

Een planningssysteem voor het transport van gemengde ladingen

M.P. Reinders
M.F.M. Janssens
J.W.P.M. Vogels

Afdeling Systeemkunde,
Instituut voor Agrotechnologisch
Onderzoek ATO (ATO-BLO)
Postbus 17, 6700 AA Wageningen
tel. 08370-75064, fax. 08370-12260
e-mail janssens@ato.agro.nl

Referaat

De planning van het transport van gemengde ladingen is een complex proces, niet alleen door de veelheid van factoren die een rol spelen, maar ook doordat discrete processen (belading) en continue processen (klimaat, produktkwaliteit) in principe niet-separabel zijn. Dit probleem vergt een systematische aanpak, waarbij door een combinatie van modelvorming op het gebied van belading, klimaat en produktkwaliteitsimulatie, distributie, en concrete experimenten specifieke oplossingen berekend kunnen worden. De oplossingsmethoden worden gecombineerd in een Decision Support Systeem dat exporteurs kan ondersteunen bij hun planning.

Inleiding

De Nederlandse groente- en fruitsector exporteert per jaar voor 4 miljard gulden groente en 1.5 miljard gulden fruit naar landen binnen Europa. Het grootste gedeelte hiervan (40%, 150 ton/dag) wordt verhandeld door 6 grote exporteurs, het overige gedeelte door 30-35 kleinere exporteurs die per dag 25-75 ton groente- en fruitprodukten exporteren. Gezien de grote variëteit aan produkten die in de Europese landen wordt afgezet (Tabel 1) bestaat het merendeel van de transporten uit gemengde ladingen: de groente- en fruitprodukten worden tezamen in een transportmiddel (vrachtwagen of container, hierna uniform aangeduid met "container") vervoerd, ook al hebben agrarische produkten over het algemeen verschillende eisen ten aanzien van het optimale transportklimaat. Logistiek gezien echter is de combinatie van produkten tijdens het transport noodzakelijk. In de dagelijkse praktijk van de expeditie spelen vele aspecten hierbij een rol. Grote hoeveelheden, min of meer bederfelijke produkten moeten naar vele klanten getransporteerd worden, vaak in een korte tijd. Zaken als routing, belading, produkt-transport interacties, produkt-container beïnvloeding en koelmachine-lading interactie zorgen voor behoefte aan goede planning. Ruwweg kan het probleem geschetst worden als:

input:

- produkten
- vrachtvervoerfaciliteiten
- geografische informatie
- markt/klant gegevens

- lokale regelgeving (rijtijden, vrachtcombinatie lengte)
- eigenschappen conditioneringsfaciliteiten
-

planning:

- toewijzing produkten aan containers (belading)
- toewijzen containers aan klanten
- optimale routing
-

output:

- juiste produkten
- op juiste moment
- in juiste conditie
- op juiste plaats
-

Zonder de dagelijkse gang van zaken in detail te bespreken kan gesteld worden dat dit planningprobleem zowel op tactisch als op operationeel niveau uiterst complex is. Vanuit het oogpunt van ondersteuning in dit planningproces is een meer modelmatige beschrijving een hulpmiddel dat de bespreekbaarheid van het probleem vergroot en vervolgens een aanzet om tot verbetering van de planning te komen.

In de nu volgende paragraaf wordt een indruk gegeven van het planningprobleem in modelvorm. Vanuit het perspectief dat het hier handelt over een schets van de problematiek is de mathematische striktheid niet als uitgangspunt genomen. Vanzelfsprekend is in het echte planningssysteem deze striktheid wel gehanteerd. De ontwikkeling van dit systeem voor de exportplanner is

Tabel 1
Omvang exportmengelingen

Produkt	Tonnage	Omzet [MFI]	Topt [°C]	Ethyleen productie	Ethyleen gevoelig
Tomaat	617k	1360	11	+	
Paprika	130k	510	8		+
Komkommer	338k	620	13		+++
Uien	475k	250	1		
Appel	240k	370	2	+	+
Peer	86k	175	0	+	+
Druif	41k	131	2		
Aardbei	14k	74	1		+

opgebouwd uit een drietal stappen die achtereenvolgens aan de orde komen:

- modelontwikkeling;
- experimenten ter validatie en
- het ontwerp van een beslissingsondersteunend systeem (DSS).

Methoden

Om het probleem hanteerbaar te maken is een decompositie toegepast. Deze "uiteenrafeling" van het oorspronkelijke probleem komt op het volgende neer:

- a optimaliseer de multi-produkt containerbelading.
- b optimaliseer de transportlogistiek, de distributie, gebruikmakend van een scala aan "optimale" containerbeladingsvoorstellen.

Multi-produkt containerbelading

Het probleem van de containerbelading is als volgt te omschrijven:

"Stapel rechthoekige produkten (pallets, dozen, etc.) zodanig in een container (eveneens rechthoekig), dat de waarde van de container volgens een nader beschreven criterium maximaal is."

