SESO STUDIECENTRUM VOOR ECONOMISCH EN SOCIAAL ONDERZOEK

DE 'CAPACITEIT' VAN VERVOERINFRASTRUCTUUR

G. BLAUWENS
E. VAN BROEKHOVEN

werknota 7324/851

oktober 1973

Universitaire Faculteiten St.-Ignatius
Prinsstraat 13 - 2000 Antwerpen
D/1973/1169/11

DE 'CAPACITEIT' VAN VERVOERINFRASTRUCTUUR

G. Blauwens
E. Van Broekhoven
oktober 1973

Een concept dat vaak gebruikt wordt maar zelden nauwkeurig omschreven,is dat van "produktiecapaciteit" of "capaciteit" tout court (1). Dit begrip schijnt vooral verwarring te stichten in transporteconomische context, wanneer over de capaciteit van de infrastructuur gesproken wordt en begrippen aangewend worden zoals maximale capaciteit, praktische capaciteit, capaciteit op diverse dienstniveau's enz. (2).

De auteurs van dit artikel hebben in een studie voor de Gewestelijke Economische Raad voor Vlaanderen (3) een begin gemaakt van analyse van deze concepten, waarmee de basis gelegd werd voor empirisch onderzoek. In deze nota worden de centrale ideeën verder uitgewerkt.

1. Men toont aan welk verband bestaat tussen de capaciteitsnotie en de notie van optimale investering in vervoerinfrastructuur.
2. Een nadere precisering wordt gegeven van de betrokken minimeringsproblemen.
3. Men ontwikkelt de concepten partiële en totale capaciteit.

---

(1) Een goede uiteenzetting van diverse capaciteitsconcepten vindt men bij L. Johansen, "Production Functions and the Concept of Capacity", in Recherches récentes sur la fonction de production, Céruna, Namur, 1968, blz.47-72.

(2) Zie bv. Highway Research Board, Highway Capacity Manual, Washington 1965, Id., (vert. R. David en A. Saccasyn) "Capacité des Routes", Washington 1950, passim.

(3) Gewestelijke Economische Raad voor Vlaanderen, De ontwikkeling van de Vlaamse Economie in internationaal perspectief, Transportwezen, Antwerpen, 1972, inzonderheid blz.II.1-11.10.

In een tweede artikel, van de hand van G. Blauwens (1), wordt de ontwikkelde theorie gebruikt om een aantal toegepaste capaciteitsnormen te onderzoeken en wordt bovendien ingegaan op enkele verdere problemen, met name de discontinuïteit van technische kenmerken en de tweede-orde-condities.

§1. PROBLEEMSTELLING

Een infrastructuurvoorziening heeft een reeks technische kenmerken die haar prestatievermogen beïnvloeden. Wij kunnen deze technische kenmerken algemeen voorstellen met de variabelen S_1, S_2, ..., S_n waarin bijvoorbeeld S_1 = diepgang in voet;
S_2 = breedte van de vaarweg;
enz.

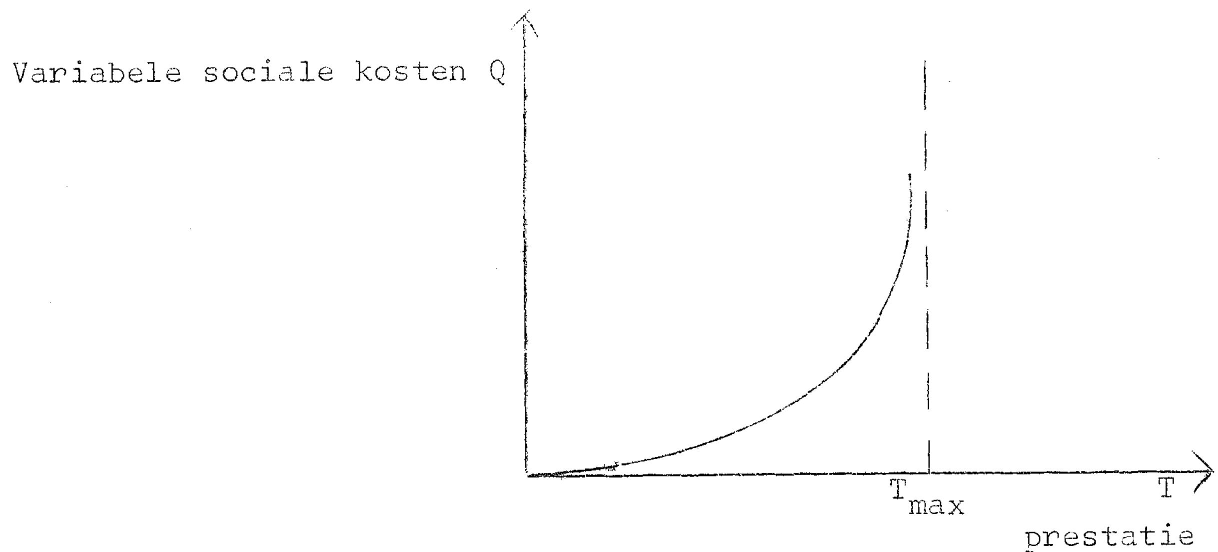
Het probleem waarmee wij te maken hebben is in de eerste plaats het prestatievermogen te bepalen van een bestaande voorziening met gegeven technische kenmerken $S_i = S_i^\circ$ (waarin het symbool ° gegeven constanten aanduidt).

