

Milieubewust Ketenbeheer: Een interactie tussen Operations Research en Milieu

Jacqueline M. Bloemhof-Ruwaard

Samenvatting

Economische groei komt steeds vaker in conflict met de zorg voor een goed leefklimaat voor nu en later. Hierdoor wordt het steeds belangrijker om naast economische doeleinden ook rekening te gaan houden met milieubelangen. Veranderingen in de industriële keten zijn nodig om de hoeveelheid afval en emissies aan het eind van de keten te verminderen en om het gebruik van niet-vervangbare of schadelijke grondstoffen aan het begin van de keten te verminderen. Deze veranderingen worden besproken in drie fasen: (i) aan het begin van de keten, (ii) binnen de keten en (iii) aan het eind van de keten. Het doel van dit artikel is om te laten zien hoe milieu-aspecten een rol kunnen spelen binnen een industriële keten en hoe dit van invloed is op enerzijds de aanpak van milieu-problemen en anderzijds het gebruik van Operations Research methoden en technieken.

Drs. J.M. Bloemhof-Ruwaard
Centrum voor Milieu-en Klimaatstudies (CMKW)
Landbouw Universiteit Wageningen
Postbus 9101
6700 HB Wageningen
Tel. 08370-83340 (b.g.g. 84812)
E-mail: BLOEMHOF@RCL.WAU.NL

1 Introductie

Sinds een aantal jaren staat het milieu volop in de belangstelling. De economische belangen komen steeds meer in conflict met de zorg voor een duurzaam milieu. Om zorg te dragen voor een leefbaar milieu in de komende eeuw(en) is het van belang om doelstellingen opnieuw in overweging te nemen, bijvoorbeeld op het gebied van productie en logistiek. Van oudsher komen beslissingen op dit terrein hoofdzakelijk tot stand op basis van verbetering van efficiency en effectiviteit. Door de toegenomen aandacht voor het milieu zal, naast deze criteria, het verminderen van de hoeveelheid afval, energiegebruik en emissies steeds belangrijker worden.

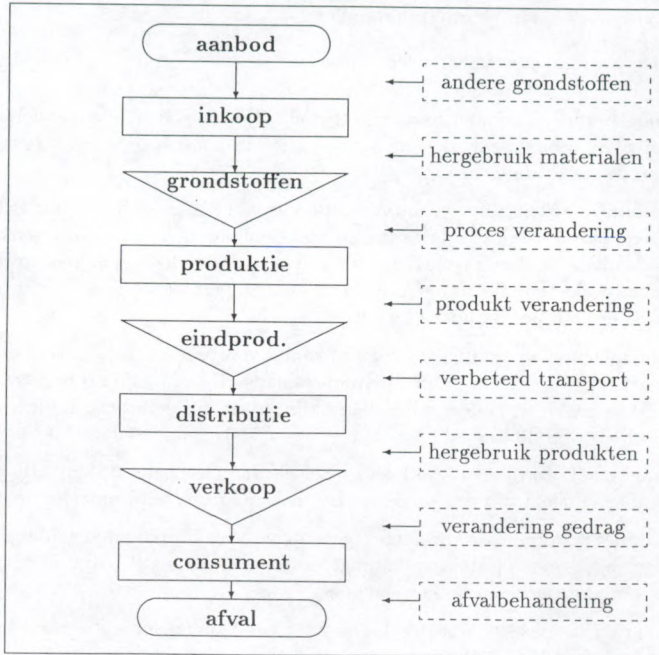
Ook in het vakgebied van de Operations Research stijgt de belangstelling voor het onderwerp 'Milieu' snel. Van Beek e.a. (1991) hebben gedemonstreerd hoe Operations Research een belangrijke rol kan spelen bij het visualiseren en oplossen van milieu-problemen. In 1992 is er een themanummer verschenen van OR/MS Today onder de titel 'Reflections on OR and the Environment'. Een belangrijke conclusie uit dit themanummer is dat de mogelijkheden voor Operations Research aanzienlijk zijn. Milieu-problemen zijn relevant, de kosten om ze op te lossen zijn enorm. Omdat onze bronnen - natuurlijke bronnen en geldbronnen - beperkt zijn, is het essentieel om slim na te denken en een goed plan te maken voor het omgaan met milieuproblemen. Een goed analyse-instrument is hierbij onmisbaar (Talcott, 1992).