Met name dit criterium maakt de zaak erg complex. Stel dat een produkt, b.v. een pallet paprika's gekarakteriseerd wordt door breedte, lengte, hoogte en dat de waarde het volume is. Intuïtief is duidelijk kunnen volgen dat de container dan alleen maar "zo vol mogelijk" beladen zal worden. Indien de container afmetingen gehele veelvouden van de

"produkt" dimensies zijn, zullen er vele plaatsingsalternatieven zijn.

Als de waarde van het produkt niet meer recht-evenredig is met het volume, is de probleemstelling minder triviaal. Kleine, "hoogwaardige" produkten zullen dan vaak gestapeld worden. Grote, relatief laagwaardige produkten zullen niet of nauwelijks in de oplossing opgenomen zijn. Intuïtief zijn deze oplossingen weer uitstekend te volgen.

Immers, in een beperkte ruimte, veel kleine hoogwaardige produkten stapelen, als de waarde van de totale ruimte dient te worden geoptimaliseerd, lijkt een alleszins redelijke strategie.

Het stapelen krijgt in deze toepassing echter nog een extra dimensie. Sommige agrarische produkten staan bekend om het feit dat ze ethyleen (C₂H₄) gevoelig zijn, terwijl andere produkten juist ethyleen afscheiden. Ook de optimale zuurstof-, kooldioxide- en temperatuurinstelling wisselt per produkt. Verder is de locatie in de container, plus de "omgevingsprodukten" in hoge mate verantwoordelijk voor het "micro-klimaat" rond een produkt. Dit houdt in dat als een produkt wordt neergezet in een container, na verloop van tijd het klimaat in de gehele container veranderd.

Nu hoeft hier niet altijd rekening mee te worden gehouden, maar het geeft wel aan dat een "klassieke" aanpak tekort schiet. Immers, door deze situatie is het probleem niet meer "separabel": iedere beslissing beïnvloedt de kwaliteit van alle voorgaande beslissingen.

Om dit probleem aan te pakken is een heuristiek ontwikkeld. De basisgedachte is als volgt:

- deel de containervloer in met een raster;
- op ieder knooppunt staat een lokale statusvector. Deze vector geeft aan of de plaats geschikt is en zo ja, in welke mate voor een bepaald produkt;
- via 2- en 3-dimensionale dynamische programmering wordt nu een indeling gemaakt van de container;
- de alternatieven worden in het tweede beslissingsniveau gebruikt en gewogen.

In figuur 1 is de centrale gedachte van het algoritme opgenomen. In het algoritme is gebruik gemaakt van diverse "trucs" om de rekentijd te bekorten. De versnellingen zijn vooral gebaseerd op de symmetrie-aspecten tussen stroken, container en pallets. De genoemde heuristiek is geïmplementeerd in C, onder DOS.

De evaluatie van de waarde van een containerbelading moet naast de beladingsgraad ook rekening houden met de kwaliteit van de agrarische produkten. De kwaliteit immers staat in directe relatie tot de economische waarde van de gehele lading. Gedurende het transport zal de kwaliteit van een palletlading in de tijd veranderen als gevolg van de produkt-klimaat interactie. Deze interactie is afhankelijk van de positie van de pallet in de container en dus ook van de positie van de andere pallets. De parameters voor de produkt-klimaat interactie zijn:

- produktsoort (thermische eigenschappen, ethyleengevoeligheid, vochtproductie, verpakking)
- positie
- eigenschappen conditioneringinstallatie

LOOP x-richting

- stap Δx
- bepaal strook-breedte van de container

LOOP y-richting

- stap Δy
- pas produkt in
- bepaal waarde via DP
- strook-waarde = som van de geplaatste produkten

END y-LOOP

- bepaal waarde van gedeelte van de container via DP

END x-LOOP

Figuur 1

De plaatsingsheuristiek

(koelmachine, isolatie, ventilatie, scrubbers)

- begintemperatuur produkt
- buitentemperatuur
- logistieke acties (stopplaats = deur open)

In de praktijk vindt de belading van één container plaats aan de hand van "expert" of ervaringskennis van de exporteur. Voor overheersende criteria zoals

- smaak en geurbeïnvloeding (knoflook niet naast appels);
- last-in, first-out;
- ethyleen-produktie en -gevoeligheid (geen bloemen en fruit samen),

is dit redelijk overzichtelijk en uitvoerbaar. Voor meer complexe invloeden van temperatuur en relatieve vochtigheid (rv) in relatie tot de ingestelde containertemperatuur en positie schiet de expertkennis mogelijk tekort: veelal wordt de insteltemperatuur of vast ingesteld (bijvoorbeeld alle groenten 4°C), of als een gemiddelde van de optimale produkttemperaturen gekozen. Gezien de verschillende gevoeligheden van groente- en fruitprodukten voor deviatie (in tijd en ruimte) in temperatuur en rv behoeft de keuze zeker niet optimaal te zijn. Om dit kwantitatief te kunnen bepalen moet de produkt-klimaat interactie en het daarbij behorende produktkwaliteitsverloop worden berekend. In eerste instantie zal alleen worden ingegaan op de bepaling

van de *temperatuurverdeling* in een container.