Het is geweten dat de jaarlijkse variabele sociale kosten Q die afhangen van het gebruik van de infrastructuur (slijtage, tijdverlies, brandstof, ongevallen en dergelijke) een stijgende functie zijn van de jaarlijkse vervoervolumes T_1, T_2, ..., T_m waarin m het aantal verschillende soorten vervoer is (bv. vrachtwagens, autobussen, personenwagens). Tevens zijn deze jaarlijkse variabele sociale kosten Q functie van de infrastructuurkenmerken van de weg S_1, S_2, ..., S_n, zodanig dat wij kunnen schrijven

$$Q = Q\,(T_1, T_2, \ldots, T_m, S_1, S_2, \ldots, S_n)$$

(1) G. Blauwens, "Toepassing van capaciteitsnormen op de vervoerinfrastructuur".

Het probleem bij de bepaling van de capaciteit van een infrastructuurvoorziening met gegeven kenmerken is dat over het algemeen voor $S_1=S_1^o$, $S_2=S_2^o$, ..., $S_n=S_n^o$ het mogelijk is de vervoervolumes T_1, T_2, ..., T_m op te voeren, zonder dat Q plotseling oneindig wordt in een knik die duidelijk de maximale vervoerstromen zou aangeven. Dit wordt grafisch geïllustreerd door grafiek 1 voor het geval met slechts één vervoercategorie T.



Grafiek 1. Jaarlijkse variabele sociale kosten bij gegeven infrastructuurkenmerken $Q = Q(T, S_1^o, S_2^o, \ldots, S_n^o)$

Men merkt dat bij de stijging van T de kosten Q meestijgen en wel zodanig dat de stijgingsgraad zelf toeneemt. Het geleidelijk verloop van de functie Q wanneer T stijgt naar T_{max} verhindert echter T_{max}, de "maximale capaciteit", zinvol aan te wenden in een economische analyse (1). Immers, vóór T_{max} bereikt wordt, is de kostentoename reeds zo belangrijk dat de vraag T belet wordt nog verder te groeien. Men zal dus een benutting vaststellen die kleiner is dan T_{max} en bij gevolg aan de hand van de maximale capaciteit geen knelpunten kunnen constateren.

---

(1) Zie bijvoorbeeld D. Kraft, "Probleme einer optimalen Kapazitätspolitik", in "Das Kapazitätsproblem in der Verkehrswirtschaft", Göttingen, 1967, blz. 16.

Een ander extreem capaciteitsbegrip is de vervoerstroom T die kan verwerkt worden tegen een minimale gemiddelde kost $\frac{Q}{T}$, dit wil zeggen zonder dat enige congestiekosten optreden. Ook dit capaciteitsbegrip is weinig zinvol, omdat het theoretisch leidt tot een capaciteit gelijk aan nul, zoals blijkt uit grafiek 1. (Een weg die 200 voertuigen per jaar verwerkt geeft in principe reeds een hogere kans op ongevallen, tijdsverlies, enz. dan een weg die maar 100 voertuigen verwerkt. De helling van de voerstraal is minimaal voor T=0).

Een zinvol capaciteitsbegrip moet dus gegeven worden door een norm aangaande $\frac{Q}{T}$ die de "capaciteit" bepaalt tussen 0 en T_{max}. Men kan deze norm arbitrair stellen maar dan omzeilt men het feitelijke probleem waarmee de econoom zich moet bezighouden, namelijk deze norm af te leiden uit de doelstelling, door de economische calculus vooropgezet.

Wanneer men bovendien meerdere trafiekcategorieën T_1, T_2, ..., T_m onderscheidt zal het capaciteitsbegrip niet alleen de bepaling van een dergelijke norm vergen maar ook gecompliceerd worden door het voorkomen van meerdere combinaties van T_1, T_2, ... T_m die aan deze norm voldoen.

