

STRUKTUUR IN HET BESLISSINGSPROCES

Rede

uitgesproken bij de aanvaarding
van het ambt van hoogleraar in de

BESLISKUNDE en BEDRIJFSECONOMETRIE

aan de
Katholieke Universiteit Brabant

op
27 oktober 1989
door
F.A. van der Duyn Schouten.

Mijnheer de rector,

Zeer gewaardeerde toehoorders,

Een van de weinige tradities op het universitaire erf, die het hoofd boven water heeft weten te houden in de herstruktureringsgolven van de zestiger en zeventiger jaren, is het gebruik dat nieuw benoemde docenten hun ambt aanvaarden met het uitspreken van een openbare les, waarvan het onderwerp is ontleend aan het eigen vakgebied. Blijkbaar kan deze traditie bogen op een algemeen erkende betekenis voor universiteit en wetenschap. Een openbare les is immers een middel bij uitstek aan een publiek van brede samenstelling een indruk van het vakgebied te verschaffen en verantwoording af te leggen over de wijze waarop men er inhoud aan geeft.

Ik zal het vanmiddag met U hebben over besliskunde en bedrijfseconometrie, de twee termen waarmee mijn leeropdracht wordt aangeduid. Als titel van mijn voordracht heb ik gekozen "Struktuur in het beslissingsproces", waarmee, naar ik hoop duidelijk te maken, de essentie van zowel de besliskunde als de bedrijfseconometrie kan worden gevat. Ik stel mij voor U allereerst de plaats van deze vakgebieden te schetsen tegen de achtergrond van de belendende wetenschappelijke percelen. Vervolgens wil ik trachten U de inhoud ervan wat nader te brengen aan de hand van een tweetal voorbeelden, ontleend aan mijn eigen onderzoeksbelangstelling.

Allereerst dus iets over de vakgebieden besliskunde en bedrijfseconometrie. Het woord besliskunde werd in 1957 geïntroduceerd door prof.dr. D. van Dantzig in zijn diesrede, gehouden aan de Universiteit van Amsterdam, onder de titel "Van "Reeckeningh in Spelen van Geluck" naar Besliskunde". Als synoniem wordt wel het anglicisme "Operationele Analyse" gebruikt; de Amerikanen spreken van "Operations Research". Met deze termen werden in eerste instantie de activiteiten aangeduid van enkele breed samengestelde teams van wetenschappers, die zich gedurende de tweede wereldoorlog met aanzienlijk succes bezighielden met de oplossing van operationele problemen van militaire aard, zoals de onderhoudsplanning van vliegtuigen, het bepalen van de beste samenstelling van militaire convoaien, het optimaal gebruik van een nieuw ontwikkeld radarsysteem en de effectiviteitsverhoging van bombardementen. Voor een gedetailleerde historische beschrijving hiervan verwijs ik naar een drietal recente artikelen van Mc.Closky (1987a,b,c.). In de vijftiger en zestiger jaren vonden binnen de

besliskunde ontwikkelde technieken op grote schaal toepassing in het bedrijfsleven, ondermeer op het terrein van capaciteitsberekening, produktieplanning en voorraadbeheer. In deze periode werden bovendien een groot aantal theoretische bijdragen geleverd aan de uitbreiding van het besliskundig arsenaal, waarvan de ontwikkeling van de simplexmethode voor de oplossing van lineaire programmeringsmodellen veruit de meeste bekendheid heeft verkregen. De wortels van de besliskunde reiken dus niet veel verder dan de veertiger jaren, alhoewel ontwikkelingen aan het begin van deze eeuw op het terrein van de toegepaste waarschijnlijkheidsrekening een grote invloed op de besliskunde hebben gehad.

Dat het vakgebied desalniettemin een zekere mate van volwassenheid heeft bereikt, wordt niet in de laatste plaats bevestigd door de intensieve discussie die nu al ruim tien jaar lang in de literatuur wordt gevoerd omtrent de gewenste richting waarin de besliskunde zich verder zou moeten ontwikkelen. Ik wil hier volstaan met het weergeven van twee opinies die min of meer als extrema kunnen worden aangemerkt. De eerste opvatting is dat de besliskunde nog steeds dient te zijn wat ze in aanvang was: het oplossen van ingewikkelde management problemen met gebruikmaking van wetenschappelijke kennis door breed samengestelde teams van "problem solvers". Het ontwikkelen van de te gebruiken wetenschappelijke kennis zelf behoort in deze visie niet uitdrukkelijk tot het werkterrein van de besliskundige en wordt aan anderen, vooral wiskundigen, overgelaten. Deze opvatting wordt gehuldigd door meerdere beoefenaars van de besliskunde die hun sporen in het vakgebied hebben verdiend, zoals Ackoff en Eilon. (Zie bijv. Ackoff (1987) en Eilon (1987)). Gerichtte aandacht op de ontwikkeling en verbetering van wiskundige oplossingstechnieken voor bestaande en nieuwe modellen wordt in deze opvatting als bedreigend voor het voortbestaan van de besliskunde gezien. Het is niet de wiskundige methode die centraal dient te staan, maar het probleem waarvoor de manager zich concreet geplaatst ziet. Dat probleem moet tot oplossing worden gebracht en het bestaansrecht van de besliskunde is afhankelijk van de mate van succes die daarbij wordt geboekt. Wanneer de besliskunde dit uitgangspunt loslaat en de bestudering van modellen en technieken centraal gaat stellen, verloochent ze haar afkomst. Hansen (1989), die een viertal mogelijke oorzaken van de vermeende teloorgang van de besliskunde in de tachtiger jaren analyseert, spreekt in dit verband van perversie van de Operations Research.

Aan de andere kant van het spectrum vinden we de opvatting dat de besliskunde een specialisatie binnen de toegepaste wiskunde is en als zodanig ook het best

aan universiteiten binnen de wiskundige discipline kan worden onderwezen. (Zie Eilon (1987)).

De meeste beschouwingen aan deze controverserige gewijd gaan gepaard met een visie op de toekomst van het vakgebied, die pessimistischer is naarmate men voor de beoefenaars uit het andere kamp een grotere invloed ziet weggelegd. Zoals gezegd is deze discussie op te vatten als een signaal dat de besliskunde een wetenschappelijke volwassenheid begint te bereiken. Vroeg of laat ontstaan immers binnen iedere wetenschap controverses tussen de theoretici en toepassers. Daarbij kan het zo hoog oplopen dat de aanhangers van tegengestelde opvattingen elkaar niet langer onder het zelfde wetenschappelijk dak verdragen. Illustratief in dit verband is de discussie die binnen de Faculteit der Economische Wetenschappen van deze universiteit recentelijk is gevoerd over de beoefening van de economie. Wat de besliskunde aangaat liggen de "oudste rechten" ongetwijfeld bij de toepassers. Echter de concrete problemen waarmee zij zich bezighouden zijn niet zelden eerst als zodanig zichtbaar geworden nadat modelvorming en modelanalyse had plaatsgevonden. Hansen (1989) merkt in dit verband op: "Problems do not just come along, but are given through explicit or implicit theories". Met besliskundige modellen kunnen structuren worden blootgelegd, waarmee complexe beslissingssituaties als bestuurbaar en beheersbaar worden herkend, waar ze tevoren, juist vanwege hun complexiteit, onbestuurbaar werden geacht.

