceert. Onder deze restricties bepaalt het model niet-negatieve produktiekwantiteiten X_{i}^{g} en transporstromen x_{ij}^{g}, die het totaal aan primaire en transportkosten minimeren.

Aan het model van Moses worden dus geen vóórbepaalde randtotalen opgelegd. Een voorspelling van de finale vraag naar de diverse goederen in diverse regio's wordt opgegeven en het model rekent zelf uit maar de produktie ten behoeve van deze vraag het goedkoopst geschiedt. De randtotalen zijn bevat, niet in de opgave, maar in de uitkomst van het model, men kan ze bepalen door de x_{ij}^{g} in de oplossing te sommeren.

Op het model van Moses werden heel wat varianten uitgewerkt, onder meer door Ghosh, Chakravarti, Howes, Heady en Egbert.

Een andere categorie van generatie-distributiemodellen ontstaat als men in het distributiemodel van Koopmans en Hitchcock de randtotalen vervangt door functies van prijzen en de restricties toevoegt dat

a) het prijsverschil tussen twee regio's maximaal de vervoerkost bedraagt;

b) niet vervoerd wordt wanneer het prijsverschil geringer is dan de vervoerkost.

Dit geeft aanleiding tot de kwadratische of algemeen niet-lineaire programmeringsproblemen, behandeld door Samuelson, Smith, Silberberg, Takayama, Judge, e.a.

Alle kostenminimerende generatie-distributiemodellen zijn uitbreidingen van het Koopmans-Hitchcockprobleem. Zij nemen er de drie nadelen van over: noodzaak van desaggregatie in goederencategorieën, assumptie van een competitieve markt, systematisch karakter van de predictiefouten.

4.b) Potentiaalmodellen

Een eenvoudige versie van een potentiaalmodel is de volgende:

$$x_{ij} = \alpha\left(\frac{O_i D_j}{P}\right) (c_{ij})^{\beta} \qquad (i,j=1\ldots I)$$

waarin O_i = de herkomstpotentiaal van regio i, d.i. een grootheid die het belang van regio i aangeeft als herkomstregio, b.v. zijn industriële produktie;

D_j = de bestemmingspotentiaal van regio j, d.i. een grootheid die het belang van regio j aangeeft als bestemmingsregio, b.v. de totale vraag in de regio;

$P = (\sum_{i=1}^{I} O_i)^{1/2} . (\sum_{j=1}^{I} D_j)^{1/2}$ = een gemiddelde potentiaal;

β = een negatieve exponent die de procentuele wijziging in de vervoerstroom x_{ij} aangeeft per procent stijging van de vervoerkost c_{ij}, en die men schat uit observaties in het verleden;

α = een positieve coëfficiënt die samen met β uit de waarnemingen geschat wordt en die voornamelijk afhangt van de eenheden waarin men de vervoerstromen en de potentialen uitdrukt.

Afgezien van wijzigingen in de vervoerkosten c_{ij}, is de predictie van de vervoerstromen in dit potentiaalmodel proportioneel aan de voorziene ontwikkeling van de betrokken regio's. Groeien alle regio's tegen hetzelfde ritme (d.w.z. worden alle O_i, D_j en P met eenzelfde getal vermenigvuldigd), dan groeien ook alle vervoerstromen tegen dit ritme. Daarentegen, groeien sommige regio's sneller dan de andere (d.w.z. worden hun O_i en D_j met een groter getal vermenigvuldigd dan P), dan neemt het vervoer tussen deze expansieve regio's ook sneller toe dan gemiddeld.

Dergelijke proportionele prognose, waarbij men c_{ij} constant veronderstelt, is de meest eenvoudige toepassing van potentiaalmodellen. Zij is gekend onder de naam "Detroit-groeifactorenmodel". Indien men echter wijzigingen in de vervoerkosten c_{ij} voorziet, verdient het de voorkeur het potentiaalmodel volledig toe te passen en de factor $(c_{ij})^{\beta}$ in de prognose te betrekken.