§2. EEN ECONOMISCHE NORM

Om niet in eindeloze speculaties te vervallen op het terrein van de algemene economische politiek kan men als consistente doelstelling, die beperkt blijft tot de vervoersector, aanvaarden dat men voor elk stel gegeven vervoerstromen T_1^o, T_2^o, ..., T_m^o de totale kosten Z moet minimeren die bestaan uit enerzijds de jaarlijkse variabele kosten Q en anderzijds de jaarlijkse vaste infrastructuurkosten R.

Met R wordt bedoeld de annuïteit die de investerings-, onderhouds- en dergelijke kosten egaal spreidt over de analyseperiode. Zo worden ook de variabele kosten Q, indien zij niet contant zijn over de tijd, in een vaste annuïteit omgezet. De discontovoet en de analyseperiode die deze annuïteit bepalen kunnen arbitrair vooropgezet worden. Idealiter echter zal de discontovoet de maatschappelijke tijdsvoorkeur uitdrukken en is de analyseperiode oneindig.

Na deze omzetting in een constante annuïteit kan men stellen dat de te minimeren jaarlijkse kost

$$Z = R(S_1, S_2, \ldots, S_n) + Q(S_1, S_2, \ldots, S_n | T^o, T_2^o, \ldots, T_m^o)$$

of $Z = Z(S_1, S_2, \ldots, S_n | T_1^o, T_2^o, \ldots, T_m^o)$

constant is over de tijd.

De notie van een optimale infrastructuur is nu duidelijk dat Z moet geminimeerd worden naar de variabelen $S_1, S_2, \ldots, S_n$. Dit geeft aanleiding tot een stel van n optimumcondities of vraagvergelijkingen voor infrastructuurkenmerken:

$$\begin{aligned} S_1 &= S_1(T_1^o, T_2^o, \ldots, T_m^o) \\ S_2 &= S_2(T_1^o, T_2^o, \ldots, T_m^o) \\ &. \\ &. \\ S_n &= S_n(T_1^o, T_2^o, \ldots, T_m^o) \end{aligned}$$

waarin de optimale oplossing functie gesteld wordt van de gegeven parameters $T_1^o, T_2^o, \ldots, T_m^o$. Indien deze vervoerstromen veranderen zal ook de optimale infrastructuur met kenmerken $S_1, S_2, \ldots, S_n$ veranderen.

Uit dit stelsel van optimale infrastructuur blijkt nu ook een economische capaciteitsbegrip dat duidelijk met de optimalisatie van de infrastructuur verwant is. Bij de capaciteitsbepaling wordt echter de omgekeerde vraag gesteld. Men observeert niet langer de vervoerstromen om daaruit de gewenste technische kenmerken af te leiden maar men observeert gegeven technische kenmerken S_1^o, S_2^o, S_n^o en men vraagt zich af welke vervoerstromen deze technische kenmerken tot een optimale oplossing maken. Men vraagt met andere woorden welke waarden de parameters (T_1^o, T_2^o, ..., T_m^o) moeten aannemen opdat S_1^o, S_2^o, ..., S_n^o optimaal zouden zijn.

Indien wij als een eenvoudig voorbeeld nemen dat de hoger beschreven vraagvergelijkingen voor infrastructuurkenmerken (de kwantiteiten S_i die Z minimeren) lineair zijn in de vervoerstromen en bovendien het aantal vervoerstromen gelijk is aan het aantal kenmerken, n, wordt de notie van optimale infrastructuur equivalent aan:

$S = AT^o$

met A een nxn matrix;

T^o een vector van n gegeven vervoerstromen;

S een vector van n te berekenen optimale infrastructuurkenmerken;

terwijl de capaciteitsnotie zou zijn, indien A niet singulier is: $T = A^{-1}S^o$;

met T een vector van n te berekenen vervoerstromen;

S^o een vector van n gegeven infrastructuurkenmerken.

Dat capaciteitsbepaling het inverse probleem is van optimalisatie der infrastructuur is nu meteen duidelijk. In $S=AT^o$ gaat men na welke infrastructuur moet aangelegd worden. De matrix A die deze infrastructuur afhankelijk stelt van de vervoerstromen is gebaseerd op minimumcondities voor de kostenfunctie Z, waarin de vervoerstromen parameters zijn. In $T=A^{-1}S^o$ gaat men na voor welke hypothetische vervoerstromen de bestaande infrastructuur inderdaad optimaal is, inderdaad Z minimeert.