Bestaan er dus duidelijke meningsverschillen over de gewenste ontwikkeling van de besliskunde, ten aanzien van de bedrijfseconometrie is nationaal nog nooit een serieuze poging ondernomen om tot een zekere consensus over de inhoud van dit vakgebied te komen. Ik verkeer dus in de benijdenswaardige positie bij de invulling van althans een deel van mijn leeropdracht niet te worden gehinderd door bestaande opvattingen en tradities. De naam bedrijfseconometrie is naar mijn mening niet in alle opzichten gelukkig. In deze aanduiding wordt een sterke band verondersteld met de econometrie, een tak van wetenschap die nationaal en internationaal inmiddels wel duidelijk herkenbaar is. In de econometrie worden de economische gevolgen van allerlei beleidsmaatregelen geanalyseerd met gebruikmaking van statistische modellen en technieken. Als voorbeeld noem ik onderzoek naar de invloed van verlaging van het BTW-tarief op de werkloosheid of naar de invloed die het nieuwe systeem van studiefinanciering heeft op de instroom van studenten in het wetenschappelijk onderwijs. Hoewel het binnen de econometrie gehanteerde statistisch gereedschap in beginsel

toepasbaar is op zowel algemeen economische als bedrijfseconomische vraagstukken, valt bij de toepassingen het accent op de algemene economie. Vastgesteld kan worden dat de bedrijfseconometrie zoals die hier te lande in al zijn verscheidenheid wordt bedreven weinig met econometrie van doen heeft, zowel in toepassing als in methodologie.

Mijn opvatting over de bedrijfseconometrie heeft alles te maken met de eerder genoemde controverse binnen de besliskunde. In de bedrijfseconometrie staat het concrete bedrijfsprobleem op vooral het operationeel niveau centraal, althans voorzover het zich leent voor kwantitatieve modelmatige analyse. Ter oplossing van deze bedrijfsproblemen wordt gebruik gemaakt van wiskundige, besliskundige en statistische kennis. In veel situaties zal blijken dat de modellen en oplossings technieken, zoals binnen de besliskunde ontwikkeld, niet naadloos aansluiten op de bedrijfseconometrische probleemstelling. En hier ligt dan ook de uitdaging voor de bedrijfseconometrist. Door verantwoorde aanpassing van bestaande modellen, door besliskundige oplossingsconcepten te combineren met praktische ervaring tot heuristieken en door terzakekundige toepassing van statistische technieken gaat de bedrijfseconometrist zijn weg. Kenmerkend hierbij is dat als doelstelling veelal niet het vinden van een optimale oplossing fungeert, maar allereerst het zichtbaar maken van de feitelijke problemen en de gevolgen van voorgestelde beleidsbeslissingen. Hoofddoelstelling van de bedrijfseconometrie is het aanbrengen van structuur in complexe beslissingssituaties. Waar de besliskunde zich ondermeer richt op het blootleggen van structuur in optimaliseringsmodellen, gaat de bedrijfseconometrist verder. In het algemeen is de bedrijfseconometrische situatie dermate complex, dat het weinig zin heeft naar structuur te zoeken. In deze situaties moet door de bedrijfseconometrist om te beginnen structuur aan het probleem worden opgelegd. Dit vereist naast een goed economisch inzicht een behoorlijke dosis ervaring; ervaring die ten onrechte nog al eens geïdentificeerd wordt met het bezitten van gezond verstand. Daarnaast is het optreden van een significante tijdsdruk mede karakteristiek voor de bedrijfseconometrische aanpak. Fortuin en Zijlstra (1989) merken in dit verband op : "Beter tijdig een goede oplossing dan een optimale die te laat komt."

In de besliskundige modelvorming is de abstractie van de werkelijkheid meestal vrij groot, waardoor zowel de algemeenheid van de bereikte resultaten als de complexiteit van de vertaalslag naar de concrete toepassing toeneemt. Ander-

zijds heeft de probleemgerichte aanpak van de bedrijfseconometrie in het algemeen tot gevolg dat de oplossing van een specifiek probleem weinig licht werpt op andere, nauw gerelateerde situaties. Hoewel de invalshoeken die besliskunde en bedrijfseconometrie kiezen verschillend zijn, maakt de bedrijfseconometrie met vrucht gebruik van besliskundige technieken, terwijl anderzijds vanuit de bedrijfseconometrie belangrijke impulsen voor besliskundig onderzoek zijn en worden geleverd. Ik citeer daarom met instemming Hansen (1989) : "There are many ways to live a life of Operations Research, to discover new results and to apply them and thus to enjoy OR's truth and beauty.". Zonder gebruikmaking van besliskundige modellen en technieken heeft de bedrijfseconometrie weinig meerwaarde boven het sturen op ervaring. Anderzijds behoedt de bedrijfseconometrie de besliskunde ervoor zich te verliezen in wiskundige "spielerei". Het Bestuur van deze universiteit kan dan ook geen opportunistisch gedrag verweten worden toen men besloot de leerstoelen Besliskunde en Bedrijfseconometrie samen te voegen. Eerder spreekt hieruit een helder inzicht in de samenhang der wetenschap en een fijnzinnig aanvoelen van de mogelijkheden van wederzijdse inspiratie.

Blijven we nog zitten met de ongelukkige naam "Bedrijfseconometrie". Rinnooy Kan (1989) signaleert het nadeel dat zowel afgestudeerden als bedrijfsleven hiervan ondervinden. In nationale advertenties komt de aanduiding bedrijfseconometrist slechts sporadisch voor en internationaal zal de vraag naar "Management Econometricians" geen hoge vlucht nemen. In overzichten van de personeelsbehoefte van vele grote bedrijven worden bedrijfseconometristen, indien al met name genoemd, veelal met econometristen geïdentificeerd, waarmee twee soorten afgestudeerden, die onderling meer verschillen dan appels en peren, bij elkaar worden opgeteld. Mede gelet op de toenemende mobiliteit van afgestudeerden binnen Europa, wordt het tijd op dit punt meer klaarheid te schenken. De naam "Management Science" ter aanduiding van de bedrijfseconometrie zou naar mijn overtuiging nationaal en internationaal de herkenbaarheid van het vakgebied zeer ten goede komen. Een duidelijker profilering binnen het Nederlands universitair bestel is zeker ook in het belang van aankomende studenten. De tijd lijkt alleszins rijp de studierichting "Econometrie" om te dopen tot "Management Science en Econometrie". (Over de te hanteren volgorde valt met mij te praten).

