

**STUVNING AF  
CONTAINERSKIBE  
v. h. a. EDB**

**OLE KESSEL**

**EKSAMENSPROJEKT 1976**

**IMSOT**

'The views expressed in this paper are not necessarily those of the Institute'.

FORORD.

Dette eksamensprojekt er udarbejdet i forårssemestret 1976 på Institutet for Matematisk Statistik og Operationsanalyse, Danmarks tekniske Højskole. Mine vejledere under projektet har været lektor, lic. techn. Søren Kruse Jacobsen og lektor, lic. techn. Ole B.G. Madsen.

Rapporten henvender sig generelt til folk med et basalt kendskab til operationsanalyse. Enkelte kapitler og appendices kræver dog et videregående kendskab til Matematisk Programmering. Generelle betragtninger og konklusioner er forsøgt gjort forståelige for andre.

På instituttet er jeg en lang række personer tak skyldig for den hjælp og vejledning, jeg har modtaget under projektet.

Endvidere takkes Mærsk Container Line for den velvillige assistance firmaet har ydet. Uden denne hjælp ville projektets relation til virkeligheden have været for ringe.

Fremfor alt vil jeg dog takke Søren og Ole for en inspirerende og lærerig vejledning.

IMSOR, den 30. juni 1976



Ole Kessel



## RESUME.

### Kap. 1

Efter en kort gennemgang af baggrunden for projektet formuleres projektets opgavetekst/målsætning. Endvidere berettes om projektets forløb.

### Kap. 2

Vi præsenterer nu containersystemet. Efter en række generelle betragtninger om enkeltpunkter i systemet (både det fysiske og det administrative) berettes indgående om eksamensprojektets kontaktfirma, Mærsk Container Line. De enkelte punkter, der behandles, er først det overordnede container trafiksystem og herefter de fysiske værktøjer i dette.

### Kap. 3

Udfra projektets opgavetekst afgrænses det betragtede system til kun at omfatte losse/laste-processen. Herefter opstilles den målsætning en planlægning af denne proces skal vurderes udfra. Vi bliver af modeltekniske årsager nødt til at forudsætte specielle sammenhænge i systemet, og med disse forudsætninger afgrænses det endelige system. Målsætningen og systemafgrænsningen giver den anvendte problemformulering.

### Kap. 4

I dette kapitel konstrueres en matematisk 0-1 programmeringsmodel af det afgrænsede system. Den fremkomne model forklares og omvurderes ud fra dens muligheder og værdi som både forklarelses- og løsningsværktøj. Som direkte løsningsværktøj må vi afvise modellen p.g.a. for store dimensioner og p.g.a. et indhold af stokastiske elementer.

## Kap. 5

Vi forsøger nu at omgå visse store ulemper ved den opstillede model. Først konstrueres en deterministisk ækvivalent til den stokastiske model, og derefter forsøger vi at opsplitte (dekomponere) modellen. Resultatet bliver et én-søjle-problem, som kan løses, men denne løsning kan ikke anvendes til løsning af hele modellen p.g.a. besvær i sammenkoblingsfasen. I appendix til kapitlet præsenteres en effektiv branch-and bound metode til løsning af én-søjle-problemet.

## Kap. 6

Den endelige løsningsmetode præsenteres. Denne kan opdeles i en statistisk og en fysisk behandling af losse/laste processen og i en behandling af stabilitetsproblemerne. Idéerne er forklaret i kapitlet, mens den grundige behandling foretages i appendix til kapitlet. Endelig gives en kortfattet vurdering af løsningsmetoden.

## Kap. 7

Vi har nu konstrueret løsningsmetoden, og den bliver afprøvet i dette kapitel. Der sammenlignes resultater fra løsningsmetoden og fra virkeligheden. Udfra disse sammenligninger vurderes løsningsmetodens værdi.

## Kap. 8

Til sidst gives den endelige konklusion af projektet. Problemer såsom relation til virkeligheden behandles, og der angives muligheder for at komme virkeligheden nærmere.