Naast de interactie tussen OR en milieu op het gebied van milieuproblemen in het algemeen, zoals zure regen en broeikaseffect, is er ook de interactie tussen OR en milieu wat betreft het integreren van milieu-aspecten in de economische activiteiten van bedrijven. De wet- en regelgeving op het gebied van afvalverwerking en emissie-uitstoot heeft een grote invloed op de bedrijfsvoering van ondernemingen. Als bedrijven niet adequaat reageren, zullen kosten voor de onderneming vaak stijgen; producten, processen, goederenstromen en besturing zullen moeten veranderen. Hierdoor zullen ook beslissingen omtrent productieplanning, logistiek, voorraadbeheer, etc. veranderen. Deze beslissingen worden vaak genomen met behulp van een beslissingsondersteunend systeem (DSS), dat ontwikkeld is zonder rekening te houden met milieu-invloeden. Door nu milieu-aspecten te integreren in deze modellen kunnen de kosten van de verbeteringen op milieugebied vanaf het begin meespelen in de overwegingen, en niet als een externe kostenpost boven op de normale bedrijfskosten komen. Een voorbeeld hiervan is te vinden in Bodily and Gabel (1982), waar een Amerikaans staalbedrijf de luchtvervuiling moet reduceren. Door het lineaire programmeringsmodel te gebruiken dat geïnstalleerd is voor de productieplanning, vindt men dat het opvolgen van de 'end-of-pipe' bestrijdingsmaatregelen zoals vereist, niet efficiënter is dan het aanpassen van de produktsamenstelling en het productieplan om aan de vervuilingnormen te voldoen.

2 Milieubewust ketenbeheer

Bij elke stap in de keten, van het winnen van grondstoffen via produktiestappen en consumptie tot en met de afvalverwijdering, vinden emissies naar het milieu plaats, die een

bedreiging kunnen worden voor mensen, planten, dieren en ecosystemen. Om deze milieu-emissies te beperken, zijn veranderingen in het productie- en consumptiegedrag nodig. Het beleid van de overheid en de 'groene' voorkeur van de consumenten dwingen bedrijven om meer en meer verantwoordelijkheid te nemen voor hun produkten, zelfs na verkoop en levering. In deze situatie zullen producenten over moeten gaan naar een 'van wieg tot graf' produktenbeleid om de milieu-bijdrage van hun produkten te analyseren en verminderen. In figuur 1 worden een aantal mogelijkheden van integraal ketenbeheer gegeven om de schade aan het milieu te minimaliseren (Van der Meer e.a., 1991), namelijk:



Figuur 1: Milieubewust ketenbeheer

1. het aanpassen van grondstofgebruik, zodat minder schaarse of minder slechte grondstoffen worden gebruikt zonder dat het produkt ongewenste eigenschappen krijgt;
2. het hergebruiken van afvalmateriaal dat tijdens het productieproces ontstaat, hetzij in hetzelfde proces of in een ander productieproces;
3. het veranderen van het productieproces zodat er minder energie verloren gaat, of hergebruikte materialen makkelijker ingepast kunnen worden;

4. het aanpassen van de produktkwaliteit: langere levensduur, gemakkelijk te 'ontmantelen', minder schadelijk in de afvalfase;
5. het verbeteren en verminderen van transport: verminderen van stank- en lawaaioverlast, veilig vervoer gevaarlijke stoffen, combineren van produkt en afvalstromen;
6. het beïnvloeden van consumentengedrag, zodat men bereid is om milieu-vriendelijker produkten te kopen;
7. het recycelen van gebruikte produkten;
8. het verwerken en behandelen van afval.