Naar probleemstelling en methodologie worden binnen de Operations Research deterministische en stochastische vraagstukken onderscheiden. Deze tweedeling

laat zich illustreren aan de hand van het klassieke handelsreizigersprobleem. Gegeven een bekend aantal steden met hun onderlinge afstanden moet een rondreis door deze steden worden bepaald waarvan de totale lengte minimaal is. Hierbij moet iedere stad een en precies een keer worden bezocht behalve de beginstad, waarin de toer ook weer moet eindigen. (Zie figuur 1).

In de bedrijfseconometrie vindt het handelsreizigersprobleem ondermeer toepassing bij de bepaling van de optimale volgorde, waarin een aantal produkten op één en dezelfde machine moet worden vervaardigd. Naar zijn aard is dit een deterministisch probleem aangezien alle gegevens (het aantal steden en hun onderlinge afstanden) vastliggen. Dat hier met recht van een probleem wordt gesproken moge duidelijk zijn als U bedenkt, dat het aantal mogelijke rondgangen door de in figuur 1 getekende 21 steden ruim 2.4 triljoen bedraagt. Een snelle computer die een miljoen operaties per seconde kan uitvoeren zou meer dan anderhalf miljoen jaar nodig hebben om de lengte van al deze rondgangen te bepalen. Met andere woorden: de beste rondgang bepalen door van alle mogelijke rondgangen de lengte uit te rekenen en vervolgens de kortste te kiezen is een onbegaanbare weg.



Figuur 1. Een rondgang door 21 Nederlandse steden

Wanneer we niet geïnteresseerd zijn in de rondrit met minimale afstand maar met minimale benodigde reistijd dan krijgt het probleem een ander karakter. Immers hoewel een redelijke schatting valt te geven van de reisafstand tussen 's-Gravenhage en 's-Hertogenbosch zal de realisatie van de duur van de reistijd van verschillende onzekere factoren afhangen. De reistijden zijn dus niet te representeren als vaste getallen, aangezien ze, afhankelijk van het optreden van een of meerdere toevalsfactoren, meerdere waarden kunnen aannemen. De reistijden kunnen in dit geval gerepresenteerd worden door zogenaamde stochastische variabelen, grootheden waarvan de realisatie niet tot slechts één mogelijke waarde is beperkt, terwijl aan iedere mogelijke waarde een kans van optreden wordt toegekend. Het verkrijgen van betrouwbare informatie in het deterministische geval is aanzienlijk eenvoudiger dan in het stochastisch geval. Kan in de eerstgenoemde situatie volstaan worden met het louter meten van de afstanden, wanneer het om de reistijden gaat zullen ook alle relevante toevalsfactoren in de beschouwing dienen te worden betrokken en op enigerlei wijze hun kans van optreden moeten worden gekwantificeerd. De waarschijnlijkheidsrekening is een onderdeel van de toegepaste wiskunde waarin de bestudering van stochastische variabelen en hun bijbehorende kansverdelingen centraal staat. Hoewel de waarschijnlijkheidsrekening ten onrechte nog al eens wordt geïdentificeerd met het analyseren van kansspelen, waarin het werpen van dobbelstenen en het trekken van witte en zwarte ballen uit al dan niet gekleurde vazen een prominente plaats inneemt, kan niet worden ontkend dat de waarschijnlijkheidsrekening voor een belangrijk deel zijn aantrekkingskracht juist hieraan ontleent. Graag wil ik dan ook van deze gelegenheid gebruik maken U iets van de onderhoudende waarde van de waarschijnlijkheidsrekening te laten proeven door middel van twee raadsels.

In een cel bevinden zich drie gevangenen A, B en C, van wie, naar ook hen bekend is twee zullen worden veroordeeld en een vrijgelaten. Aangezien ze allen even schuldig zijn en ze verder over geen enkele voorinformatie beschikken, gaan ze ervan uit, dat elk een kans van 1 op 3 op vrijspraak heeft. Gevangene A, die een goede relatie met de cipier onderhoudt, krijgt deze zover van zijn medegevangenen er een aan te wijzen die zal worden veroordeeld. Aangezien daarmee het aantal kandidaten voor vrijspraak tot twee is gereduceerd, ziet A zijn kans op de vrijheid van 1 op 3 stijgen naar 1 op 2. Anderzijds kan worden gesteld, dat de cipier A geen relevante informatie heeft verschaft, omdat hij van tevoren al wist, dat van B en C er tenminste een zou worden veroordeeld. De vraag nu luidt: "Is A terecht of ten onrechte optimistischer geworden?"

Het tweede raadsel vertoont veel gelijkenis met het eerste en luidt als volgt. Een winnaar van een quiz wordt geplaatst voor drie gesloten gordijnen A, B en C. Achter twee van deze gordijnen bevinden zich troostprijzen, achter één gordijn een hoofdprijs. De winnaar wijst gordijn A aan, maar dit gordijn wordt nog niet geopend. De quizmaster trekt nu een van de andere gordijnen B en C open, waarachter een troostprijs blijkt te liggen. Vervolgens biedt de quizmaster de winnaar de mogelijkheid om zijn oorspronkelijke keuze voor gordijn A alsnog te herzien. Moet de kandidaat hierop ingaan of niet?

Uiteraard wil ik U de gelegenheid deze situaties zelf te analyseren niet ontnemen, zelfs niet als U dat gedurende de rest van mijn betoog wilt doen. Ik wil volstaan met een opmerking. Het interessante van deze twee raadsels is, dat ze enerzijds equivalent zijn, terwijl anderzijds de oplossing van het eerste raadsel intuïtief aannemelijk is, terwijl de oplossing van het tweede tegenintuïtief is. Voor een rijke schakering van stochastische puzzels en paradoxen verwijs ik naar Szekely (1986).

Hoewel het opgeven en oplossen van raadsels een oude en goede gewoonte binnen de wetenschap is, kan ik mij bij de huidige financieringssystemen van het wetenschappelijk bedrijf niet veroorloven bij U de indruk achter te laten, dat wij ons binnen de besliskunde slechts onledig houden met dergelijk vermaak. Ik haast mij dan ook van de vele nuttige en interessante toepassingsmogelijkheden van de stochastische besliskunde er twee met U te bespreken.