Formeel is de produkt-klimaatinteractie oplosbaar uit de behoudswetten voor energie (temperatuurverdeling), impuls (snelheidsverdeling) en massa (gassamenstelling). Oplosmethoden hiervoor maken veelal gebruik van eindige elementen of differentiemethoden. Afhankelijk van de gekozen gridgrootte zijn deze oplosmethoden dermate rekenintensief, zeker in een dynamische situatie, dat ze voor het gebruik in een plaatsingsheuristiek onbruikbaar zijn. Door een sterke vereenvoudiging is het toch mogelijk temperatuur en snelheidsverdeling zodanig te bepalen dat met aanvaardbare nauwkeurigheid de waarde van een produktlading kan worden bepaald. Verondersteld wordt:

- de container is zodanig beladen dat er een stationaire luchtverdeling ontstaat die gelijkmatig is over de ruimte. Een uitzondering hierop vormen verlaadplaatsen waar de deuren worden geopend;
- in de stationaire situatie, waarbij de produkttemperatuur in de tijd niet verandert, is de uitblaasttemperatuur van de koelmachine constant en gelijk aan de insteltemperatuur;
- in de niet stationaire situatie (produkten niet voorgekoeld of niet op eindtemperatuur, deur open) is het koelvermogen van de transportkoelmachine gelimiteerd en

worden de produkten afgekoeld met langsstroomkoeling als de verpakking voldoende open is. De afkoeltijd wordt hierbij bepaald door produkteigenschappen: afmeting, warmteoverdrachtscoëfficiënt (verpakking en luchtsnelheid), warmtegeleidingscoëfficiënt, temperatuurvereffening (verhouding geleiding/convectie), temperatuurverschil tussen begin en evenwichtstemperatuur in het centrum van de palletlading, en de interne warmteproduktie van het produkt. De coëfficiënten worden constant in de tijd verondersteld en zijn voor de meeste produkten bekend uit eerdere experimenten;

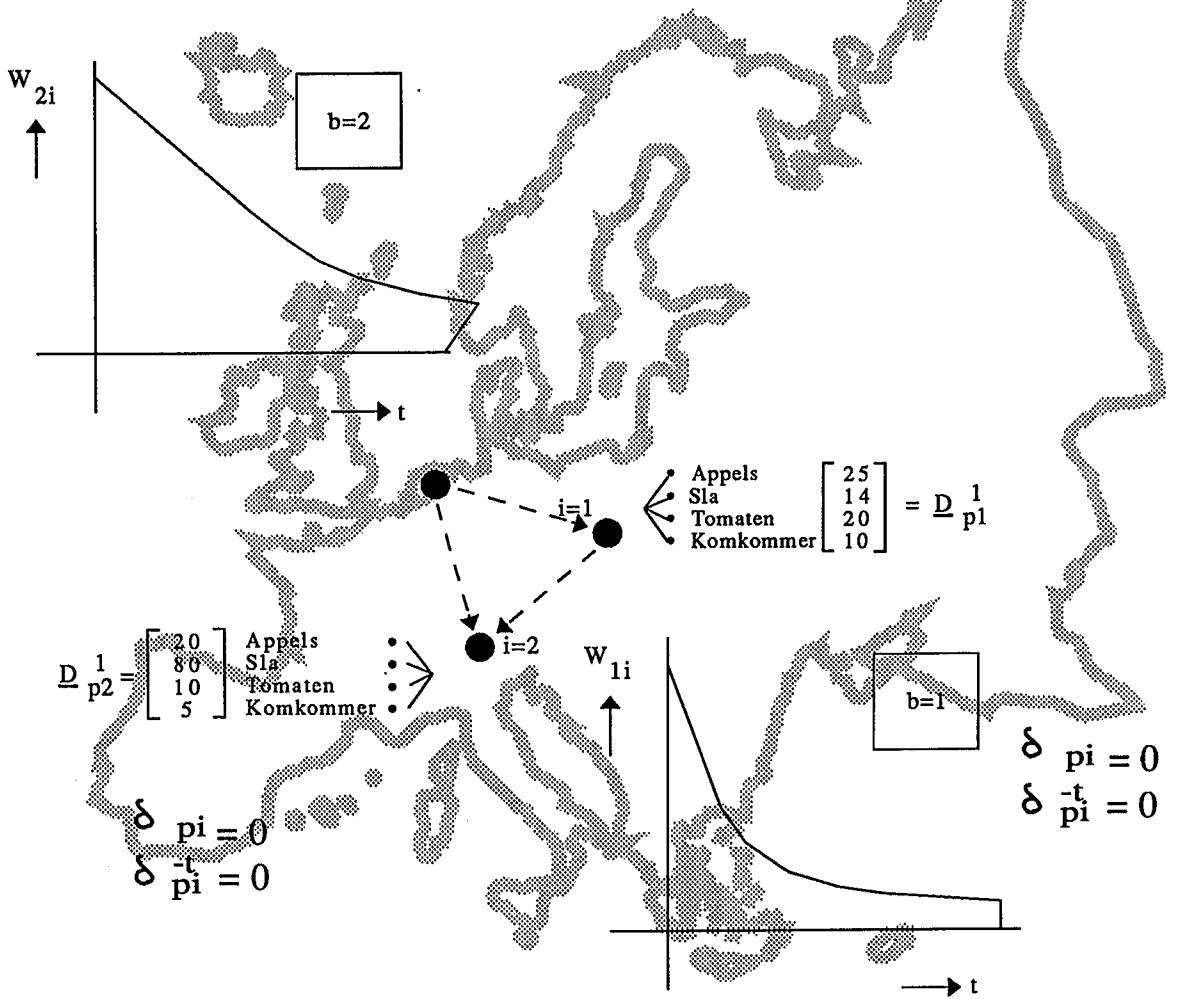
- de temperatuurverschillen in het container ontstaan in de ruimte zowel in de koellucht langs het produkt als in het produkt zelf. De energie die de circulerende lucht opneemt leidt tot een temperatuurstijging en is afkomstig van drie bijdragen: dissipatie door drukverlies, warmte-indringing door de isolatie (instraling) en de interne warmteproduktie van het produkt. Deze laatste is ook verantwoordelijk voor temperatuurverschillen in de pallet, ook in het stationaire geval.