Het is meteen duidelijk dat de capaciteitsvector T kan bepaald worden indien A niet singulier is. Dit is onder andere het geval wanneer A een diagonale matrix is met alle elementen op de hoofddiagonaal positief (dus indien elke optimale kwantiteit S_i beïnvloed wordt door één vervoerstroom T_i en niet door andere vervoerstromen). In het meest vereenvoudigde geval daarvan met slechts één (geaggregeerde) vervoerstroom T_1 en slechts één als relevant beschouwd kenmerk S_1 is A een van nul verschillende scalair a en impliceert de vraag naar infrastuctuur $S_1=aT_1^{\circ}$, duidelijk het bestaan van een capaciteit $T_1=\frac{1}{a}S_1^{\circ}$. Wanneer daarentegen de matrix A singulier is, kan het zijn dat ofwel meerdere combinaties van vervoerstromen (meerdere vectoren) T voldoen aan de capaciteitsnotie maar kan het ook zijn dat geen capaciteitsvector T kan bepaald worden. De laatste eventualiteit zal ons aanzetten tot het invoeren van een partiële capaciteitsnotie.

De assumptie echter dat de optimale infrastructuur kan beschreven worden door een lineair stelsel $S=AT^{\circ}$ is weinig attractief. Wij zullen daarom de formulering algemener houden en nagaan hoe men dan juist uit het criterium, dat Z moet geminimeerd worden, tot een stelsel van optimale infrastructuur komt, en hoe daaruit vervolgens een capaciteitsstelsel volgt.

§3. VIER ASSUMPTIES

Het is nuttig, te veronderstellen dat Z aan volgende kenmerken voldoet:

1) De functie Z is in het relevante interval tweemaal afleidbaar naar de variabelen S_1, S_2, ..., S_n en naar de parameters T_1°, T_2°, ..., T_m°;
2) Het effect van een toename van S_i op de vaste infrastructuurkosten R is positief terwijl het effect op de variabele kosten Q negatief is. Dus $\frac{\partial R}{\partial S_i}>0$ en $\frac{\partial Q}{\partial S_i}<0$ $(i=1,\dots, n)$.

3) Indien een vervoerstroom T_j toeneemt kan men meer kosten Z uitsparen door een opvoering van S_i. Dus $\frac{\partial^2 Z}{\partial S_i \partial T_j} < 0$.

4) Voor elk stel vervoerstromen $T_1, T_2, \ldots, T_m$ is de matrix der tweede afgeleiden $\frac{\partial^2 Z}{\partial S_i \partial S_j}$ positief definiet.

De minst restrictieve assumpties zijn in de praktijk 2) en 3), althans indien men de analyse beperkt tot die technische kenmerken S_i die werkelijk een trade-off tussen vaste infrastructuurkosten R en variabele kosten Q impliceren. Technische kenmerken die deze trade-off niet impliceren en die dus niet voldoen aan hypothese 2) kunnen uit de analyse verwijderd worden. Voor de relevante S_i-variabelen, die aan assumptie 2 voldoen, lijkt verder assumptie 3) ook zeer plausibel te zijn. Zij zegt alleen dat een investering in S_i, die de vaste kosten verhoogt maar de variabele kosten verlaagt, beter verantwoord is (de totale kosten Z sterker vermindert) naarmate meer gebruik gemaakt wordt van de infrastructuur. Assumptie 2 laat ons toe $\frac{\partial R}{\partial S_i}$ te interpreteren als de veroorzaakte toename van vaste infrastructuurkosten en $\left|\frac{\partial Q}{\partial S_i}\right|$ als de veroorzaakte besparing van variabele kosten. Assumptie 3) laat ons toe te stellen dat de stijging van de vervoerstromen zal moeten gepaard gaan met een toename van S_i.

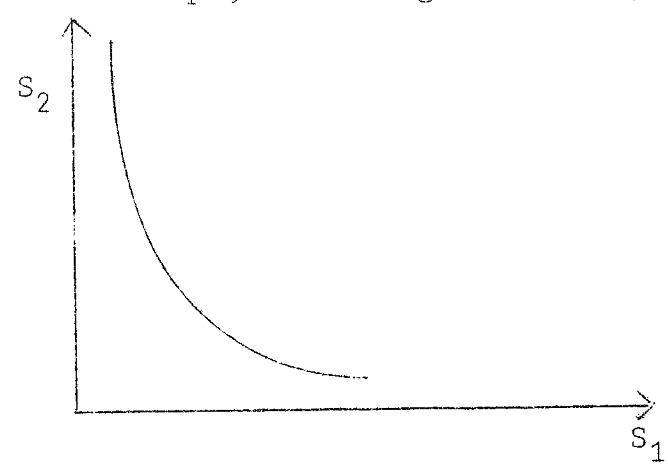
In de praktijk zullen assumpties 2) en 3) niet veel meer vergen dan een aangepaste definitie van S_i waardoor $\frac{\partial R}{\partial S_i}$ en $\frac{\partial Q}{\partial S_i}$ het afgesproken teken hebben. (Men zal bv. niet S_i definiëren als de afstand tussen verlichtingspunten maar wel als het aantal verlichtingspunten per afstandseenheid).