De eerste beslissingssituatie waarop ik wat dieper wil ingaan betreft de besturing van wachttijdsystemen. Ik wil daaraan zowel de besliskundige als de bedrijfseconometrische aanpak illustreren. De wachttijdtheorie is een van de meest prominente onderzoeksgebieden binnen de stochastische besliskunde en de toegepaste waarschijnlijkheidsrekening. Duizenden publicaties zijn aan dit onderwerp gewijd. De oorsprong van de wachttijdtheorie kan worden gesitueerd aan het begin van deze eeuw in het werk van de Deense wiskundige A.K. Erlang, die zich bezighield met capaciteitsberekeningen voor telefooncentrales.

De algemene probleemstelling binnen de wachttijdtheorie laat zich dan ook goed illustreren aan de hand van een voorbeeld ontleend aan de telefonie: het 008 - inlichtingennummer. Abonnees melden zich bij 008 met bepaalde tussentijden. Deze tussentijden hebben een onzeker karakter en laten zich derhalve, net zoals de reistijden uit het handelsreizigersprobleem, goed beschrijven als stochastische variabelen. Hetzelfde geldt voor de tijd die een individuele klant vergt van de informatrice, de zogenaamde bedieningstijd. Een abonnee die

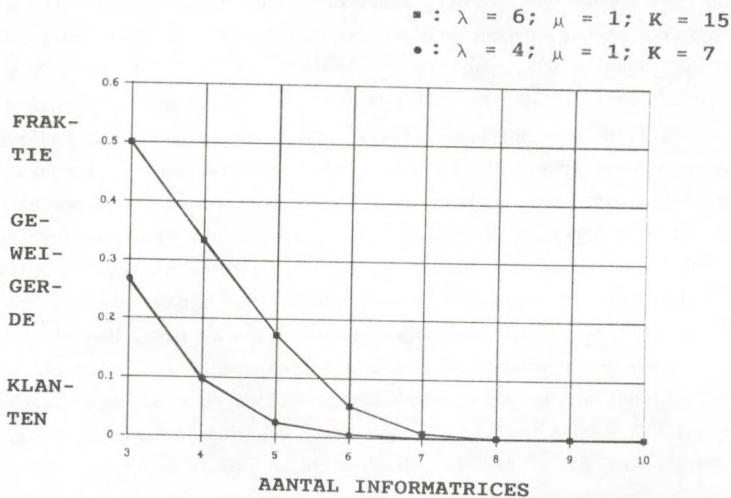
alle informatrices bezet aantreft, wordt in de wachtrij geplaatst en met regelmatige tussentijden van informatie voorzien betreffende het aantal wachtenden voor hem. Als echter de wachtrij vol is, krijgt de abonnee de bezettoon te horen en komt geen verbinding tot stand. Een mogelijke maat voor de door 008 geleverde service is de fraktie van het aantal abonnees dat via de bezettoon niet tot het systeem wordt toegelaten of de gemiddelde tijd die een klant wachtend in het systeem doorbrengt. Als deze service-maten onder het gewenste niveau blijven kan het management op verschillende manieren trachten het service-niveau bij te stellen. Zo kan bijvoorbeeld het aantal informatrices worden uitgebreid. Dit zal een positief effect sorteren op zowel de fraktie geweigerde klanten als op de gemiddelde wachttijd; de exploitatiekosten zullen daarentegen toenemen. Een andere mogelijkheid met dezelfde gevolgen voor het service-niveau is het verkleinen van de bedieningstijd van de klanten, bijvoorbeeld door de informatrices de beschikking te geven over snellere computerapparatuur, waarmee de door de abonnees gewenste gegevens moeten worden opgevraagd. Een derde alternatief is het vergroten van de wachtruimte. Dit zal weliswaar een positieve invloed hebben op de fraktie toegelaten klanten, maar de gemiddelde wachttijd van de toegelaten klanten zal er door toenemen.

De kwalitatieve invloed van bovengenoemde en soortgelijke maatregelen is i.h.a. zonder specifieke modelvorming goed aan te geven, hoewel hierop, zoals later zal blijken, ook uitzonderingen zijn. Indien we echter geïnteresseerd zijn in de vraag hoeveel de gemiddelde wachttijd zal dalen als een extra informatrice wordt ingezet, blijkt wiskundige modelvorming onontbeerlijk. Met gebruikmaking van de moderne waarschijnlijkheidsrekening is een relevant wiskundig model eenvoudig construeerbaar. Echter de analyse of, zo U wilt, de oplossing van het model heeft heel wat meer voeten in aarde.

Het meest eenvoudige model ter analysering van het bovenbeschreven 008 - probleem is het $M/M/c/c+K$ -model, een wachttijdsysteem met c informatrices en K plaatsen op de wachtlijn. Het stochastisch proces waarmee klanten zich melden is een Poisson- proces, terwijl de bedieningstijden negatief exponentieel verdeeld verondersteld worden. Van dit model zijn we geïnteresseerd in de gemiddelde wachttijd van een klant en in de kans dat een aankomende klant de wachtlijn vol aantreft. Voor wat betreft deze karakteristieken is dit model analytisch oplosbaar met behulp van de theorie van de Markovketens met continue tijdsparameter. (Zie b.v. Gross en Harris (1985), pag. 104 e.v.). Langs deze weg kan expliciet worden aangegeven met welk bedrag de fraktie geweigerde klanten daalt bij uitbreiding van het aantal informatrices. (Zie figuur 2).

Wanneer echter de modelaannname van de negatief exponentiele bedieningstijd niet houdbaar blijkt, ontstaat een intrinsiek moeilijk model, aangeduid met de codering M/G/c/c+K, waarvoor geen analytische resultaten bekend zijn.

Langs wiskundig analytische weg zijn we derhalve slechts ten dele in staat het onderhavig beslissingsproces te ondersteunen. Toch zal blijken dat deze elementaire resultaten een belangrijke rol kunnen spelen bij de bedrijfseconomische aanpak van het probleem. Alvorens daarop in te gaan wil ik globaal aangeven op welke manier vanuit de besliskunde wordt omgegaan met wachttijdsituaties die tot op heden analytisch niet oplosbaar zijn gebleken.



Figuur 2. De fraktie geweigerde klanten als functie van het aantal informatices.