Door implementatie van dit eenvoudig concept in een rekenroutine kan op zeer snelle wijze een redelijke benadering van de temperatuurverdeling (tijdsafhankelijk) in een container worden berekend. De uiteindelijke statusvector die in de plaatsingsheuristiek wordt gebruikt voor de evaluatie van de produktwaarde wordt bepaald door de produkttemperatuur te vergelijken met de optimale bewaartemperatuur van dat produkt. In eerste instantie kan worden uitgegaan van de absolute afwijking tussen produkttemperatuur en optimale temperatuur. Een betere oplossing wordt gevormd door uit het temperatuurverloop gedurende het transport de zogenaamde relatieve houdbaarheid te berekenen. Dit getal tussen 0 en 1 geeft aan welk deel van de totale houdbaarheid na het transport nog rest. Een paprika, na oogst 14 dagen houdbaar op 8°C, heeft na 3 dagen bij 12°C een relatieve houdbaarheid van 0.51 (= 7 dagen). De totale waarde van een beladen en geconditioneerd container is een gewogen som van relatieve houdbaarheid, economische waarde en beladingsgraad. De gewichtsfactoren worden in feite door de verantwoordelijke planner bepaald.

Probleemschets

Aantal containers : G, KC
 Aantal extra containers : y, KEC

Aantal dagen : Nt
 Aantal producten : Np
 Aantal locaties : Ni



Vraag dag t, produkt p, locatie i

: D_{pi}^t

belading b, dag t, locatie i

: x_{pi}^t

Overschot produkt p, dag t, locatie i

: δ_{pi}^{+t}

Tekort produkt p, dag t, locatie i

: δ_{pi}^{-t}

produkt p, in belading b

: a_{pb}

Waarde produkt p, in belading b

: W_{pb}

Waarde container, belading b, locatie i

: WC_{bi}

Transporttijd naar locatie i

: β_i

Figuur 2
 Het distributieprobleem

Het beschreven beladingsmodel in combinatie met de waarde-evaluatie van de lading vormt de basis voor het tweede beslissingsniveau, waarbij ook rekening wordt gehouden met de transportlogistiek.

De distributie

Na het uitvoeren van het beladingsmodel is een aantal alternatieve beladingspatronen beschikbaar. De kwaliteit van deze patronen dient verder geëvalueerd te worden aan de hand van zowel kwaliteit van de produkten bij uitlevering, als aan de hand van logistieke parameters.

In figuur 2 is het distributieprobleem schematisch weergegeven.

Als we er vanuit gaan dat voor een korte periode, bijvoorbeeld een week, een distributieplan gemaakt moet worden, dan kan dit als volgt omschreven worden.

- **Input parameters:**
 - aantal dagen
 - aantal produkten
 - aantal locaties
 - aantal containers
 - tijd
 - vraag
 - transporttijd naar locatie i
 - teveel geleverd
 - te weinig geleverd
 - aantal produkt p in belading b
- **Optimalisatie:**
 - door middel van doelprogrammering
- **Output parameters:**
 - routing
 - servicegraad
 - belading
 - verwachte kwaliteit

Het gefingeerde getallenvoorbeeld op de tegenoverliggende pagina maakt één en ander duidelijk, zie overigens ook figuur 2.

Na deze oplossing is het probleem echter nog niet opgelost. Op basis van de oplossing van het distributieproces dienen wellicht aanpassingen in de belading gemaakt te worden. De oplossing van het distributieprobleem geeft hier goede aanwijzingen voor. Teveel geleverd produkt is niet gewenst. In de beladingspatronen-generator is dus een relatieve waardevermindering nodig om dit produkt minder vaak voor te laten komen. Deze redenering kan verder uitgebouwd worden en leidt tot een zogenaamde interpretatie van het duale probleem (Reinders, 1989a). Rond deze strategie kan een beslissing ondersteunend systeem gebouwd worden

dat de gebruiker volledige controle over het optimaliseringsproces geeft.

Resultaten

Beladingsalgoritmen

Voor de berekening van beladingspatronen zijn drie algoritmen in C geïmplementeerd, twee aan de hand van literatuur, één daarvan is een eigen ontwikkeling.