Bovendien kan het potentiaalmodel aanzienlijk verfijnd worden. Zo kan men de vervoerkost c_{ij} vervangen door de diverse variabelen die deze vervoerkost bepalen. Men bekomt:

$$x_{ij} = \alpha . \frac{O_i D_j}{P} . (z^1_{ij})^{\beta_1} . (z^2_{ij})^{\beta_2} \ldots (z^n_{ij})^{\beta_n}$$

waarin nu n+1 parameters te schatten zijn en z^1_{ij} de kilometrische afstand is van i naar j, z^2_{ij} een infrastructuurvariabele betreffende de binnenvaart, z^3_{ij} een infrastructuurvariabele betreffende het wegvervoer, enz. Dit bindt de prognose rechtstreeks aan een reeks beslissingsvariabelen die door de overheid zelf gecontroleerd worden.

Het is wenselijk, in een potentiaalmodel tot uitdrukking te brengen dat de vervoerstroom x_{ij} niet alleen afhangt van de eigen vervoerkost c_{ij} maar ook van de kosten c_{iv} $(v \neq j)$ om de produktie van i naar andere regio's dan j af te voeren en van de kosten c_{uj} $(u \neq i)$ om j uit andere regio's dan i te bevoorraden. Zulke kruiselingse prijseffecten (van een vervoerkost c_{ij} op een andere vervoerstroom dan x_{ij}) worden opgenomen in volgende zeer bekende specificaties:

$$x_{ij} = \alpha . \frac{O_i . D_j (c_{ij})^{\beta}}{\sum\limits_{v=1}^{I} . D_v (c_{iv})^{\beta}} \quad \text{of} \quad x_{ij} = \alpha \frac{O_i . D_j (c_{ij})^{\beta}}{\sum\limits_{u=1}^{I} . O_u (c_{uj})^{\beta}}$$

Het eerste model vergelijkt de vervoerkost c_{ij} met een gewogen gemiddelde van de afvoerkosten uit i naar alle regio's (aanwezig in het noemer), het tweede vergelijkt de vervoerkost c_{ij} met de aanvoerkosten van j uit alle regio's. Beide specificaties stellen dat een gelijke proportionele verhoging van alle vervoerkosten zonder invloed is. Dit is een aantrekkelijker uitgangspunt voor prognose dan het simplistische potentiaalmodel dat wij hoger ontmoetten.

Een minder bekende, maar wellicht te prefereren, specificatie met kruiselingse prijseffecten is de volgende:

$$x_{ij} = \alpha \frac{O_i D_j}{P} . (c_{ij})^{\beta} . \left[\frac{1}{\sum_{v=1}^{I} D_v} . \sum_{v=1}^{I} D_v . c_{iv} \right]^{\gamma} \left[\frac{1}{\sum_{u=1}^{I} O_u} \sum_{u=1}^{I} O_u . c_{uj} \right]^{\theta}$$

waarin te verwachten is dat γ en θ positief zijn, terwijl β negatief is. De parameters in deze specificatie zijn gemakkelijker te schatten dan in de twee vorige gevallen. Indien $\beta+\gamma+\theta=0$, bekomen wij opnieuw dat gelijke proportionele wijziging van alle vervoerkosten zonder invloed is. Men is echter niet verplicht deze gelijkheid exact op te leggen. Bovendien wordt nu simultaan rekening gehouden met kruiselingse prijseffecten binnen de rij en binnen de kolom, waar men in vorige modellen één van deze twee factoren moest kiezen.

Men kan nog verder gaan en met de introductie van kruiselingse prijseffecten de splitsing combineren van de vervoerkost c_{ij} in diverse factoren z_{ij}, zoals hoger uiteengezet.

Ook wat de keuze van de potentialen betreft, bestaan verschillende mogelijkheden, gaande van de geografische oppervlakte van de regio over regionale produktie- en consumptiecijfers tot gecompliceerde functies van deze variabelen of schatting van de potentialen als coëfficiënten bij dummy-variabelen.