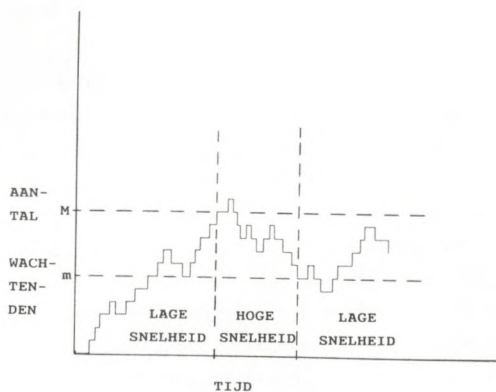
Allereerst noem ik de succesvolle algoritmische aanpak van wachttijdproblemen. Hierbij wordt niet gestreefd naar een expliciete uitdrukking voor de gevraagde grootheden in een gesloten formulevorm, maar naar rekenschema's waarmee deze grootheden op numeriek stabiele wijze binnen aanvaardbare rekentijden kunnen worden verkregen. Met behulp van de theorie der regeneratieve processen zijn hier de laatste tien jaren grote vorderingen gemaakt. Voor een uitstekend overzicht op dit gebied zij verwezen naar Tijms (1986). Ondanks deze vooruit-

gang blijven er echter vele wachttijdsituaties die vanwege hun grote complexiteit noch via analytische noch via numerieke methoden exact oplosbaar zijn. Hier blijken approximatieve methoden een aantrekkelijk alternatief. Met name voor de situatie waarin meerdere wachttijdsystemen in onderlinge samenhang moeten worden beschouwd (hetgeen zich bijvoorbeeld voordoet bij de analyse van communicatienetwerken en geautomatiseerde produktiesystemen) zijn benaderende methoden uiterst vruchtbaar gebleken. (Zie bijvoorbeeld Tijms (1986) en Boxma en Daduna (1989)).

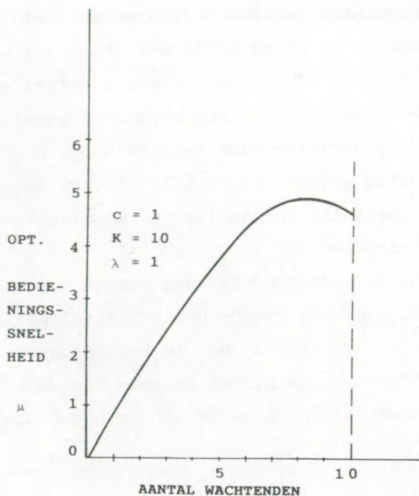
Een verwant onderzoeksveld dat mij persoonlijk na aan het hart ligt, is de dynamische besturing van wachttijdsystemen. Recentelijk zijn enkele goede overzichtsartikelen verschenen, die de stand van zaken op dit terrein goed weergeven (Stidham (1985) en Teghem (1986)). Laten we, om de gedachten te bepalen, veronderstellen dat de informatrices bij 008 in geval van grote drukte (d.w.z. bij een goed gevulde wachtrij) zonder noemenswaardig tijdsverlies op een sneller computersysteem kunnen worden aangesloten, uiteraard tegen hogere gebruikskosten per tijdseenheid. Onder een economische afweging van de wachttijd van de klanten en de exploitatiekosten van het systeem wordt gezocht naar een optimale dynamische besturingsregel. Beoogt de statische analyse het ontwerp van het informatiesysteem te ondersteunen, de dynamische analyse richt zich op verbetering van het dagelijks operationeel gebruik. Hierbij wordt de mogelijkheid aanwezig verondersteld de Bedieningsintensiteit interactief aan te passen aan het aantal wachtenden. Een intuïtief voor de hand liggende besturingsregel kan worden vastgelegd door twee, eventueel samenvallende, kritieke bezettingsniveau's. Als de bezettingsgraad van de wachtlijn het hoogste van deze twee niveau's bereikt en de bediening staat in de lage snelheid dan wordt omgeschakeld naar de hoge bedieningssnelheid, terwijl wordt teruggeschakeld wanneer de bezetting van de wachtrij onder het lage kritieke niveau zakt. (Zie figuur 3). De optimaliteit van een strategie met deze structuur kan worden bewezen voor het geval waarin slechts één informatrice aanwezig is en de wachtrij oneindig lang verondersteld mag worden. (Zie Lu en Serfozo (1984)). Hoewel het resultaat intuïtief zeer aannemelijk is, blijkt het bewijs ervan niet erg eenvoudig. Wanneer echter eenmaal bekend is, dat de optimale besturingsregel deze structuur heeft, kan daarvan met vrucht gebruik worden gemaakt om de optimale strategie meer in detail vast te leggen. (De Kok et al. (1984)). Vermeldenswaard in dit verband is dat een dergelijk structuurresultaat voor een systeem met eindige capaciteit niet behoeft te gelden, zelfs niet voor een systeem met slechts één informatrice. In deze situatie kan het

optimaal zijn van de hoge naar de lage bedieningssnelheid terug te schakelen wanneer het aantal wachtenden zo groot wordt dat de capaciteit van de wachtrij wordt benaderd. (Zie figuur 4 voor een verwante situatie waarbij de bedieningssnelheid uit een gesloten interval kan worden gekozen). Hoewel dit resultaat achteraf op bevredigende wijze valt te verklaren, druist het op het eerste gehoor tegen de intuïtie in. Een al te sterk leunen op intuïtie blijkt dus ook in praktische stochastische optimaliseringsmodellen in het algemeen niet verantwoord. (Zie ook Whitt (1986)).

Op het terrein van bestuurde wachttijdsystemen liggen nog tal van intrigerende open problemen, zoals het besturen van de bedieningsintensiteit in netwerken van onderling gekoppelde wachtrijen en in bedieningssystemen met meerdere bedienden en eindige buffercapaciteit. Het terrein van de besturing van storingsgevoelige bedieningssystemen is zelfs tot op heden nog vrijwel onontgonnen.



Figuur 3. Een besturingsstrategie bepaald door twee kritieke niveaus.



Figuur 4. De optimale bedieningssnelheid in een systeem met eindige capaciteit.

Op welke wijze gaat nu de bedrijfseconometrist de besturing van het 008-systeem te lijf. Laten we in dit verband eens letten op de vraag hoeveel informaticus ingezet moeten worden teneinde een van tevoren gespecificeerd service-niveau te garanderen. Als servicemaat zullen we de zogenaamde verlieskans hanteren: de fraktie abonnees die niet tot het systeem worden toegelaten. Allereerst zal dan onderzocht moeten worden hoe het aankomstproces van klanten en de bedieningstijden eruit zien. (In besliskundige analyses worden deze statistische data meestal als apriori gegeven verondersteld). Hierbij kan in beginsel gebruik worden gemaakt van statistische schattings- en toetsingstechnieken. De uitkomst van dit onderzoek zal naar alle waarschijnlijkheid inhouden, dat de aanname van een homogeen aankomstproces over de gehele dag niet houdbaar is. Dientengevolge zal de dag verdeeld moeten worden in een aantal kleinere segmenten van al dan niet gelijke lengte waarvoor deze aanname wel gerechtvaardigd blijkt. Vervolgens moet worden geconstateerd dat de informaticus niet constant beschikbaar zijn vanwege pauzes gedurende het werk en onvoorziene werkonderbrekingen. Verder zal rekening gehouden moeten worden met klanten, die na enige tijd in de wachtrij te hebben doorgebracht ongeduldig

worden en ophangen. Dit betekent dat niet iedere abonnee die tot het systeem wordt toegelaten ook positief bijdraagt aan de prestatie van het systeem. Al deze complicerende factoren tesamen maken een direkt beroep op analytische resultaten voor bestaande modellen onmogelijk.