Algoritme 1 (Gilmore, 1969):

Het algoritme verdeelt een rechthoek (de moederplaat) in een sortiment van kleinere rechthoeken met verschillende afmetingen en verschillende waarden, gerelateerd aan het oppervlak. De totale waarde van de gesneden sortimenten moet zo hoog mogelijk worden. Een beperking in het programma is dat alleen gewerkt kan worden met "guillotine sneden". Dit zijn sneden die de moederplaat - of een reeds gesneden stuk van de moederplaat - in tweeën delen. Door gebruik te maken van Dynamische Programmering, wordt een oplossing gevonden die een goede benadering is van de optimale stapeling.

Algoritme 2 (Reinders, 1989b):

Het algoritme bepaalt alle mogelijke manieren waarop een sortiment gesneden kan worden en vult de moederplaat met deze patronen. Ook hier moet de totale waarde van de gesneden sortimenten zo hoog mogelijk worden. Dit programma is gebaseerd op een heuristiek hierdoor worden niet alle mogelijkheden nagegaan en zal de oplossing een benadering van een optimale stapeling zijn. Een beperking in het programma is dat alleen gewerkt kan worden met "guillotine sneden". Een voordeel van "Algoritme 2" boven "Algoritme 1" is de veel kortere rekentijd ("Algoritme 2"/"Algoritme 1" = $O(0.2)$).

Algoritme 3 (Gehring, 1990):

Het algoritme (3-D) plaatst blokken in een ruimte waarbij de blokken gesorteerd worden naar afnemende inhoud. De ruimte wordt verdeeld in deelruimtes, die de lengte hebben van het grootste aanwezige blok in de lijst. Het grootste blok wordt telkens het eerst geplaatst. Waarna de ruimte, die overblijft naast en boven het blok, gevuld wordt met andere eventueel kleinere blokken. Alle geplaatste blokken worden uit de lijst verwijderd. Zodra een deelruimte geheel gevuld is, wordt aan een nieuwe deelruimte begonnen. Het algoritme is gebaseerd op een heuristiek en zal een

benadering van de optimale stapeling leveren.

Experimenten

Voor validatie van het lucht- en temperatuurverdeelmodel voor containers en om het effect van de belading en initiële temperatuur te kunnen bepalen is een experimentenreeks gestart. Speciaal hiervoor is een simulatiecontainer op kleine schaal ($l \times b \times h = 2.0 \text{ m} \times 0.9 \text{ m} \times 0.8 \text{ m}$) gebouwd waarin de klimaatcondities die tijdens het werkelijke transport optreden zo goed mogelijk worden nagebootst. In dit schaalmodel van een 20 ft container, worden de pallets met produkt voorgesteld door stapels dozen met produkt. Om de gewenste luchtstroming in de opstelling te verkrijgen wordt gebruikt gemaakt van een ventilator in combinatie met inlaat en een uitlaatopening. De opstelling kan zowel een vrachtauto als een container simuleren. De opstelling (zie figuur 3) wordt geplaatst in een geconditioneerde ruimte waarin temperatuur en de relatieve luchtvochtigheid te beheersen zijn. De experimenten worden uitgevoerd met kropsla en paprika, die een verschillende optimale bewaar temperatuur hebben (0 resp. 8°C). In de experimenten wordt de produktstapeling, initiële produkttemperatuur en ingestelde containertemperatuur gevarieerd. De invloed van rv en ethyleen op de kwaliteit is in deze proef niet meegenomen. Er is in de opzet van de proef rekening gehouden met de keuze van produkten om problemen hiermee te voorkomen. Vooraf wordt het netto gewicht van de produkten per doos gemeten. Tijdens de gehele duur van de proef wordt de temperatuur van de inlaatlucht, de uitlaatlucht, de lucht tussen het produkt en de produkttemperatuur gemeten. De produkttemperatuur wordt in elke doos gemeten door een sensor in het produkt te brengen. Ook wordt tijdens de gehele duur van de proef de rv van de inlaatlucht en de uitlaatlucht en van de lucht tussen het produkt gemeten. Na de proef worden wederom de netto gewichten van de produkten per doos gewogen. Voor de visuele kwaliteitsbeoordeling worden de produkten uitgesteld bij kamertemperatuur of in de praktijk gebruikelijke temperatuur. Zonder uitgebreid in te gaan op de proefresultaten wordt aan de hand van een voorbeeld het effect van bijvoorbeeld de initiële temperatuur van de produkten

In het volgende voorbeeld is de structuur weergegeven van het probleem. Wiskundige volledigheid is niet nagestreefd. De beladingsalternatieven zijn random.

- a) 2 dagen, 4 producten, 3 containers, 2 locaties
- b) Per locatie om te starten 3 alternatieve beladingen b*

	b=1	b=2	b=3
p=1	3	4	0
p=2	2	1	2
p=3	1	1	4
p=4	4	1	3

(* Afmetingen "random!")