Deze mogelijkheden kunnen zowel effectgericht zijn (recycling, afvalverwerking), maar ook structureel en brongericht zoals de aanpassingen in het inkoopbeleid, het productieproces en de produktkwaliteit.

Het productie-distributie-consumptie proces is een klassieke bron voor bekende OR-toepassingen zoals routing, scheduling, productieplanning, netwerkoptimalisatie, voorraadbeheer, lokatie etc. Deze toepassingen kunnen onder de loep genomen worden om te zien hoe milieu-aspecten effectief geïntegreerd kunnen worden en hoe deze integratie de modelstructuur en oplosmethodes beïnvloedt.

In de nu volgende paragrafen worden een aantal voorbeelden gegeven van de integratie van milieu-aspecten binnen bekende OR-toepassingen. De bedoeling is niet om een uitgebreid overzicht te geven van alle studies die er zijn, maar om de lezer een idee te geven van de mogelijkheden op dit gebied.

In paragraaf 3 wordt een voorbeeld gegeven van het gebruik van OR bij het milieu-vriendelijker maken van een produkt. Het gaat hier om een brongerichte aanpak.

In paragraaf 4 worden voorbeelden gegeven van hergebruik van produkten en materialen, en de gevolgen voor productieplanning, voorraadbeheer en distributie-netwerken. Hier is sprake van aanpassingen binnen de keten.

In paragraaf 5 tenslotte wordt gekeken naar het behandelen en verwerken van afval aan het einde van de keten. Het gaat hier om een effectgerichte aanpak.

3 Produktsamenstelling

Als voorbeeld van een brongerichte aanpak van emissie-beperking is gekozen voor een studie die recent is uitgevoerd bij Unilever (Vis e.a., 1994). Voor sommige produkten kan gekozen worden uit verschillende grondstoffen zonder dat de eigenschappen van de produkten wezenlijk veranderen. Een LP-model kan hier gebruikt worden om de goedkoopste samenstelling van het produkt te bepalen op basis van inkoop- en verwerkingskosten en kwaliteitseisen aan het produkt. Goedkoop betekent echter niet vanzelfsprekend ook met de minste milieubelasting. Om het samenstellen van het produkt nu milieu-vriendelijker te maken, is er een maatstaf nodig voor iedere grondstof, zodat de milieu-bijdrage van een grondstof gemeten kan worden. Deze milieu-maatstaf of

'milieu-index' kan ontwikkeld worden door gebruik te maken van levenscyclus-analyses en multicriteria-beslistings-analyse.

Voor iedere grondstof kan een levenscyclus-analyse (LCA) worden uitgevoerd: waar komt een grondstof vandaan, welke processtappen zijn voorafgegaan aan het maken van het produkt, en welke gevolgen heeft dit alles voor het milieu. In iedere stap van grondstof tot produkt wordt gekeken welke emissies er plaatsvinden, hoeveel energie er wordt gebruikt, en hoeveel afval er ontstaat. Deze emissies kunnen geaggregeerd worden, zodat er voor een geheel keten van processen een lijst van emissies, afvalstoffen en energiegebruik bekend is. Het Centrum voor Milieukunde Leiden heeft een methode uitgewerkt waarbij iedere emissie een bepaalde waarde krijgt voor verschillende milieuproblemen, zoals verzuring, vermesting of het broeikas-effect (CML, 1992). Om nu tot één milieu-index te komen, kunnen we gebruik maken van multicriteria-beslistings-analyse. Deze methode is in dit geval nuttig, omdat de diverse milieuproblemen anders beoordeeld kunnen worden door de verschillende belanghebbenden.