Wanneer analytische resultaten niet voorhanden zijn, grijpt de bedrijfseconometrist veelal naar het wapen van de simulatie. Uit het eerder aangehaalde artikel van Fortuin en Zijlstra (1989) blijkt dat simulatie de meest gebruikte besliskundige techniek is in de door de afdeling CQM van Philips behandelde projecten, overigens opvallend genoeg op de voet gevolgd door de toegepaste waarschijnlijkheidsrekening, zoals wachttijdtheorie en vernieuwingstheorie. Computersimulatie is een zeer flexibel instrument voor de analyse van complexe stochastische systemen. Simulatie heeft echter ook duidelijke beperkingen. Allereerst bieden de via simulatie verkregen resultaten vanwege de vereiste vergaande modelspecificatie veel beperkter inzicht dan analytische modellen. In de tweede plaats kan simulatie een zeer tijdrovende en daardoor dure aangelegenheid zijn, vooral wanneer de optredende kansverdelingen een hoge variatiecoëfficiënt hebben. Tenslotte moet erop worden gewezen, dat de statistische kennis die nodig is voor een juiste interpretatie van de uit simulatie verkregen resultaten nogal eens wordt onderschat.

Voor de oplossing van het 008-probleem is een combinatie van simulatie met analytische resultaten zeer vruchtbaar gebleken. In deze aanpak wordt het 008-informatiesysteem op de computer nagespeeld, voor verschillende waarden van de onderscheiden parameters, waaronder de gemiddelde tijd tussen twee aankomsten, het eerste en tweede moment van de bedieningstijd, het aantal informatrices, de gemiddelde lengte van een pauze, de pauzefrequentie en de gemiddelde tijd die een klant bereid is te wachten. Voor iedere combinatie van parameterwaarden wordt via het simulatieexperiment een statistische waarneming aan de te bepalen verlieskans verkregen. Met de aldus verkregen gegevens wordt de verlieskans via een regressievergelijking verklaard uit een verzameling variabelen, waarin naast de genoemde inputparameters ook grootheden voor kunnen komen, die uit de elementaire analytische modellen verkregen zijn, zoals de verlieskans van het corresponderend $M/M/c/c+K$ model of de kans dat een aankomende klant alle bedienden bezet aantreft in een $M/M/c$ model. We spreken in dit geval van een regressiemodel als metamodel. (Zie bijv. Kleynen (1987)).

Het tweede voorbeeld van een toepassingsgebied van de stochastische besliskunde betreft het onderhoud van complexe technische systemen. Toepassing van besliskundige technieken ter verbetering van de bedrijfszekerheid van mechanische en elektronische systemen d.m.v. onderhoud en vervanging gaat terug tot de begintijd van de besliskunde. Sinds de zestiger jaren is het aantal besliskundige publicaties, die betrekking hebben op de analyse van bedrijfszekerheidsvraagstukken zeer groot. In overzichtsartikelen van Pierskalla en Voelker (1976) en Sherif en Smith (1981) komen ruim 600 publicaties op dit terrein voor. Desalniettemin is er geen toepassingsgebied van de besliskunde, waar de kloof tussen theoretische modellen en praktische toepassingen zo groot is als op het terrein van het onderhoud. Dit is zeker de theoretici aan te wijven, waar ze zich bij hun modelvorming te veel hebben laten verleiden tot mathematische variaties op bestaande thema's i.p.v. zich te laten inspireren door concrete bedrijfssituaties. Anderzijds moet worden geconstateerd dat onderhoudsvraagstukken in de zestiger en zeventiger jaren zich nauwelijks konden verheugen in enige serieuze belangstelling van de kant van het management. Onderhoud en vervanging werden als een onvermijdelijk en noodzakelijk kwaad ervaren, zonder dat het besef aanwezig was, dat hier iets valt te besturen. Terwijl de ontwikkeling op het terrein van de produktie nauwelijks viel bij te houden, werd aan onderhoudsmanagement weinig aandacht besteed.

Inmiddels is op dit punt een kentering waarneembaar. Hiervoor zijn verschillende oorzaken aan te wijzen, waarvan ik er drie noem. In de eerste plaats is een toenemende belangstelling ontstaan voor onderhoud vanwege de daarmee samenhangende veiligheidsaspecten. In dit verband hoeft slechts te worden gewezen op de grote gevolgen van storingen in de technische uitrusting van vliegtuigen. Het vrij grote aantal calamiteiten dat zich de laatste jaren in de luchtvaart heeft voorgedaan en waarvan een deel naar alle waarschijnlijkheid te wijten is aan technische oorzaken, heeft de belangstelling voor onderhoudsmanagement in deze branche sterk doen toenemen. In de tweede plaats dient te worden gewezen op de toegenomen economische betekenis van het onderhoud. Waar door de voortschrijdende automatisering het aantal arbeidsplaatsen in de produktiesector nauwelijks is toegenomen, is in het onderhoud een sterke stijging van de werkgelegenheid waarneembaar. Daar de onderhoudsbehoefte sterk wordt bepaald door het toevallige karakter van storingen, heeft automatisering hier tot op heden minder invloed gehad dan in de produktie. Op de Shell raffinaderijen in Pernis is ongeveer een derde deel van het personeel werkzaam in de onderhoudssfeer. Both (1989) refereert in zijn proefschrift in dit verband aan

een onderzoek van Malmholt (1988), waarin wordt geconcludeerd dat in Zweden in de periode 1971 tot 1981 de werkgelegenheid in de produktie toegenomen is met ongeveer 0.5%, terwijl het aantal mensen werkzaam in het onderhoud steeg met ruim 10% en in de procesindustrie zelfs met 30 - 35%. Als laatste en zeker niet onbelangrijkste oorzaak voor de toegenomen aandacht voor onderhoudsmanagement noem ik het doorbrekend besef dat door middel van goede preventieve onderhoudsplanning grote besparingen in de exploitatie zijn te bereiken. Juist door de enorme bedragen die thans met onderhoud zijn gemoeid (in Nederland kan rond de 12% van het nationaal inkomen aan onderhoudsuitgaven worden toegeschreven) kunnen verbeteringen van de onderhoudsstrategieën bijzonder lucratief zijn.