Potentiaalmodellen zijn generatie-distributiemodellen, daar zij de x_{ij} kunnen berekenen zonder te moeten steunen op vooraf gegeven randtotalen. Zij bevatten zelfs geen mechanisme om de vervoerstromen tot gegeven randtotalen te doen sommeren. Sommige auteurs echter wensen deze modellen toch als pure distributiemodellen aan te wenden. Zij gebruiken de door het potentiaalmodel voorspelde x_{ij} als de voorlopige berekende vervoerstromen die met de RAS-methode aan voorspelde randtotalen aangepast worden. Daartoe moet men veel vertrouwen hebben in het generatiemodel dat de randtotalen voorspeld heeft.

Historisch zijn potentiaalmodellen gegroeid zonder erg diepgaande economische overwegingen. Dit verklaart het grote aantal variaties waarmee in de literatuur geëxperimenteerd wordt. Recenter onderzoek, uit het standpunt van informatietheorie of van economische evenwichtsanalyse, heeft wel dit odium van puur mechanistische methodes weggenomen. Uit dit onderzoek resulteert echter niet automatisch een éénduidige keuze tussen alternatieve specificaties. Men moet zich ook verlaten op feeling en empirische tests.

5. MODALE UITSPLITSINGSMODELLEN

Hoe men ook de vervoerstromen berekent, met een kostenminimerend of een ander prognosemodel, in één of in twee fasen, men moet nog bepalen welk het aandeel van de diverse modi zal zijn in de berekende transportkwantiteiten. Deze modale uitsplitsing kan geschieden met verschillende methodes:

5.a) Deterministische uitsplitsingsmodellen

Deze delen de vervoervraag in in verschillende categorieën en wijzen elke categorie toe aan de voor haar meest geschikte vervoerwijze. Dergelijke modellen, overgenomen uit het personenvervoer, waar zij gebruikt worden o.a. om "captive riders" te behandelen, zijn weinig aantrekkelijk. Hun resultaten zijn vaak in tegenstrijd met wat men observeert. De assumptie dat een bepaalde vraagcategorie voor eens en voor altijd dezelfde modus kiest, is minstens twijfelachtig.

5.b) Logaritmische uitsplitsingsmodellen

Men kan de aandelen van de diverse vervoermodi bepalen met behulp van logaritmische functies:

$$\log p_w = \alpha_w + \beta_{w1}x_1 + \beta_{w2}x_2 + \ldots \beta_{wn}x_n$$
$$\log p_s = \alpha_s + \beta_{s1}x_1 + \beta_{s2}x_2 + \ldots\beta_{sn}x_n$$
$$\log p_b = \alpha_b + \beta_{b1}x_1 + \beta_{b2}x_2 + \ldots\beta_{bn}x_n$$

waarin p_w het aandeel is van het wegvervoer, p_s het aandeel van het spoorvervoer, en p_b het aandeel van de binnenvaart. de variabelen x_1 en x_n zijn factoren die men van beduidende invloed acht op de modale aandelen, b.v.geografische afstand, kostprijselementen en, indien men de specificaties niet per goederencategorie afzonderlijk toepast, samenstelling van het goederenpakket. De coëfficiënten α en β worden geschat uit een tijdreeks of uit een cross-sectie van vervoerstromen of uit een combinatie van beide.

De reden om in deze specificaties het logaritme van de modale aandelen te schrijven en niet de modale aandelen zelf, is duidelijk. Men verhindert op deze wijze dat negatieve aandelen zouden bepaald worden.

Volgende nadelen echter worden niet opgevangen door een logaritmische specificatie:

1) Het is mogelijk dat men aandelen berekent die groter zijn dan één. Dit is een logische inconsistentie.

2) De berekende modale aandelen sommeren niet tot één, tenzij toevallig. Ook dit is niet logisch consistent.

3) Niet de absolute, maar wel de procentuele invloed van x_1, x_2, ..., x_n is constant. Hoe groter het aandeel van een modus, hoe gemakkelijker het dus nog kan verhoogd worden door prijswijzigingen en andere factoren. Dit lijkt weinig realistisch.