Veel aanzienlijker zijn de beperkingen die ingevoerd worden door assumptie 1. In de praktijk komen ongetwijfeld technische kenmerken S_i voor die aan een belangrijke discontinuïteit onderhevig zijn (bv. het aantal rijstroken van een weg). Wij zullen echter in een tweede artikel (1) aantonen, dat mutatis mutandis het discontinue geval ook gedekt wordt door de belangrijkste conclusies die onder assumptie 1) bereikt worden.

Assumptie 4 ten slotte kan in de praktijk beperkend zijn, alhoewel zij zeer redelijk voorkomt. Men kan normaal aannemen dat Z ongeveer van de vorm is

$$Z = \sum_{i=1}^{n} p_i S_i + Q(S_1, S_2, \ldots, S_n | T_1^o, T_2^o, \ldots, T_m^o),$$

waarin de vaste infrastructuurkosten door een lineair gedeelte $\sum_{j=1}^{n} p_i S_i$ vervangen zijn. De coëfficiënt p_i is de jaarlijkse kostprijs per eenheid S_i. Het gedeelte Q kan geacht worden te voldoen aan de strikte convexiteitsconditie die in de theorie der isoquanten vaak geponeerd wordt, nl. dat een gegeven niveau van variabele kosten Q voor gegeven kenmerken $S_3, \ldots, S_n$ en voor gegeven vervoerstromen bereikbaar is onder een combinatie van S_1 en S_2 die convex verloopt, zoals afgebeeld in grafiek 2.



Grafiek 2. Isokostcombinaties van S_1 en S_2

(1) G. Blauwens, op.cit., blz.

Dit functieverloop, assymptotisch evenwijdig aan beide assen, is plausibel daar kenmerken zoals breedte van de vaarweg, diepgang enz. steeds in zekere minimale kwantiteiten zullen moeten aanwezig zijn.

Het positief definiet zijn van de matrix der tweede afgeleiden van Z naar S is dus een assumptie die aanvaardbaar is. Natuurlijk kunnen altijd uitzonderingen voorkomen, al was het maar over bepaalde intervals van het functieverloop. Op assumptie 4), die ons zal toelaten van een reeks tweede-orde condities verder af te zien, wordt dan ook in een tweede publikatie teruggekomen (1).

§4. DE OPTIMALE INFRASTRUCTUUR

Voor gegeven vervoerstromen T_1^o, T_2^o, ..., T_m^o is de optimale infrastructuur diegene waarvan de technische kenmerken S_1, S_2, ..., S_n zodanig aangepast zijn dat Z een absoluut minimum bereikt. Dit probleem van optimalisatie van de infrastructuur is tegengesteld aan het probleem van capaciteitsbepaling. Wij gaan inderdaad na hoe S_1, S_2, ..., S_n moeten aangepast worden aan gegeven T_1^o, T_2^o, ..., T_m^o terwijl bij de capaciteitsbepaling de omgekeerde vraag gesteld wordt en men nagaat welke T_1, T_2, ..., T_m de capaciteit uitmaken bij gegeven technische kenmerken S_1^o, S_2^o, ..., S_m^o.

Het is echter nuttig eerst het probleem van optimalisatie van de infrastructuur te behandelen en daarna de omgekeerde vraag van capaciteitsbepaling te stellen.

---

(1), G. Blauwens, *op.cit.*, blz.

Krachtens assumptie 1) voldoet de optimale infrastructuur (het minimum van Z) aan volgende noodzakelijke condities, die wij het optimaliteitsstelsel /1/ noemen, en die bekomen worden door partiële differentiatie van Z naar de beslissingsvariabelen $S_1, S_2, \ldots, S_n$:

$$\frac{\partial Z(S_1, S_2, \ldots, S_n : | T_1^o, T_2^o, \ldots, T_m^o)}{\partial S_i} = 0 \quad (i = 1, \ldots, n) \quad /1/$$

Krachtens assumptie 4) vormt dit stelsel niet alleen noodzakelijke maar ook voldoende condities.