Voor locatie i=1

x_{11}^1	x_{21}^1	x_{31}^1	x_{12}^1	x_{22}^1	x_{32}^1	y	δ_{11}^{+1}	δ_{21}^{+1}	δ_{31}^{+1}	δ_{41}^{+1}	δ_{11}^{-1}	δ_{21}^{-1}	δ_{31}^{-1}	δ_{41}^{-1}	
3	4	0					-1				1				25
2	1	2						-1				1			14
1	1	4							-1				1		20
4	1	3								-1				1	10

2° belading (arrow to x_{21}^1)
overschot produkt 3, klant 1 (arrow to δ_{31}^{+1})

extra containers (text between x_{12}^1 and x_{22}^1)

i=1 (bracket on right)

En voor locatie i=2

x_{11}^1	x_{21}^1	x_{31}^1	x_{12}^1	x_{22}^1	x_{32}^1	y	δ_{12}^{+1}	δ_{22}^{+1}	δ_{32}^{+1}	δ_{42}^{+1}	δ_{12}^{-1}	δ_{22}^{-1}	δ_{32}^{-1}	δ_{42}^{-1}	
			4	3	1		-1				1				20
			0	2	2			-1				1			80
p=3	→	→	2	1	5				-1				1		10
			1	4	1					-1				1	5
1	1	1	1	1	1	-1									3

i=2 (bracket on right)

capaciteit → (arrow to y)

WC_{11} WC_{21} WC_{31} WC_{12} WC_{22} WC_{32} -KEC <----- boetetermen ----->

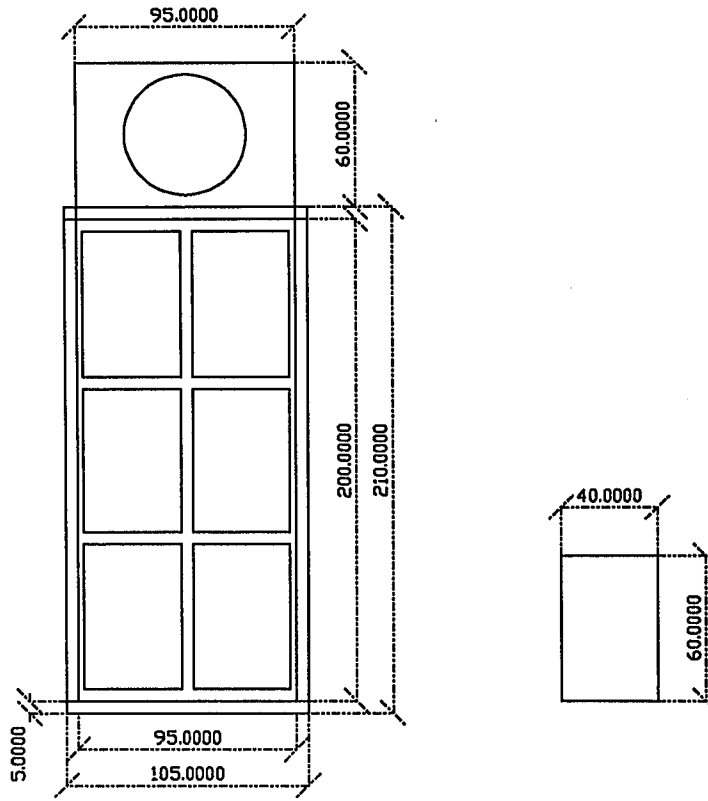
De berekening voor de waarde van een container bij beladingsalternatief b gaat als volgt :

$$WC_{bi} = \sum_p (a_{pb} \cdot W_{pb})$$

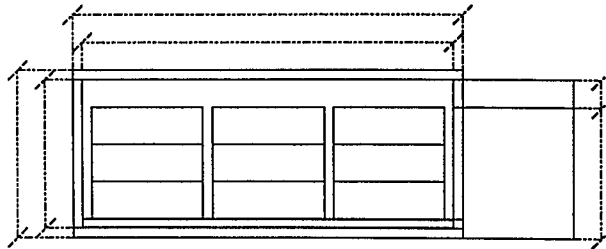
De waarde van een produkt wordt berekend uit de initiële waarde, en de waardevermindering als gevolg van temperatuur, vochtigheid, regeling, belading en tijdsduur :

$$W_{pb} = W_p^0 - W (K(T, rv, r, b, t)) \quad K = \text{klimaat, } b = \text{belading, } T = \text{temperatuur.}$$

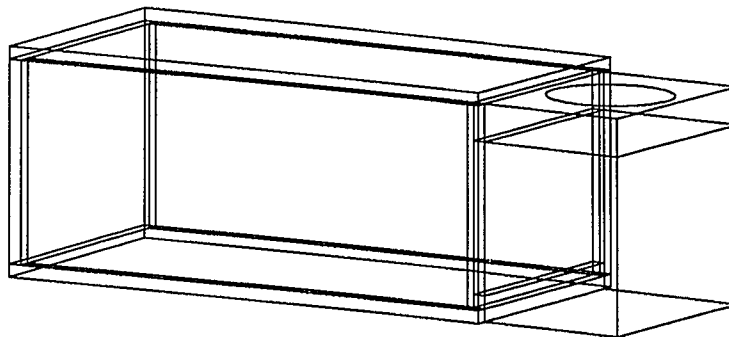
met produktstapeling,
bovenaanzicht



met produktstapeling,
zijaanzicht



vogelvlucht



Figuur 3
Simulatiecontainer

op de produktkwaliteit in een transport aangetoond. De relatieve houdbaarheid van kropsla en paprika tijdens het transport (simulatiecontainer) voor twee container insteltemperaturen is weergegeven in figuur 4.