Op deze manier kan naast een 'kostenvriendelijk' produkt ook een 'milieu-vriendelijk' produkt worden samengesteld. Voor beide soorten kunnen de kosten en de milieu-waarde berekend worden. De uitkomsten zijn vaak heel verrassend; voor veel produkten stijgen de kosten gering (1 à 2 procent), terwijl er al een enorme verandering in de effecten op het milieu plaats vindt (soms tot 30%). Het is nu mogelijk een afweging te maken tussen kostenminimalisatie en milieubesparing. Ook is het voor de beslissers duidelijker wat het kost om grondstoffen te wijzigen en aan welke milieuproblemen minder wordt bijgedragen. Door het combineren van bovenstaande methoden is het mogelijk geworden om concreter na te denken over wijzingen in grondstof gebruik, en de consequenties voor bedrijfsvoering en milieu goed te kunnen analyseren. Het is duidelijk dat in deze brongerichte aanpak OR-modellen slechts een aanvullende rol spelen. De essentie van de aanpak ligt in het analyseren en kwantificeren van de milieu-bijdrage van een produkt.

4 Hergebruik

Een voorbeeld van hergebruik van restmateriaal, dat tijdens het productieproces ontstaat, is het bemesten van land met dierlijke mest. De afweging tussen de hoeveelheid land voor veeteelt of voor akkerbouw krijgt hierdoor een nieuwe dimensie (paragraaf 4.1).

Naast het hergebruik van restmateriaal, kunnen ook (delen van) produkten opnieuw worden gebruikt. Hetzij vrijwel direct na reparatie, of na een aantal produktiestappen. Het inzamelen en verwerken van de afgeschreven produkten door de fabrikant is van grote invloed op de logistieke processen binnen het bedrijf, bijvoorbeeld de productieplanning, het voorraadbeheer en de locatie van depots (paragraaf 4.2).

4.1 Farm Management

Eén van de oudste toepassingen van Operations Research is het toewijzen van grond aan verschillende landbouwactiviteiten, zoals het houden van vee of het verbouwen van graan.

Deze toewijzing vindt plaats op basis van de opbrengsten en kosten van iedere activiteit en de ruimte die nodig is.

In Bloemhof-Ruwaard en Hendrix (1993) wordt een voorbeeld gegeven hoe het toevoegen van de mogelijkheid van hergebruik, de modellering sterk doet veranderen. Het traditionele model kan geformuleerd worden als:

$$\max_x \sum_{i \in I} \gamma_i x_i$$

onder de voorwaarden:

$$Ax \leq b$$

$$x \geq 0$$

waarbij x_i het aantal hectares is waar de activiteiten i op plaatsvinden, en γ_i de bijbehorende winst per hectare. De matrix A vertegenwoordigt de coëfficiënten voor de benodigde hoeveelheid land, arbeid, of kapitaal, en de vector b geeft de aanwezige capaciteit aan land, arbeid en kapitaal.

Door het houden van vee, ontstaat er ook een hoeveelheid mest. Deze mest kan worden afgevoerd tegen een bepaald bedrag, maar kan ook dienen als vervanger van (dure) kunstmest. Dit scheelt inkoopkosten van kunstmest, maar ook afvoerkosten van de overschotmest. De mest mag echter alleen (her-)gebruikt worden, als de norm voor de hoeveelheid toegelaten mineralen zoals fosfaat en nitraat op een hectare grond niet overschreden wordt. Het uitgebreide model ziet er als volgt uit:

$$\max_{x,y} \sum_{i \in I} \gamma_i x_i + \sum_{i \in I} y_i \sum_{j \in I} \delta_j x_j \quad (1)$$

onder de voorwaarden:

$$Ax \leq b \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I} y_i \leq 1 \quad (3)$$

$$d_{ik} x_i - y_i \sum_{j \in I} q_{jk} x_j \geq 0 \quad i \in I, k \in K \quad (4)$$