Assumptie 4), implicerend dat elk element $\frac{\partial^2 Z}{\partial S_i^2}$ op de hoofddiagonaal positief is, laat tevens een verbale interpretatie toe van het optimaliteitsstelsel /1/: vóór het evenwichtspunt, gekenmerkt door $\frac{\partial Z}{\partial S_i}=0$, geldt $\frac{\partial Z}{\partial S_i}<0$ (wat krachtens hypothese 2 betekent $\frac{\partial R}{\partial S_i}<\left|\frac{\partial Q}{\partial S_i}\right|$). Na het evenwichtspunt geldt $\frac{\partial Z}{\partial S_i}>0$ (of $\frac{\partial R}{\partial S_i}>\left|\frac{\partial Q}{\partial S_i}\right|$). Vóór het evenwichtspunt geldt dus dat de veroorzaakte besparing van variabele kosten groter is dan de veroorzaakte toename van vaste kosten, terwijl zij na het evenwichtspunt kleiner is. Het optimaliteitsstelsel /1/ zegt dus dat "men moet verder gaan met het uitbreiden van de infrastructuur, zolang de besparing van variabele kosten de toename van vaste kosten overtreft".

§5. DE CAPACITEIT

Nadat wij bepaald hebben hoe de technische kenmerken van een infrastructuur moeten aangepast worden aan de vervoerstromen kunnen wij de omgekeerde vraag stellen en bepalen welke vervoerstromen de capaciteit uitmaken van een infrastructuurvoorziening met gegeven technische kenmerken.

Intuïtief verstaat men onder capaciteit die vervoerstromen waarvoor de bestaande infrastructuur ontworpen werd. Deze intuïtieve interpretatie stemt overeen met de capaciteitsnorm die wij in §3. voorgesteld hebben en die de sleutel vormt om de capaciteit te definiëren als de vervoerstromen $T_1, T_2, \ldots, T_m$ die voldoen aan het capaciteitsstelsel /2/

$$\frac{\partial Z(S_1^o, S_2^o, \ldots, S_n^o, T_1, T_2, \ldots, T_m)}{\partial S_i} = 0 \quad (i=1, \ldots, n) \qquad /2/$$

Dit is een stelsel van n gelijkheden in m onbekenden T_i. Het bepaalt welke waarden de vervoerstromen $T_1, T_2, \ldots, T_m$ moeten aannemen opdat de n partiële afgeleiden $\frac{\partial Z}{\partial S_i}$ geëvalueerd in het vooraf door $S_1^o; S_2^o, \ldots, S_n^o$ gegeven punt (maar functie van de vervoerstromen) alle nul zouden zijn. Het stelsel onderzoekt dus voor welke vervoerstromen de bestaande uitrusting aan de optimumconditie voldoet. Deze vervoerstromen zijn de capaciteit van die uitrusting.

Het is mogelijk dat stelsel /2/ één unieke oplossing heeft. In dit geval is de capaciteit op unieke wijze bepaald in termen van de diverse vervoerstromen . Het is tevens mogelijk dat stelsel /2/ meerdere oplossingen heeft, hetgeen betekent dat verschillende vervoerstromen onderling qua capaciteitsbezetting substitueerbaar zijn. Ten slotte is het mogelijk dat stelsel /2/ geen oplossing heeft. Dit kan voorkomen zelfs indien m<n en zal in feite de algemene regel zijn. Immers, de oplosbaarheid van stelsel /2/ is slechts gewaarborgd indien de bestaande infrastructuur werkelijk op optimale wijze ontworpen werd voor een bepaald stel vervoerstromen. In de realiteit echter wordt de economische calculus bij de aanleg van de infrastructuur vrijwel nooit zover doorgedreven en worden de technische kenmerken $S_1^o, S_2^o, \ldots, S_n^o$,niet perfect gedoseerd ten overstaan van bepaalde vervoerstromen. Sommige kenmerken zijn in overmate aanwezig ($\frac{\partial Z}{\partial S_i} > 0$)en andere zijn in te geringe mate aanwezig ($\frac{\partial Z}{\partial S_i} < 0$). Sommige equaties in stelsel /2/ zijn strijdig.

Wij moeten dus meestal afzien van een capaciteitsbepaling volgens stelsel /2/. Wij kunnen echter wel uit deze n voorwaarden er één kiezen die van dominant belang geacht wordt, d.w.z. ons beperken tot één infrastructuurkenmerk S_1 waarvan het effect op Z, bij wijziging der vervoerstromen, sterker verandert dan dat van andere infrastructuurkenmerken. De aanpassing van een dergelijk infrastructuurkenmerk zal zich bij wijziging van de vervoerstromen sneller opdringen dan voor andere minder cruciale kenmerken het geval is. In het geval van autowegen kan men normaal aannemen dat zulke dominerende variabele S_1 het aantal rijstroken is, dat inderdaad de belangrijkste invloed op Z zal hebben en het snelst moet aangepast worden bij wijziging der vervoerstromen. Bij stijging van de vervoerstromen zal men om de kosten Z binnen perken te houden allereerst overgaan tot aanpassing van het aantal rijstroken, terwijl men zich kan permitteren andere kenmerken, zoals bv. de verlichtingsintensiteit met enige slordigheid te behandelen. Een analoge situatie geldt voor het spoor, waarvoor het dominant kenmerk het aantal sporen is en voor de binnenvaart die als dominant kenmerk de tonnemaat heeft, die per tijdseenheid kan versast worden in de sluizen.