Om deze drie nadelen uit de weg te ruimen, kan men beroep doen op volgende specificaties:

5.c) Binaire uitsplitsingsmodellen

Dit zijn voornamelijk discriminantanalyse, probitanalyse en logitanalyse. Hierin worden de variabelen x_1 tot x_n als verklarende factoren aangewend om de waarschijnlijkheid te bepalen dat voor een verzending een bepaalde modus gekozen wordt. Deze waarschijnlijkheid is het voorspelde aandeel van de modus. Een voorbeeld is logitanalyse, toegepast op het wegvervoer:

$$\log \frac{p_w}{1-p_w} = \alpha_w + \beta_{w1}x_1 + \beta_{w2}x_2 + \ldots + \beta_{wn}x_n$$

Hier ligt het aandeel van de weg p_w noodzakelijk tussen nul en één en bekomt men ook dat wegvervoer en niet-wegvervoer (pw + $1-p_w$) tot één sommeren. De invloed van de x-variabelen op p_w is tevens aan saturatie onderhevig, in plaats van procentueel constant te zijn. Belangrijke beperking echter is het binaire karakter (wegvervoer en niet-wegvervoer). Men kan het niet-wegvervoer opnieuw in twee modi uitsplitsen, maar dat is een lapmiddel.

5.d) Meerdimensionale logitmodellen

Om zowel aan de inconsistentie van logaritmische modellen te ontsnappen als aan de beperking tot keuze tussen twee modi, heeft men "meerdimensionale logitmodellen" ontwikkeld. Deze bekomt men door in de logaritmische uitsplitsingsmodellen de laatste equatie van alle voorgaande af te trekken:

$$\log (p_w/p_b) = a_w + b_{w1}x_1 + \ldots + b_{wn}x_n$$

$$\log (p_s/p_b) = a_s + b_{s1}x_1 + \ldots + b_{sn}x_n$$

met $a_w = (\alpha_w - \alpha_b)$

$b_{w1} = (\beta_{w1} - \beta_{b1})$

enz.

Dit is gemakkelijk uit te breiden wanneer men meer dan drie modi wil onderscheiden. Algemeen, indien n modi bestaan, deelt men elk aandeel door p_n en men bekomt n-1 te verklaren verhoudingen tussen modale aandelen.

Nadat het meerdimensionale logitmodel de verhoudingen tussen modale aandelen (hier p_w/p_b en p_s/p_b) voorspeld heeft, bepaald men het aandeel in de noemer (hier p_b) zodanig dat de modale aandelen tot één sommeren. Dit wil zeggen dat men p_b gelijkstelt aan

$$\{1 + (p_w/p_b) + (p_s/p_b)\}^{-1}.$$

De benaming meerdimensioneel logitmodel steunt op het feit dat voor twee modi inderdaad het klassieke binaire logitmodel bekomen wordt. Wij vinden dan inderdaad:

$$\log \frac{p_1}{p_2} = \log \frac{p_1}{1-p_1}$$

Het meerdimensionale logitmodel is een echte veralgemening van het binaire logitmodel. Het bewaart er de logische consistentie van, maar is niet meer beperkt tot twee modi. Het behoort dan ook tot de meest interessante uitsplitsingsmodellen.

5. TOEWIJZINGSMODELLEN

Na toepassing van de vorige modellen bekomt men de voorspelde vervoerstromen, onderverdeeld zowel naar modus als volgens herkomst en bestemming. De localisatie van deze stromen op het infrastructuurnet is alleen nog een probleem indien het vervoer met een bepaalde modus tussen gegeven regio's meer dan één route kan volgen. Dit is vooral het geval in het stedelijk personenverkeer. Hiervoor heeft men dan ook verschillende, zelfs zeer gesofistikeerde, toewijzingsmodellen ontworpen.

In het goederenvervoer is de situatie doorgaans eenvoudiger: voor de binnenvaart en het spoor bestaan niet zoveel alternatieve routes. Waar toch een toewijzingsprobleem optreedt, neemt men vaak genoegen met benaderingen, zoals het konstant houden van de aandelen der diverse routes. De aanwending van modellen waarbij alternatieve wegen gesatureerd worden tot hun marginale kosten gelijk zijn, zoals in sommige toewijzingsmodellen voor het personenvervoer, is zeldzaam.