INDHOLDSFORTEGNELSE

FORORD	3
RESUME	5
INDHOLDSFORTEGNELSE	7
<u>KAPITEL 1: INDLEDNING</u>	11
1.1 Baggrunden for projektet	13
1.2 Opgaveformulering	13
1.3 Projektets forløb	14
1.4 Generelle bemærkninger	14
1.5 Variabel- og navneliste	15
<u>KAPITEL 2: SYSTEMANALYSE</u>	17
2.1 Containersystemet	20
2.1.1 Containertrafikken	20
2.1.2 Containerne	29
2.1.3 Containerhåndtering	31
2.2 Den aktuelle planlægning i containersystemet	34
2.3 Mærsk Container Line	36
2.3.1 Introduktion	36
2.3.2 Informationsforløbet	42
Appendix 2A Transportstatistik	43

<u>KAPITEL 3: PROBLEMAFGRENSNING OG -FORMULERING</u>	51
3.1 Primær problemafgrensning	54
3.2 Målsætning for beslutningsprocessen	55
3.3 Sekundær afgrænsning	57
3.4 Problemformulering	59
<u>KAPITEL 4: MATEMATISK MODELFORMULERING</u>	61
4.1 Modelkonstruktion	64
4.2 Den matematiske model	67
4.3 Vurdering af modellen	72
4.3.1 Modellens størrelse	72
4.3.2 Modellens stokastik	74
4.3.3 Vurdering	75
<u>KAPITEL 5: FORSLAG TIL MODELLETSNING</u>	77
5.1 Deterministisk model	80
5.2 Opsplitning af den deterministiske model	82
5.2.1 Primal dekomposition	82
5.2.2 En-søjle-problemet	84
5.2.3 Branch-and-bound-algoritme	85
5.3 Konklusion	86
Appendix 5A Løsningsmetode til én-søjle-problemet	89
<u>KAPITEL 6: LØSNINGSMETODE</u>	99
6.1 Ny problemformulering	102
6.2 Ønskede modelegenskaber	103
6.2.1 Stokastikken	103
6.2.2 Ruterne	104
6.2.3 Transportbehovet	104
6.3 Stabilitetsproblemerne	105
6.4 Løsningsmetoden	107
6.4.1 SUBOPT	107
6.4.2 MAIN	109
6.4.3 VÆGT	112
6.5 Vurdering af metoden	116
Appendix 6A SUBOPT	117
Appendix 6B MAIN	131
Appendix 6C VÆGT	139



<u>KAPITEL 7: RESULTATER OG SAMMENLIGNINGER</u>	145
7.1 Grundlæggende data	148
7.1.1 Skibet	148
7.1.2 Ruten	148
7.1.3 Containerne	149
7.1.5 Prioriteringen	150
7.1.6 Vægtene	150
7.2 Resultater	157
7.2.1 Resultater 1	158
7.2.2 Resultater 2	158
7.2.3 Resultater 3	158
7.2.4 Resultater 4	159
7.3 Sammenligninger	165
7.3.1 Målsætningens opfyldelse	165
7.3.2 Losse/laste-planerne	166
7.4 Vurdering af løsningsmetoden	167
<u>KAPITEL 8: KONKLUSION OG AFSLUTNING</u>	169
8.1 Generel konklusion	171
8.2 Ønskede udvidelser af løsningsmetoden	172
8.3 Implementering af løsningsmetoden	173
LITTERATURLISTE	175



INDLEDNING





### 1.1 Baggrunden for projektet.

I det seneste årti er containertrafikkens andel af den samlede godstransport steget voldsomt. Dette har medført, at de fysiske enheder i containersystemet er vokset stærkt uden at de administrative og planlægningsmæssige funktioner er blevet tilsvarende forbedret.

Udviklingen er nu stagnerende. Dette skyldes ikke blot den internationale recession; markedet er efterhånden ved at være dækket.

Der opstår derved en mulighed for og et ønske om, at containersystemet træder ud af puberteten og går over til anvendelse af mere tidsvarende og størrelsesrelevante planlægningsværktøjer.

De administrative funktioner er allerede undergået denne forvandling. Planlægningen af de fysiske processer foregår derimod stadig manuelt.

Et af de områder, hvor planlægningsprocessen ikke er fulgt med udviklingen, er stuvningen af containere i containerskibene.

### 1.2 Opgaveformulering.

Eksamensprojektet har fået titlen:

"Stuvning af containerskibe v.h.a. EDB".

Denne titel kan omformes til den opgaveformulering/målsætning, der er anvendt under projektet:

Find eller udvikl en EDB -orienteret metode, der kan anvendes til at konstruere en optimal/acceptabel strategi for losse/laste-processen for et containerskib.