De uitkomsten van deze experimenten dienen enerzijds om aan te tonen dat de gestelde parameters (stapeling, initiële temperatuur, insteltemperatuur van het container) van invloed zijn op de waarde van de produktlading, anderzijds om de ontwikkelde modellen voorspellend te maken zodat ze kunnen dienen als basis voor een beslissing ondersteunend systeem.

DSS-mengladingen

Het functioneel ontwerp van een DSS voor mengladingen moet de exporteur helpen bij het plannen van zijn exporten.

Het DSS moet daarom voldoen aan de volgende eisen:

- Genereer aan de hand van de gegeven invoer per container een zo goed mogelijke belading;
- Zorg voor een zo hoog mogelijke bezettingsgraad van totale containervloot bij een zo hoog mogelijke produkt kwaliteit en minimale kosten;
- Bereken de optimale instelwaarde voor de transportkoelinstallatie;
- Voldoe aan de eisen van de klant(en).

Om tot een bruikbaar en bovenal betrouwbaar resultaat te komen is voor het systeem een uitgebreide databank noodzakelijk. Deze database bevat gegevens van klanten (bestelling, plaats, levertijden), containervloot (aantal, soort, afmetingen), infrastructuur (bijvoorbeeld wegennet, wettelijke bepalingen). Een belangrijk

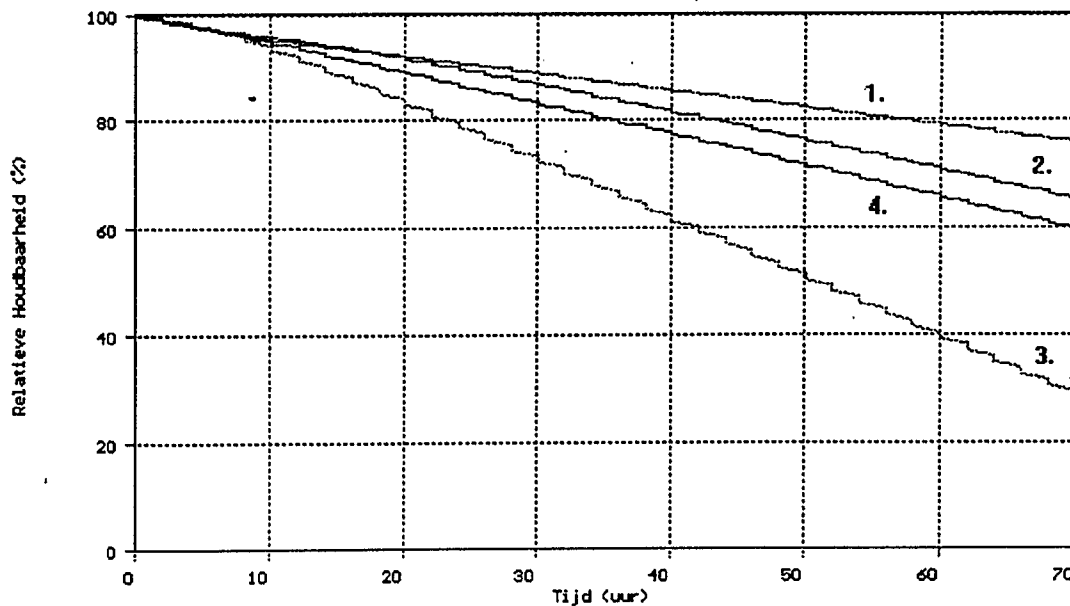
onderdeel van de database vormt de informatie over produkten (optimale bewaar temperatuur en RV, vocht afgifte, warmteproductie, ethyleen gevoeligheid ed.) en verpakkingen (afmetingen, gewicht, overdrachtscoëfficiënten).

Deze data dient als invoer voor de modellen die aanwezig zijn in de modelbase. Belangrijke modellen zijn:

- *kwaliteitsverloopmodellen:*
Hoe reageert het produkt op het opgelegde klimaat?
- *resterende houdbaarheid:*
Wat is de te verwachten resterende houdbaarheid van het produkt na transport?
- *beladingsalgorithme:*
genereert beladingspatronen voor pallets en containers.
- *route planning:*
bereken de optimale route voor transportcontainers.

RELATIEVE HOUDBAARHEID GEDURENDE TRANSPORT

BEGINTEMPERATUREN : PAPRIKA=12 °C, KROPSLA=0 °C.