7. SLOTBEMERKING

Uit dit kort overzicht blijkt, op welke intensieve wijze transportprognoses gekoppeld worden aan produktievooruitzichten, regionale ontwikkeling, infrastructuur, kostprijzen, enz. Zowel op het niveau van generatie en distributie als bij de modale uitsplitsing treden deze factoren op.

Het artikel is veel te kort om aanspraak te maken op volledigheid of in te gaan op gedetailleerde theoretische overwegingen. Het verschaft echter een kader om de prognosemethodes die men in de literatuur aantreft te situeren en te vergelijken met alternatieven die men misschien prefereert.

VIJFTIEN LITERATUURSUGGESTIES

Er bestaat, bij ons weten, geen handboek dat een overzicht geeft van alle in dit artikel behandelde modellen, zelfs niet van een groot deel. Een algemene inleiding tot het onderwerp en de behandeling van enkele modellen vindt men in:

1. LANE R., POWELL T.J., SMITH P.P., Analytical Transport Planning, London, G. Duckworth and C°, 1971, en
2. MEYER J.R., STRASZHEIM M.R., Techniques of Transport Planning, Vol.1 en 2, Washington, The Brookings Institution, 1971.

Nuttige technieken worden ook gegeven door:

3. RICHTER K.J., Verkehrsökonometrie, Vol. 1 en 2, Berlin, VEB-Verlag für Verkehrswesen, 1969.

In verband met generatiemodellen kan men lezen:

4. GLEISSNER E., Transportelastizität und Wirtschaftliche Entwicklung, Berlin-München, Duncker & Humblot, 1966.

Het Koopmans-Hitchcock distributiemodel of zijn uitbreiding tot kostenminimerende generatie-distributiemodellen worden behandeld door:

5. SILBERBERG E., The demand for inland waterway transportation, Ann Arbor, University Microfilms, 1967;
6. MOSES L.N., "A general equilibrium model of production, interregional trade and location of industry", Review of Economics and Statistics, XLII, nov. 1960, blz.373-399;
7. TAKAYAMA T., JUDGE G.G., Spatial and Temporal Price and Allocation Models, Amsterdam, North-Holland Publ.C°, 1971.

In verband met de RAS-methode kan men consulteren:

8. DESAEYERE W., "Schatting van een array door middel van de marginale totalen", Tijdschrift voor Economie, 1969, nr.1, blz. 28-73, en
9. FRIEDLANDER D., "A technique for estimating a contigency table, given the marginal totals and some supplementary data", Journal of the Royal Statistical Society, Series A., CXXIV, Part 3, 1961, blz. 412-420.

Een overzicht van diverse potentiaalmodellen vindt men in:

10. CARROTHERS G.A.P., "An historical review of the gravity and potential concepts of human interaction", Journal of the American Institute of Planners, 1956, Vol.22, blz.94-102,

en uitgebreider in hoofdstuk 11 van:

11. ISARD W., Methods of Regional Analysis, Cambridge, Massachussets, London, The M.I.T.Press, (Eighth printing), 1972.

Een zeer bekende toepassing op potentiaalmodellen werd gemaakt door:

12. LINNEMAN H., An econometric study of international trade flows, Amsterdam, North Holland Publ.C°, 1966.

In verband met modale uitsplitsing vermelden wij:

13. HIGHWAY RESEARCH BOARD, Record Number 169, Choice of Travel Mode and Considerations in Travel Forecasting, Washington, 1971,

dat echter, wat praktische toepassingen betreft, uitsluitend het personenvervoer behandelt. Een toepassing op het goederenvervoer is te vinden in:

14. PERLE E., The demand for transportation, Chicago, The university of Chicago Press, 1964.

Ten slotte weze een gevalstudie vermeld, waarin potentiaalmodellen en het Koopmans-Hitchcockmodel empirisch vergeleken worden:

15. CHISHOLM M., O'SULLIVAN P., Freight Flows and Spatial Aspects of the British Economy, Cambridge, The University Press, 1973.