### 1.3 Projektets forløb.

I efteråret 75 aftaltes eksamenprojektets emne med projektvejlederne. Dette betød, at jeg allerede i januar 1976 kunne foretage et præliminært litteraturstudium i et kursusarbejde (Kessel, 1976).

Med dette som baggrund påbegyndtes projektet i februar måned. De første to måneder gik med at formulere og operationalisere containersystemet, og herunder hører også en lang række vildspor.

Først i april måned gik der rigtig hul på problemet, og den statistiske beslutningsproces udvikledes. Denne proces førte til konstruktion af den heuristiske metode.

De sidste tre uger af projektet er brugt til at nedfælde de konstruerede metoder og dokumentere de opnåede resultater.

### 1.4 Generelle bemærkninger.

Der er overalt i rapporten forsøgt anvendt en ensartet nomenklatur og ens vendinger om de samme forhold. Det må derfor tilrådes læseren, at han/hun, inden læsningen påbegyndes, gør sig fortrolig med variabel- og navnelisten.

1.5 Variabel- og navneliste.Variabelliste.

almindelige variable:	m	= moment
	$\underline{b}$	= stokastisk transportmatrice
	$\underline{w}$	= deterministisk - -
	dmax	= antal destinationer på ruten
	dant	= antal tidligere udfald af $\underline{b}$
	sojm	= antal søjler i skibet
	bama	= antal tværsnit i skibet
	sojl(*)	= antal celler i hver søjle
summationsindex:	r	= fra havn
	s	= til havn
	t	= søjle nr.
	u	= celle nr. i søjlen

En variabel, der er skrevet med store bogstaver, benyttes i et EDB-program.

Navneliste.

billede af søjlen	: destination af hver container i søjlen
celle	: enhed i skibet, hvori der kan være én container
dæksluge	: luge der 1) skal monteres før der lastes over den og 2) fjernes før der losses/lastes under den

losse/laste-plan	: billede af hele skibet
optimal/uoptimal lastning	: se definition fig. 6.4.3
plads t,u	: celle nr. u fra bunden i søjle nr. t
shiftings	: foretaget losse/laste-operation af container, der ikke har havnen som oprindelse eller destination
søjle	: sammenkoblede celler med samme længde- og breddekoordinat i skibet
søjlebundt	: alle søjler der er bundet af samme dæksluger
tværsnit	: alle søjler med samme længdekoordinat i skibet



SYSTEMANALYSE

2



## 2 SYSTEMANALYSE.

Opgaveformuleringen i kap. 1.2 afgrænser problemet til at omfatte betragtninger over losse/laste-processen for et containerskib.

Den første og i øvrigt meget væsentlige opgave i en operationsanalytisk behandling af et emne er systemanalysen. Her erkendes den viden om systemet og sammenhængene i systemet, som ligger til grundlag for modelbygningen.

Man må gøre sig klart, at den erhvervede viden ofte bør dække et større område end det afgrænsede system. I den foreliggende opgave bør viden skaffes om hele containersystemet, og ikke blot om losning/lastning af containerskibet.

I dette kapitel beskrives containersystemet først generelt og dernæst for et specielt firma, Mærsk Container Line. I et appendix til kapitlet er der forelagt en statistik over firmaets aktiviteter indtil videre.

## 2.1 Containersystemet.

### 2.1.1 Containertrafikken.

#### Den historiske baggrund.

For snart 2000 år siden gjorde menneskeheden for første gang forsøg på at transportere gods i kasser af enhedsstørrelse. Det var den romerske gladiatortradition, der nødvendiggjorde en storimport af mangelvaren vilde dyr. Disse dyr skulle transporteres på en både praktisk og sikker måde, og der skulle bruges mange.

Grunden til at udviklingen ikke allerede på det tidspunkt også førte til en enhedstransport af andet gods var, at man ganske enkelt ikke besad løfteredskaber med tilstrækkelig kapacitet. Idéerne var tilstede, men teknologien kunne ikke følge med.

I hele den efterfølgende periode - næsten helt op i dette århundrede - skete der ikke nogen nævneværdig udvikling. Stykgodset var eneherkende på markedet, da det kunne bæres af menneskehænder og de svage løftefaciliteter, der forefandtes. Men så tog udviklingen også fat. Man fik stærke kraner og bedre kajanlæg til skibene, og det blev dermed muligt at stykke stykgodset sammen til større enheder.