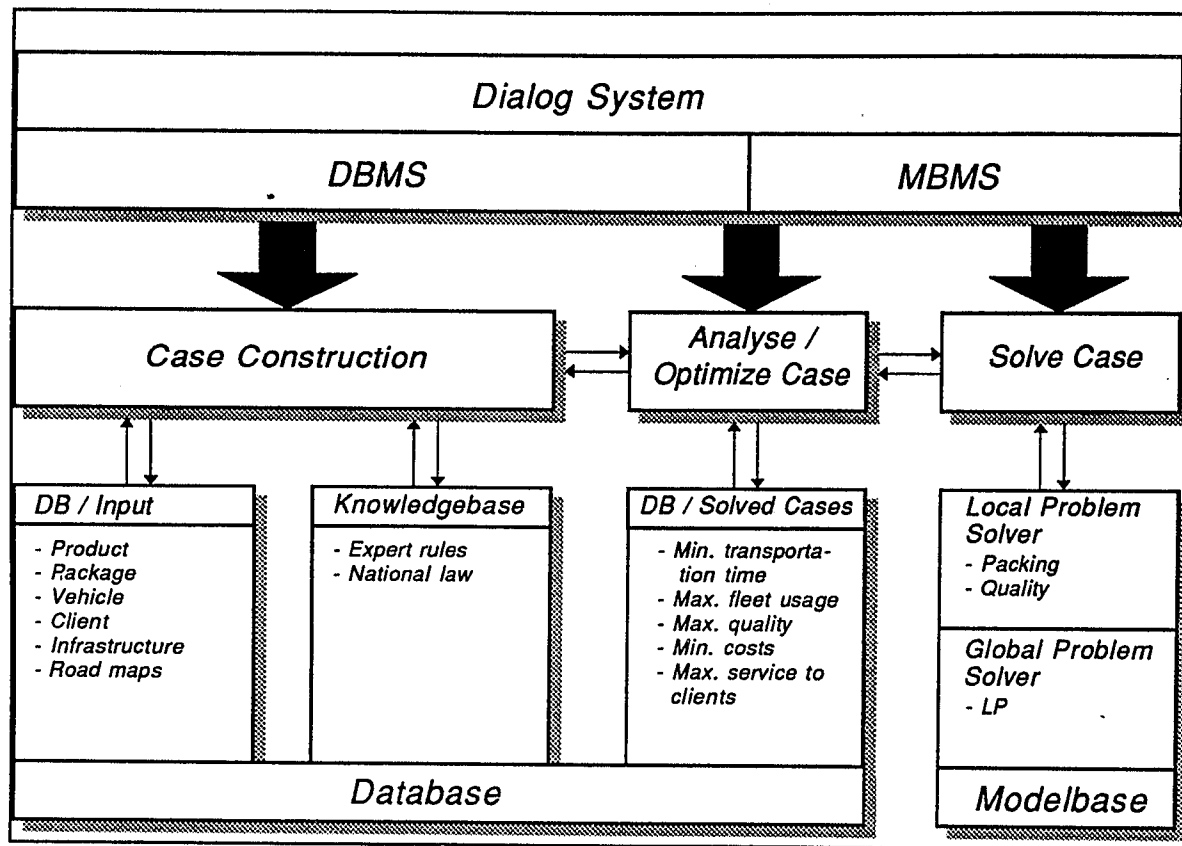


- | | | |
|---|-----------|------------|
| ■ | 1 Paprika | 1 IT=8 °C. |
| ■ | 2 Paprika | 2 IT=4 °C. |
| ■ | 3 Kropsla | 1 IT=8 °C. |
| ■ | 4 Kropsla | 2 IT=4 °C. |

Figuur 4

Relatieve houdbaarheid tijdens het transport.

Paprika en kropsla zijn getransporteerd bij een container insteltemperatuur van 8 °C (1 en 3) en 4 °C (2 en 4)



Figuur 5
Structuur van een DSS voor de planning van menlading transporten

Als uitvoer genereert het DSS onder andere beladingspatronen en transportroutes voor de gehele containervloot als functie van de tijd, waarbij:

- aan alle eisen van de klant wordt voldaan;
- een optimale container bezettingsgraad wordt nagestreefd;
- een zo hoog mogelijke produkt kwaliteit wordt nagestreefd.

De structuur van het DSS is weergegeven in figuur 5.

Conclusie

Een planningssysteem voor het transport van menladingen kan een waardevolle hulp zijn voor de exporteur. De ontwikkeling van het systeem is momenteel in het stadium dat de

ontwikkelde modellen worden getest en gevalideerd. Het concept voor de distributieproblematiek zal door middel van Lineaire Programmering op een PC worden geprogrammeerd. De structuur van het DSS vormt de basis voor de ontwikkeling en implementatie van het planningssysteem. Een voortdurende terugkoppeling met exporteurs moet leiden tot een operationeel DSS met in de praktijk aanvaarde functionaliteit.

Referenties

- GILMORE, P.C. & GOMORY, R.E.,
The theory and computation of knapsack functions, *Operations Research* 15, 1044-1074, 1969.
- REINDERS, M.P.,
IDEAS, for integral logistics in centralized wood processing, Proefschrift LUW, isbn 90-9002821-8, 1989a.
- REINDERS, M.P. & HENDRIKS, TH.H.B.,
Lumberproduction Optimization, *European Journal of Operations Research* 42, 243-253, 1989b.
- GEHRING, H., MENSCHNER, K. & MEYER, M.,
A computer-based heuristic for packing pooled shipment containers, *European Journal of operations Research* 44, 277-288, 1990.