Uit het bovenstaande is duidelijk dat de omstandigheden voor een nauwere samenwerking tussen theoretici en praktijkmensen op het terrein van de bedrijfszekerheid bijzonder goed zijn. Hierbij moet worden aangetekend dat de vertaalslag van model naar toepassing in de bedrijfszekerheid moeilijker is dan in de eerder beschreven wachttijdsituaties. In het wachttijdmodel wordt de toestand van het systeem immers beschreven met het aantal wachtende klanten in het systeem, een fysisch direct meetbare grootheid. In bedrijfszekerheidssituaties echter wordt de toestand van het systeem beschreven met de conditie van de onderdelen die voor onderhoud in aanmerking komen. De identificatie van de onderscheiden condities vormt veelal een probleem op zich.

Eén van de aspecten die in de theoretische modelformuleringen tot nu toe weinig aandacht heeft gekregen is het aspect van het gelegenheidsonderhoud. Onderhoud is ondermeer te onderscheiden in correctief onderhoud (noodzakelijk tengevolge van falen van het systeem) en preventief onderhoud (gericht op het voorkomen van het falen van het systeem). In de praktijk verdient het veelal de voorkeur preventief onderhoud uit te voeren op speciale tijdstippen of bij speciale gelegenheden. In de procesindustrie zal preventief onderhoud bij voorkeur worden uitgevoerd tijdens een geplande produktiestop of tijdens een periode waarin de produktie toch al stil ligt tengevolge van storingen of omschakeling van de produktieinstallatie op de fabricage van andere produkten. In computersystemen ligt uitvoering van preventief onderhoud tijdens perioden met lage systeembelasting voor de hand.

Ook op het terrein van de bedrijfszekerheid vormt het onderzoek naar de structuur van optimale strategieën een belangrijke stap bij het ontwerp van prak-

tische onderhoudsregels. Aangezien optimale beslisregels voor eenvoudige modellen al snel een vrij ingewikkelde structuur blijken te hebben, (Ozekici (1988) en Van der Duyn Schouten en Vanneste (1989)) zal het onderzoek zich hier vooral moeten richten op het ontwerp en de prestatie-analyse van goed gestructureerde onderhoudsstrategieën, die zich lenen voor implementatie in de praktijk.

Dames en heren,

Met het voorgaande, een kleine greep uit de aandachtsgebieden binnen de besliskunde en de bedrijfseconometrie, hoop ik U een indruk te hebben gegeven van deze vakgebieden, hun onderlinge samenhang en verschillen. Belangrijke toepassingsgebieden als de produktie - en voorraadbesturing en optimalisering van financieel beheer zijn daarbij onbesproken gebleven. Ontdekken, benutten en analyseren van structuren in complexe beslissingssituaties vormt een van de centrale thema's in de besliskunde en de bedrijfseconometrie. Door toepassing van besliskundige technieken en bedrijfseconometrische analyses kunnen we greep krijgen op ingewikkelde bedrijfsproblemen en als zodanig dragen deze vakgebieden bij aan een efficiënte inzet van direkte en indirecte produktiefactoren.

De wiskunde is hierbij nadrukkelijk aanwezig. Of dit voor de wiskunde zelf profijtelijk is, is overigens nog maar zeer de vraag. Een toenemende erkenning van de betekenis van de wiskunde voor vele andere disciplines gaat gepaard met een verontrustende daling van de belangstelling voor dit vakgebied zelf. Maatschappelijk lijkt interesse in de wiskunde nog slechts geaccepteerd te worden indien ze gemotiveerd wordt vanuit technische en economische toepassingen.

Dames en heren,

Als U soms denkt, dat ik het geven van onderwijs en het verrichten van onderzoek in de besliskunde en bedrijfseconometrie leuk vind, dan hebt U gelijk. Uit het voorgaande moge ook duidelijk zijn, dat er naar mijn mening in de opleiding ruime aandacht dient te zijn voor de toepassingsmogelijkheden van deze vakgebieden. Anderzijds dienen wij bij voortduring ervoor beducht te zijn de kritisch vormende waarde van een wetenschappelijke opleiding prijs te geven aan een overdreven zucht naar praktisch nut. Waar de motivatie voor een universitaire studie bepaald wordt door het arbeidsmarktperspektief en de levensvervulling van wetenschappers afgemeten wordt aan de lengte van de publicatielijst, is de universiteit verworden tot een produktiebedrijf waar mensen niet langer gevormd worden voor de maatschappij, maar aangepast worden aan de behoeften van het bedrijfsleven.

Hooggeleerde Hordijk, hooggeleerde Tijms,

Aan U beiden heb ik voor een belangrijk deel mijn besliskundige vorming te danken. Uw beider belangstelling voor de combinatie van besliskunde en toegepaste waarschijnlijkheidsrekening alsmede de hoge eisen die U stelt aan de zuiverheid en helderheid van een wiskundige bewijsvoering zullen een blijvende invloed op mijn wetenschappelijke activiteiten hebben. De samenwerking met U beiden sinds 1975 heb ik altijd als bijzonder inspirerend ervaren en zoals U uit mijn betoog hebt begrepen bepalen de terreinen waarop deze samenwerking plaatsvond nog altijd voor een belangrijk deel mijn onderzoeksactiviteiten.

Hooggeleerde Boxma,

Het voordeel van het houden van een inaugurale rede twee jaar na datum van aanstelling is, dat ik nu niet alleen kan zeggen, dat ik mij van onze samenwerking veel voorstel, maar dat ik daaraan kan toevoegen, dat deze verwachting alleszins gerechtvaardigd is gebleken. Ik beschouw het als een voorrecht de leerstoel Besliskunde en Bedrijfseconometrie met U te mogen delen. Uw grote kennis van de wachttijdtheorie, Uw heldere betoogtrant en Uw bestuurlijke inzicht zijn van groot belang voor het onderwijs en onderzoek in onze werkeenheden gebleken. Daarnaast acht ik de contacten met het Centrum voor Wiskunde en Informatica van grote wetenschappelijke betekenis voor het onderzoek binnen onze vakgroep.

Leden van de vakgroep Econometrie,

Samen met wiskundigen, statistici, wiskundig economen, algemeen econometristen, besliskundigen en bedrijfseconometristen vorm geven aan een coherent onderwijs- en onderzoekprogramma is een enerverende maar evenzeer boeiende bezigheid. U kunt in dezen op mijn volle inzet rekenen. Dat U mij na een verblijf van amper twee jaar in Uw midden tot het voorzitterschap van onze vakgroep hebt geroepen beschouw ik als een blijk van vertrouwen. Ik ben U daarvoor dankbaar, maar het was echt niet nodig geweest.