Det tog dog stadig lang tid at losse/laste et skib, en togvogn eller en lastbil, og netop dette led var jo det dyreste led, hvor der var involveret flest menneskehænder. Endvidere optoges transportenhederne i forholdsmæssigt alt for lang tid.

Da så den anden verdenskrig kom med sine endeløse militære

og civile transporter, blev det ligefrem nødvendigt med en nytænkning indenfor transportteknikken. Resultatet heraf var mangesidet, og en af de vigtigste nye transportmetoder blev containertrafikken. Allerede i 20-erne opstod dog den første container rute, men den rigtige udvikling satte først ind omkring 1950.

### Udviklingen i containertrafikken.

Den første regulære skibstransport rute, der med rette kan betegnes en container rute, dannedes i begyndelsen af 20-erne af Seatrain Lines (nu et af de største containerfirmaer i verden). Firmaet udviklede et meget specielt transportsystem, der både kunne benyttes på land og i vand. En række specialbyggede jernbanevogne fungerede som containere. De ankom som vogne i en togstamme til udskibningshavnen, blev derefter løftet ombord på skibet og blev stuvet (rangeret) så tæt sammen som muligt inde i skibet. Skibet havde mange tætsiddende dæk. Systemet blev først anvendt på en rute mellem USA og Cuba og er siden blevet brugt af Seatrain en lang række steder. I 1968 afvikledes systemet dog som utidssvarende.

Nu er jernbanevogne jo ikke, hvad vi forstår ved en container, men hvis man fjerner hjulchassiset på vognene er ligheden slående. Dette skridt blev først taget fuldt ud i 1951 af TMT Trailer Ferry på grundlag af den teknologiske udvikling under den anden verdenskrig. Som skibe brugtes militære landgangsskibe, og containere kørtes ombord. Det var starten til Roll-on, Roll-off containertrafik, og det medførte oprettelsen af flere nye selskaber. Landgangsfartøjerne indsattes i ruter mellem USA og øerne i det Caribiske hav, fortrinsvis til Puerto Rico.

Den udvikling, der er fulgt siden, kan bedst vises illustrativt (fig. 2.1.1). Fra midten af 60-erne er det specielt gået stærkt, og markedet er i øjeblikket næsten dækket. Under denne sidste udvikling har specielt det cellulære container-



fig 2.1.1 Fragtruter hvor containertransport dominerer.

Oprettet mellem 1920 og 1960:	.....
Oprettet mellem 1960 og 1965:	-----
Oprettet mellem 1965 og 1970:	- . - . - .
Oprettet mellem 1970 og nu :	—————

skib, hvor containerne løftes til og fra borde, været dominerende.

## 2.1.2 Containerskibet.

### Skibstyper.

Man kan opdele de nuværende containerskibe i 5 hovedgrupper (Rath, 1973):

- 1 - Cellulære containerskibe i hvilke containerne skal løftes til og fra borde. (Lift-on, Lift-off, LI-LI).
- 2 - Cellulære containerskibe i hvilke containerne skal køres til og fra borde og køres på plads i cellen. (Roll-on, Roll-off, RO-RO).

- 3 - Mangedækscontainerskibe i hvilke containerne (med hjul) skubbes til og fra plads.
- 4 - Containerpramme.
- 5 - Ordinære skibe der medtager såvel containere som andet stykgods. (Semi-containerskibe).

Af disse typer er 1 efterhånden blevet dominerende, i hvert fald blandt de større skibe. De tre sidste anvendes næsten ikke mere på hovedlinierne, men ofte på de såkaldte fødelinier (feeder-lines), hvor meget gammelt materiel bliver brugt.

De cellulære containerskibe er opdelt i celler (heraf navnet) der hver kan indeholde en eller to containerenheder (se afsnit 2.1.3). Når en container er sat på plads i en celle står den godt og sikkert uden yderligere fastsurring. Cellerne er meget nøje afpasset containernes størrelse; en margin på ca.  $\frac{1}{2}$  tomme er tilstrækkeligt til at kunne manøvrere en container på plads.