Indien wij het capaciteitsstelsel /2/ beperken tot de ene conditie aangaande het weerhouden dominant technisch kenmerk S_1

$$\frac{\partial Z(S_1^o, S_2^o, \ldots, S_n^o, T_1, T_2, \ldots, T_m)}{\partial S_1} = 0 \qquad /3/$$

houden wij in plaats van een stelsel met n condities slechts één capaciteitsconditie /3/ over , waarin m variabelen optreden: $T_1, T_2, \ldots, T_m$.

Conditie /3/ is slechts een vorm van "partiële capaciteitsbepaling", in tegenstelling tot de "totale capaciteitsbepaling" volgens stelsel /2/. Theoretisch is partiële capaciteitsbepaling niet ideaal, daar zij afhankelijk is van het als dominant beschouwde kenmerk en van de wijze waarop de andere, constant gehouden, technische kenmerken gedefinieerd worden. Het is bv. evident dat men door keuze van een volkomen irrelevante variabele S_1 ook een volkomen irrelevante capaciteit berekent. Het is even evident dat men door een onaangepaste definitie van de constant te houden kenmerken S_2 tot S_n hetzelfde resultaat bekomt. (Het heeft bv. meestal geen zin een uitbreiding van het aantal rijstroken te onderzoeken onder constante wegbreedte. Daarom zal men in S_2 tot S_n wel de rijstrookbreedte maar niet de totale wegbreedte opnemen).

Om het partieel capaciteitsbegrip enige economische betekenis te geven moeten de variabelen S_1 tot S_n zodanig gedefinieerd worden dat $\frac{\partial Z}{\partial S_1}$ de kosten aangeeft van die wijziging die men aan de infrastructuur zou aanbrengen bij verandering der vervoerstromen.

Men notere dat onder de gemaakte assumpties conditie /3/ oplosbaar is voor positieve waarden van T_1, T_2, ..., T_m, zodra voor $T_1=T_2=...=T_m=0$, $\frac{\partial Z}{\partial S_1}>0$ hetgeen in de praktijk steeds als voldaan kan beschouwd worden: indien geen gebruik gemaakt wordt van de infrastructuur is toevoeging van een additionele eenheid S_1 steeds onrendabel daar de vaste kosten R verhoogd worden zonder compensatie in de variabele kosten Q).

Met $\frac{\partial Z}{\partial S_1}>0$ voor $T_1=T_2=...=T_m=0$ en met $\frac{\partial^2 Z}{\partial S_1 \partial T_j}<0$ ($j=1...m$) zijn er positieve waarden T_1, T_2, ..., T_m die $\frac{\partial Z}{\partial S_1}$ nul maken.

§6. KENMERKEN VAN HET PARTIEEL CAPACITEITSBEGRIP

Daar in de praktijk een totale capaciteitsbepaling vrijwel steeds onmogelijk is, zullen wij het houden bij partiële capaciteitsbepaling volgens conditie /3/. Dit partieel capaciteitsconcept heeft enkele interessante kenmerken:

a) interpreteerbaar als drempel voor investering

Krachtens assumptie 3), stellend dat $\frac{\partial^2 Z}{\partial S_i \partial T_j} < 0$ (i=1...n, j=1...m) geldt dat, uitgaande van een stel vervoerstromen die voldoen aan de partiële capaciteitsconditie /3/, de verhoging van één of meerdere vervoerstromen T_j tot gevolg heeft dat $\frac{\partial Z}{\partial S_i} < 0$, met andere woorden een uitbreiding van infrastructuurkenmerk S_1 wenselijk maakt. Omgekeerd zal een vermindering van één of meerdere T_j tot gevolg hebben dat $\frac{\partial Z}{\partial S_1} > 0$, zodanig dat een inkrimping van S_1 wenselijk wordt. Assumptie 3) laat dus toe de capaciteit te interpreteren als een drempel. Indien het vervoer deze drempel overtreft gaat men over tot bijkomende investeringen in S_1, die de vaste kosten R verhogen, maar Q verlagen.

b) beïnvloed door de overige infrastructuurkenmerken

De partiële capaciteitsconditie verwaarloost de optimaliteitscondities aangaande alle technische kenmerken, uitgezonderd het weerhouden dominante kenmerk S_1. Dit betekent echter niet dat andere kenmerken dan S_1 totaal zonder invloed zijn op de capaciteit. Het is inderdaad duidelijk dat $\frac{\partial Z}{\partial S_1}$ afhankelijk is van S_2^o tot S_n^o.