$$x_i \geq 0 \quad i \in I \quad (5)$$

$$0 \leq y_i \leq 1 \quad i \in I \quad (6)$$

De extra variabele y_i geeft de fractie aan van de geproduceerde mest, die op het land met activiteit i (her-)gebruikt wordt. Het voordeel van het hergebruik van mest in plaats van verwijderen wordt aangegeven met de parameter δ . Deze is gedefinieerd als de contributie aan de kostenbesparing als de mest wordt hergebruikt. Deze besparing is afhankelijk van de hoeveelheid mineralen (nuttige bouwstoffen) in de mest. Het extra stuk in de doelfunctie (1) representeert dus de financiële voordelen van hergebruik. In restrictie (2) blijven de traditionele voorwaarden gehandhaafd. Restrictie (3) geeft aan dat er niet meer mest hergebruikt kan worden, dan er geproduceerd is. Het hergebruik van mest is echter niet onbeperkt toegestaan. De overheid heeft om milieuredenen (overbemesting) een grens gesteld aan de hoeveelheid mineralen die op een hectare mogen worden gebruikt. De parameter d_{ik} geeft de toegelaten hoeveelheid mineralen k op het land met activiteit i . Tenslotte is q_{jk} de concentratie aan mineralen k die zich in de mest bevindt, veroorzaakt door activiteit j . Restrictie (4) zorgt er voor, dat de hoeveelheid mineralen in de

hergebruikte mest de toegelaten norm niet overschrijdt.

Het modelleren van de mogelijkheid van intern hergebruik in het (lineaire) farm-management model, leidt tot een bilineair model dat meerdere lokale optima kan hebben. Het bestuderen van deze modellen en het vinden van oplosmethoden die tot globale optima leiden is een relatief nieuw onderzoeksgebied binnen de Operationele Research dat sinds 1980 door een beperkt aantal mensen wordt bestudeerd.

4.2 Logistiek

Hergebruik van produkten heeft voornamelijk consequenties voor de logistieke processen binnen de keten. Als het voor producenten verplicht gaat worden om verpakkingen en kapotte of afgeschreven produkten terug te nemen van de consument (zoals in Duitsland al het geval is), wordt de terugstroom van consument naar fabrikant steeds belangrijker en moeten deze restprodukten verwerkt of gerecycled worden zodat ze opnieuw een economische waarde krijgen.

Een voorbeeld van de consequenties van recycling voor produktieplanning en voorraadbeheer is te vinden in Van der Laan e.a. (1994). In traditionele modellen voor produktieplanning en voorraadbeheer wordt in het algemeen gezocht naar een optimale strategie voor het bepalen van een order-tijdstip en bestelgrootte, bijvoorbeeld de zgn. (s, Q) modellen. Het toevoegen van recycling heeft tot gevolg dat gezocht moet worden naar een strategie die ook bepaalt welk gedeelte van de teruggebrachte produkten wordt hergebruikt en wanneer, en welk gedeelte als afval wordt beschouwd. Deze beslissing hangt direct samen met de beslissing hoeveel (nieuwe) materialen besteld worden en wanneer. In dit voorbeeld is de rol van OR al een stuk duidelijker. Bij het zoeken naar een goede strategie kunnen produktieplanningsmodellen een belangrijk hulpmiddel zijn. De moeilijkheid is hier gelegen in de grote mate van onzekerheid die optreedt bij het voorspellen van de aanvoer van gebruikte produkten.

Een ander voorbeeld van de gevolgen van hergebruik is te vinden in Thierry e.a. (1993). Hier worden netwerk/distributie modellen gebruikt om te bepalen welke verzamel- en verwerkingsstrategie het beste past bij een specifiek bedrijf. Het bestaande distributienetwerk van een bedrijf is van invloed op, en zal zelf ook beïnvloed worden door, de manier van verzamelen en de mate van verwerken van gebruikte produkten.