#### Lift-on, Lift-off containerskibe.

LI-LI skibe er som nævnt dominerende på de fleste ruter med nævneværdige fragter. På grund af det meget lille rumfang, der er nødvendigt til at håndtere containerne, kan disse skibe bygges til meget store fragter. Et typisk LI-LI skib er afbildet (fig. 2.1.2). Normalstørrelsen for et sådant skib er svær at angive, men de fleste skibe kan medtage mellem 600 TEU og 3000 TEU (1 TEU = 1 containerenhed á 20'8'8'). Dette svarer til en kapacitet på mellem 22000 m<sup>3</sup> og 110000 m<sup>3</sup>.

I et LI-LI skib er containerne placeret direkte ovenpå hinanden og fungerer således som bærende konstruktion for de ovenliggende containere. Skibet er delt i to "etager". Den ene indeholder pladserne under dækket, den anden over dækket. Før containerne over dækket kan placeres skal den underliggende

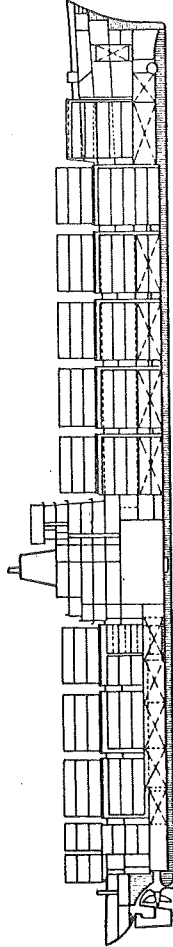


Fig. 2.1.2 Типск LI-LI skib (Rath, 1973).



dæksluger monteres. Denne dæksluger dækker imidlertid over mere end én underliggende containersøjle, oftest over 4-8 containersøjler. Et sådant sæt af containersøjler over og under en dæksluger vil blive kaldt et søjlebundt.

### Containerskibets stabilitet.

Stabilitetsberegningerne for et containerskib - og for et vilkårligt andet tørfragtskib - kan groft opdeles i to dele.

For det første skal der foretages en "engangsberregning" af det tomme skib. Denne beregning, der allerede foreligger før skibet bygges, skal ikke gennemgås her, da det kun er resultaterne af beregningen, der har interesse for losse/lasteprocessen. Resultaterne, der med rette kan betegnes som de fysiske begrænsninger for losse/lasteprocessen, bør her foreligge på følgende form:

- 1 - Det maksimale langskibsmoment,  $m_l$ , skibet kan optage (fig 2.1.3).
- 2 - Det maksimale tværsnitsmoment,  $m_t$ , (eller trimmet) skibet kan optage i alt (fig. 2.1.3).
- 3 - Det maksimale tværsnitsmoment,  $m_{t_i}$ , skibet kan optage i et enkelt tværsnit,  $i$ , (fig. 2.1.4).

Disse maksimale størrelser kan reduceres med de givne størrelser, der stammer fra det tomme skib, og man vil som resultat få en række begrænsninger på containernes vægt og containernes vægtfordeling i skibet.

For det andet skal containernes bidrag til de samme momenter beregnes. Dette skal selvfølgelig gøres hver gang lasten forandres, hvilket i princippet vil sige hver gang, der fjernes eller tilføjes en container. Normalt vil de skibstekniske begrænsninger på lasten være stærkt afhængige af, om skibet be-