Men gaat dus niet na of S_2 tot S_n in optimale hoeveelheid aanwezig zijn, maar men houdt wel met hun aanwezigheid rekening wanneer men bepaalt of S_1 in optimale hoeveelheid aanwezig is.

c) onderhevig aan substitueerbaarheid van vervoerstromen

Assumptie 1), dat Z tweemaal afleidbaar is, heeft tot gevolg dat indien meer dan één soort vervoer onderscheiden wordt (m>1), meer dan één oplossing bestaat van de partiële capaciteitsconditie /3/. Alleen in het door assumptie 1 uitgesloten geval dat $\frac{\partial Z}{\partial S_1}$ niet afleidbaar zou zijn naar $T_1, \ldots, T_m$ kan de ene capaciteitsconditie /3/ de m vervoerstromen op unieke wijze bepalen. Onder assumptie 1) bekomen wij dat de partiële capaciteitsconditie /3/ een afleidbare impliciete functie is van m variabelen. De ratio's der afgeleiden van deze functie naar de m variabelen geven de verhouding aan waarin de diverse vervoerstromen tegen elkaar kunnen gesubstitueerd worden met behoud van volledige capaciteitsbezetting. Deze ratio's zijn krachtens assumpties 3) en 1) noch -nul, noch onbepaald.

d) afhankelijk van prijzen

Gezien $\frac{\partial Z}{\partial S_1}$ de invloed aangeeft op kosten is de capaciteit afhankelijk van de prijzen waartegen deze kosten geëvalueerd worden. Het is dus niet zo dat de capaciteit een zuiver technisch gegeven is dat voor eens en altijd vast staat. Wij hebben te maken met een economisch capaciteitsbegrip dat afhankelijk is van de economische offers die aan uitbreiding van infrastructuur enerzijds of congestie anderzijds gepaard gaan. Natuurlijk kunnen prijswijzigingen bedacht worden die de capaciteit niet aantasten (bv. gelijke proportionele stijging van alle prijzen) maar over het algemeen is de capaciteit van de prijzen afhankelijk.

e) stijgende functie van S_1

De vervoerstroom T_i die bij gegeven andere vervoerstromen T_j ($j=1,\ldots,m$, $j\neq i$) de capaciteit uitmaakt van een infrastructuurvoorziening, stijgt indien S_1 stijgt.

Het bewijs van dit kenmerk, berust op volgende conditie aangaande de totale afgeleide der partiële capaciteitsconditie /3/ naar S_1:

$$\frac{\partial^2 Z}{\partial S_1^{\,2}} + \frac{\partial^2 Z}{\partial S_1 \partial T_i} \cdot \frac{dT_i}{dS_1} = 0$$

Hierin zal $\frac{dT_i}{dS_1}$ positief zijn, gezien $\frac{\partial^2 Z}{\partial S_1^{\,2}}$ krachtens assumptie 4) positief is en $\frac{\partial^2 Z}{\partial S_1 \partial T_i}$ krachtens assumptie 3) negatief.

§7. CONCLUSIES

Wij hebben aangetoond dat een economisch capaciteitsbegrip voor de infrastructuur kan gegeven worden. Het theoretisch ideaal echter van een totale capaciteitsbepaling moet verlaten worden, omdat men in de praktijk niet met optimaal gedoseerde infrastructuurkenmerken te maken heeft. In plaats van totale capaciteitsbepaling past men een partiële capaciteitsbepaling toe die arbitrair is in die zin dat zij afhankelijk is van welke infrastructuuruitbreiding men onderzoekt.

De hypothese dat investering rendabeler wordt naarmate meer gebruik gemaakt wordt van de infrastructuur, laat toe de capaciteit te interpreteren als een minimum dat de vervoerstromen moeten bereiken opdat de investering rendabel zou worden.

Er werd aangetoond dat de capaciteit kan uitgedrukt worden in de vorm van een impliciete functie van de diverse vervoerstromen die onderscheiden worden. De ratio's der afgeleiden van deze functie naar de vervoerstromen geven de equivalentiecoëfficiënten aan die in toegepaste capaciteitsstudies vaak gebruikt worden.

Verder blijkt de capaciteit afhankelijk te zijn van de prijzen waartegen men de betrokken kosten waardeert.

Voorlopig is niet ingegaan op de tweede-orde condities in verband met de capaciteitsnotie, noch op het probleem van discontinuïteit. Deze punten worden behandeld in een volgend artikel, waarin tevens de toepassing op autowegen nader bekeken wordt.