5 Afvalverwerking

Traditionele lokatiemodellen worden al sinds 1950 gebruikt om de lokaties voor fabrieken of depots te bepalen, rekening houdend met de vraag van de klanten, de transport afstanden en de vaste kosten voor het openen van een depot. Deze problemen zijn als volgt te modelleren:

$$\min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} a_{ij} X_{ij} + \sum_{i \in I} f_i Y_i \quad (7)$$

onder de voorwaarden:

$$\sum_{i \in I} X_{ij} = d_j \quad j \in J \quad (8)$$

$$\sum_{j \in J} X_{ij} \leq s_i Y_i \quad i \in I \quad (9)$$

$$Y_i \in \{0, 1\} \quad i \in I \quad (10)$$

$$X_{ij} \geq 0 \quad i \in I, j \in J \quad (11)$$

De doelfunctie (7) beschrijft het totaal aan transportkosten van alle depots i naar alle klanten j plus de vaste kosten voor ieder depot i . De variabele X_{ij} geeft de stroom aan van depot i naar klant j . De binaire variabele Y_i representeert het open of dicht zijn van een depot. In restrictie (8) wordt gegarandeerd dat elke klant alle produkten ontvangt, die besteld zijn. Restrictie (9) geeft de capaciteitsbeperking voor ieder depot.

Als nu ook de kosten voor afvoer en verwerking van afval, ontstaan tijdens het productieproces, worden meegenomen, verandert het probleem als volgt: hoe kunnen lokaties van depots, en tegelijkertijd lokaties van afvalverwerkingseenheden worden gekozen, zodat zowel de kosten van het hoofdprodukt (transportkosten van depot naar klant en vaste kosten voor opslag) als de kosten van de afval (transportkosten van depot naar verwerkingseenheid en vaste kosten voor verwerking) geminimaliseerd worden:

$$\min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} a_{ij} X_{ij} + \sum_{i \in I} f_i Y_i + \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} a_{ik}^w X_{ik}^w + \sum_{k \in K} f_k^w Y_k^w \quad (12)$$

onder de voorwaarden:

$$\sum_{i \in I} X_{ij} = d_j \quad j \in J \quad (13)$$

$$\sum_{j \in J} X_{ij} \leq s_i Y_i \quad i \in I \quad (14)$$

$$\sum_{j \in J} e_i X_{ij} = \sum_{k \in K} X_{ik}^w \quad i \in I \quad (15)$$

$$\sum_{i \in I} X_{ik}^w \leq s_k^w Y_k^w \quad k \in K \quad (16)$$

$$Y_i, Y_k^w \in \{0, 1\} \quad i \in I, k \in K \quad (17)$$

$$X_{ij}, X_{ik}^w \geq 0 \quad i \in I, j \in J, k \in K \quad (18)$$

In dit model is er sprake van twee groepen variabelen: de 'produkt-variabelen' X_{ij} en Y_i en de 'afval-variabelen' X_{ik}^w en Y_k^w . De laatste variabele is wederom een 0-1 variabele, die aangeeft of een afvalverwerkingseenheid open is of niet. Naast de kosten voor produkt-opslag en transport zijn in de kostenfunctie (12) nu ook de opslag en transportkosten voor afval opgenomen. De voorwaarden voor het oorspronkelijke probleem blijven gehandhaafd in (13) en (14). Vergelijking (15) is een balansvergelijking, die aangeeft dat de hoeveelheid afval die uit een depot verwijderd moet worden gelijk is aan een fractie e_i van de totale produktstroom vanuit depot i . Tenslotte wordt in restrictie (16) de capaciteitsbeperking van de afvalverwerkingseenheden k aangegeven.

Dit model heeft aanleiding gegeven tot het testen en aanpassen van bestaande oplosmethoden en heuristieken op het gebied van lokatie-theorie, maar ook tot nieuwe ideeën

gebaseerd op de specifieke structuur van het model (Bloemhof-Ruwaard e.a., 1992 en 1993). Een overzicht van de literatuur over locaties en transport van afval is te vinden in List e.a. (1991).

De effect-gerichte aanpak van afvalverwerking heeft tot gevolg dat alleen de laatste schakels in de keten (distributie en afvalverwerking) beïnvloed worden. Dit maakt dat bestaande locatie- en routeringsmodellen vaak al goed te gebruiken zijn om het afvalverwerkingsprobleem op te lossen.