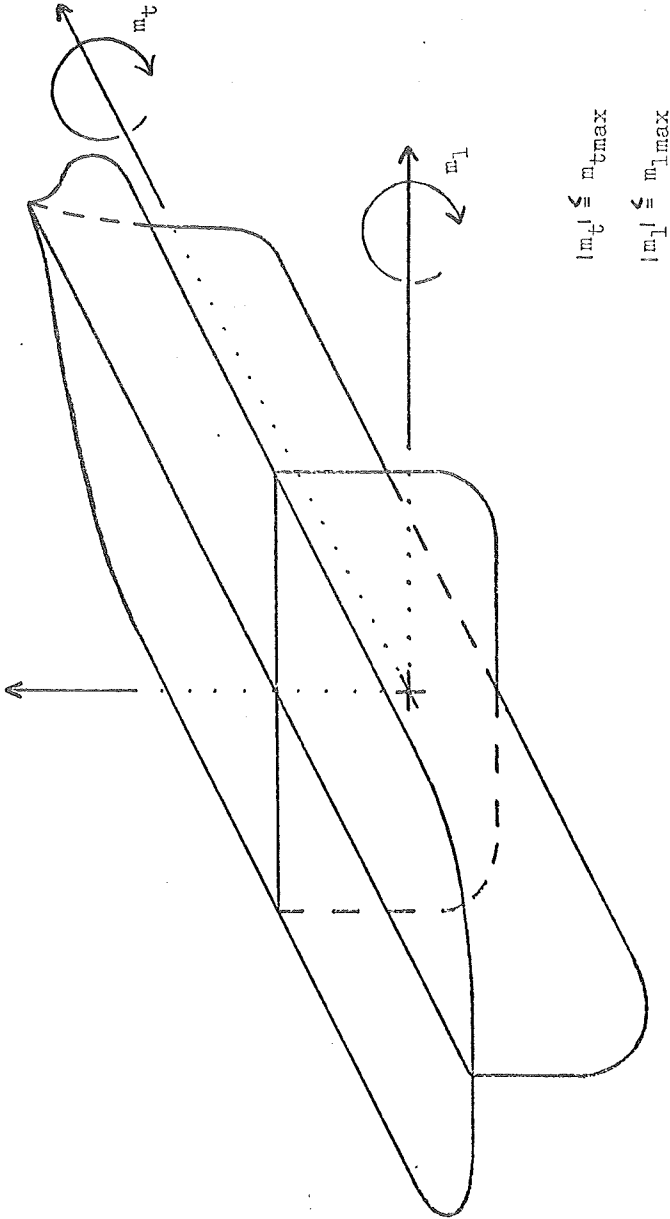
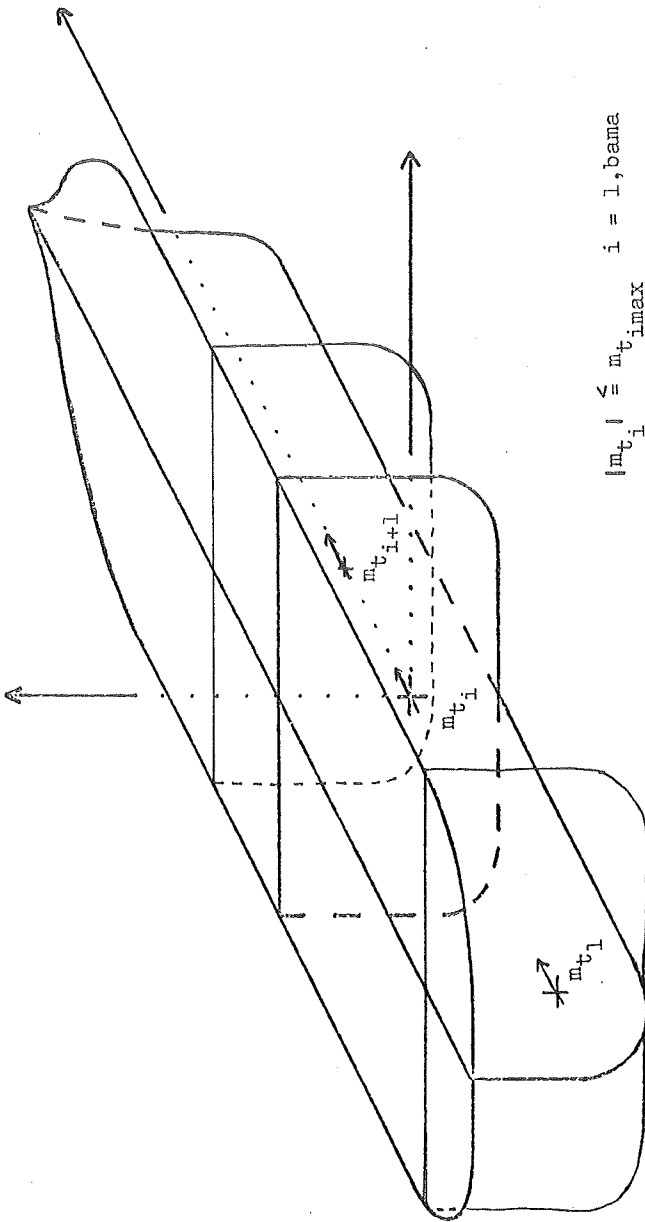


Fig. 2.1.3 De maksimale langs-kibs- og tvær-sni-  
ts-momen-ter.



$$|m_{t_i}| \leq m_{t_{imax}} \quad i = 1, \text{bama}$$

$$|\sum_{j=1}^i m_{t_j}| \leq m_{t_{imax}} \quad j = 2, \text{bama-1}$$

Fig. 2.1.4 De maksimale tverskibsmomenter for de enkelte tversnit.

finder sig i havn eller i åben sø. Der vil være større frihed under selve losse/laste-processen i havnen end når skibet skal vise sig sødygtigt.