Leden van de werkeenheid Besliskunde en Bedrijfseconometrie,

Met een betrekkelijk kleine groep staan we voor een omvangrijke taak: inhoud geven aan het onderwijs en onderzoek in zowel de besliskunde als de bedrijfs-econometrie. Dit zal niet gaan zonder een hoge mate van inzet, flexibiliteit en onderling begrip en vertrouwen. Binnen onze werkeenheid bestaat bij uitstek de gelegenheid aan te tonen, dat het samengaan van wiskundige theorievorming en analyse enerzijds en praktijktoepassing anderzijds niet alleen op papier mogelijk is. De achterliggende periode van twee jaar, waarin onder allesbehalve ideale omstandigheden veel goede initiatieven zijn ontplooid, geeft een goede verwachting voor de toekomst.

Dames en heren studenten Bedrijfseconometrie,

De bedrijfseconometrische opleiding in Tilburg wil voluit wetenschappelijke opleiding zijn en blijven. Daar de inbreng van bedrijfstoepassingen sterk is, dienen wij er bij voortduring voor te waken, dat Uw opleiding niet devalueert tot het aanleren van een aantal technieken met hun imposante toepassingsmogelijkheden. Ik acht het allereerst mijn taak U behulpzaam te zijn bij het ontwikkelen van een kritische instelling, waarmee U zelfstandig kwantitatieve modellen en technieken op hun merites kunt beoordelen.

Dames en heren studenten Besliskunde,

Ik ga ervan uit, dat U niet alleen beschikt over een gezonde belangstelling voor de toepassing van de wiskunde in een bedrijfseconomische omgeving, maar dat U zich daarnaast ook wilt laten bekoren door de schoonheid van de wiskunde. Ik hoop U daarvan ook in mijn colleges iets te laten zien.

Chris,

De inhoud van mijn vakgebied heb ik proberen toe te lichten aan de hand van twee toepassingen, die zich laten typeren door de woorden: wachten en onderhoud. Zonder jouw uitstekende kwalificaties ondermeer op deze terreinen zou de uitoefening van mijn functie mij onmogelijk zijn.

Daarbij is het voor mij van grote betekenis te weten, dat wij de motivatie als ook de relativering van ons beider dagelijks werk ontleen aan dezelfde bron: het vertrouwen op God die leeft in alle eeuwigheid, die ons in zijn zoon Jezus Christus reddend nabij is gekomen en wiens toekomst wij verwachten.

Ik dank U voor Uw aandacht.

LITERATUUR.

- ACKOFF, R.L. (1987). O.R., a post mortem. Operations Res. 35, 471-474.
- BOTH, H. (1989). Onderhoud en faalgedrag van technische systemen. Academisch proefschrift. Technische Universiteit Eindhoven.
- BOXMA, O.J. and H.DADUNA (1989). Sojourn times in queueing networks. Research Report BS-R8916. Dept. of Operations Research, Statistics and System Theory, CWI, Amsterdam.
- DANTZIG, D.VAN (1957). Van "Reekeningh in spelen van geluck" naar besliskunde. Diesrede Universiteit van Amsterdam. Stadsdrukkerij Amsterdam.
- DE KOK, A.G., H.C.TIJMS and F.A.VAN DER DUYN SCHOUTEN (1984). Approximations for the single product production-inventory problem with compound Poisson demand and service level constraints. Adv.Appl.Prob.16, 378-401.
- EILON, S. (1987). O.R. is not mathematics. Omega 15, 87-92.
- FORTUIN, L. and M.ZIJLSTRA (1989). Operational Research in practice: experiences of an OR group in industry. Europ.J.of Oper.Res.41, 108-121.
- GROSS, D. and C.M.HARRIS (1985). Fundamentals of queueing theory (2e ed.). Wiley, New York.
- HANSEN, P. (1989). A short discussion of the OR- crisis. Europ.J. of Oper. Res.38, 277-281.
- KLEIJNEN, J.P.C. (1987). Statistical tools for simulation practioners. Dekker, New York.
- LU, F.V. and R.F.SERFOZO (1984). M/M/1 queueing decision processes with monotone hysteretic optimal policies. Oper. Res. 32, 1116-1132.
- MALMHOLT, O. (1988). Man in maintenance. Proceedings of Euro-Maintenance 1988, Finland.
- MC.CLOSKEY, J.F.(1987a). The beginnings of Operations Research: 1934-1941. Oper. Res. 35, 143-152.
- MC.CLOSKEY, J.F.(1987b). Britisch Operational Research in World War II. Oper. Res.35, 453-470.
- MC.CLOSKEY, J.F.(1987c). U.S. Operations Research in World War II. Oper. Res. 35, 910-929.
- OZEKICI, S.(1988). Optimal periodic replacement of multicomponent reliability systems. Oper.Res.36, 542-552.
- PIERSKALLA, W.P. and J.A.VOELKER (1976). A survey of maintenance models: the control and surveillance of deteriorating systems. Nav. Res. Logist. Quart. 23, 353-388.

- RINNOOY KAN, A.H.G.(1989). The future of Operations Research is bright. Europ.J.of Oper. Res. 38, 282-285
- SHERIF, Y.S. and M.L.SMITH (1981). Optimal maintenance models for systems subject to failure -a review. Nav.Res.Logist.Quart.28, 47-74.
- STIDHAM, S.Jr.(1985). Optimal control of admission to a queueing system. IEEE Trans.Autom.Control AC 30, 705-713.
- STIDHAM, S.Jr. and R.WEBER (1989). Monotonic and insensitive optimal policies for control of queues with undiscounted costs. Oper.Res. 37, 611-625.
- SZEKELY, G.J.(1986). Paradoxes in probability theory and mathematical statistics. Reidel, Dordrecht.
- TEGHEM, J.Jr.(1986). Control of the service process in a queueing system. Europ.J.of Oper.Res.23, 141-158.
- TIJMS, H.C.(1986). Stochastic modelling and analysis: a computational approach. Wiley, New York.
- VAN DER DUYN SCHOUTEN, F.A. and S.G.VANNESTE (1990). Analysis and computation of (n, N) -strategies for maintenance of a two component system. Europ.J. of Oper.Res., to appear.
- WHITT, W.(1986). Deciding which queue to join: some counterexamples. Oper.Res. 34, 55-62.

Ontvangen: 21-11-1989
Geaccepteerd: 21-11-1989