6 Slotopmerkingen

Het feit dat bovenstaande voorbeelden slechts enkele aspecten uit de logistieke keten beschrijven, maakt duidelijk dat er nog veel werk te doen is op het gebied van integratie van milieu aspecten in beslissingsondersteunende modellen en technieken.

Ik hoop met deze voorbeelden duidelijk gemaakt te hebben dat het mes aan twee kanten snijdt. Aan de ene kant biedt de integratie van milieu-aspecten in traditionele Operations Research modellen een verrijking aan nieuwe methodieken en toepassingen. Aan de andere kant blijkt het gebruik van Operations Research technieken bij het integreren van milieu doeleinden een goed hulpmiddel te zijn om concreter na te denken over de consequenties van deze doeleinden voor de bedrijfsvoering.

Literatuur

Beek, P. van, L. Fortuin, en L.N. Van Wassenhove (1991), "Operations Research and Environment", INSEAD Working Paper 91/02/SM, Fontainebleau, France. Onder de Nederlandse titel "Operations Research en Milieu: een vruchtbare combinatie" verschenen in *De Ingenieur* 4 (1990), blz. 7-13.

Bloemhof-Ruwaard, J.M., en E.M.T. Hendrix (1993), "Generalized bilinear programming: an application in farm management", Rapport nr. 93.05, Centrum voor Milieu- en Klimaatstudies, Landbouw Universiteit Wageningen.

Bloemhof-Ruwaard, J.M., M. Salomon, en L.N. Van Wassenhove (1992), "On coordination of product and waste flows in distribution networks: model formulations and solution procedures", Management Report Series 110, Rotterdam School of Management, Erasmus Universiteit Rotterdam (zal binnenkort verschijnen in *the European Journal of Operations Research*).

Bloemhof-Ruwaard, J.M., M. Salomon, en L.N. Van Wassenhove (1993), "The capacitated distribution and waste disposal problem", Management Report Series 142, Rotterdam School of Management, Erasmus Universiteit Rotterdam.

Bodily, S.E., and L.H. Gabel (1982), "A new job for businessmen: managing the company's environmental resources", *Sloan Management Review* (zomer 1982), blz. 3-18.

CML (1992), *Milieugerichte levenscyclusanalyse van produkten; Handleiding*, Eindredactie R. Heijungs, CML Rapport 9253, Leiden.

Laan, E.A. van der, R. Dekker, A.A.N. de Ridder, M. Salomon and M. Thierry (1994), "Product remanufacturing and its effects on production and inventory control", Management Report Series 172, Rotterdam School of Management, Erasmus Universiteit Rotterdam.

List, G.F., P.B. Mirchandani, M.A. Turnquist, en K.G. Zografos (1991), "Modelling and Analysis for hazardous materials transportation: risk analysis, routing/scheduling and facility location", *Transportation Science* 25(2), 100-114.

Meer, G.J. van der, H.J.M. de Vries, D.J.W. Schoof, en L. Reijnders (1991), "Ketenbeheer, energie-extensivering, kwaliteit en omgaan met risico's". In: J.J. Boersema e.a. (red.), *Basisboek Milieukunde*, Boom Meppel, Amsterdam.

Talcott, F.W. (1992), "Environmental Agenda; The time is ripe for an analytical approach to policy problems", *OR/MS Today*, June 1992, 18-24.

Thierry, M.C., M. Salomon, J.A.E.E. van Nunen, en L.N. Van Wassenhove (1993), "Strategic production and operations management issues in product recovery management", Management Report Series 145, Rotterdam School of Management, Erasmus Universiteit Rotterdam.

Vis, J.C., H.G. Koudijs, en J.M. Bloemhof-Ruwaard (1994), "Environmental impacts of fat blends; A methodological study combining Life Cycle Assessment, Multi Criteria Decisions Analysis and Linear Programming", Intern Unilever rapport.

Ontvangen: 19-4-1994

Geaccepteerd: 1-8-1994