### Langskibsmomentet.

Under betragtningen af et skibs langskibsmoment,  $m_1$ , er der to forskellige forhold, der gør sig gældende.

Skibets skrog kan på grund af de anvendte materialers styrke højst optage et vist moment inden brud. For cellulære containerskibe er det dog ikke den væsentlige begrænsning. Den indtræder allerede inden brudgrænsen nærmes. Hvis man tænker sig momentet omsat til deformationer i den cellulære struktur, og denne deformation medfører en formindskelse af en celle med mere end  $\frac{1}{2}$  tomme, bliver det umuligt at håndtere en container til, fra eller gennem cellen. Dette forhold har derfor indflydelse på størrelsen af det maksimalt tilladelige langskibsmoment,  $m_{1\max}$ , (fig. 2.1.3).

Endvidere vil et stort (positivt eller negativt) langskibsmoment medføre en væsentlig forskel imellem dybgangen for og agter. For at et skib skal kunne få størst mulig udnyttelse af den anvendte fremdriftsenergi, må denne forskel ikke være ret stor, og i hvert tilfælde må forenden ikke stikke dybere end agterenden.

Begge de nævnte forhold fører til at ønske det samlede langskibsmoment så lille som muligt (numerisk). Da momenterne beregnes omkring midtpunktet af skibet og ikke omkring tyngdepunktet, skal containernes momentbidrag helst nærme sig en given størrelse. Sammenlagt med det tomme skibs bidrag vil det samlede skibs moment nærme sig nul.

### Tværsnitsmomentet.

Et eksisterende tværsnitsmoment, beregnet for hele skibet, er ensbetydende med, at skibet vil ligge skævt i vandet. Skibet er jo ikke skruet fast i vandet. Denne hældning medfører et større displacement i den side af skibet, der ligger dybest, og momentet vil derfor blive modvirket. På grund af skibets søgående egenskaber må skævheden ikke overstige en vis størrelse. Denne maksimale størrelse,  $m_{tmax}$ , (fig. 2.1.3) svarer til en begrænsning på containernes vægtfordeling. Et normalt containerskib vil være symmetrisk omkring et snit på langs med skibet, og det vil derfor ikke yde noget bidrag.

Et cellulært containerskib vil være inddelt i en række tværsnit (engelsk - bays) (fig. 2.1.2). For hvert af disse (bama) tværsnit gælder at momentet fra containerne højst må være  $m_{t,max}$  (fig. 2.1.4). Dette skyldes igen, at cellerne ikke må deformeres ret meget. Endelig må vridningen af skibet mellem to tværsnit ikke overstige en skibsteknisk bestemt størrelse. Dette resulterer i et krav om at det samlede tværsnitsmoment fra skibets agter og indtil et vilkårligt tværsnit heller ikke må overstige en vis størrelse.

### 2.1.3 Containerne.

Containerens funktion er mangesidet. Når den står på land fungerer den udmærket som pakhus, eventuelt som kølehus. Når den skal transporteres kan den med et sæt hjul under fungere som jernbanevogn eller som anhænger til en lastbil. Og når den er i skibet fungerer den både som emballage om varen og som bærende konstruktion i skibet. Til alle disse funktioner skal endvidere lægges, at den med en rimelig stærk kran er let og særdeles hurtig at håndtere.

De mange fordele kan dog kun opnås hvis man bygger containerne rimeligt stærke og efter samme eller få forskellige mål. Specielt det sidste er væsentligt for håndteringen af containerne. Desværre har udviklingen vist tendens til at følge en cyklus, der ofte kendetegner servicefagene (fig. 2.1.5). Resultatet er, at man i øjeblikket må affinde sig med mange forskellige typer af containere. De almindeligste typer er:

- |                          |                        |
|--------------------------|------------------------|
| 1 - 20' container,       | 20'8'8".               |
| 2 - 40' container,       | 40'8'8".               |
| 3 - Sealand-container,   | 35'8'8'6".             |
| 4 - Half-high-container, | 20'8'4" eller 40'8'4". |

Udover disse er der en lang række mere eller mindre specialbyggede containere.

På trods af de mange typer er der dog stadig en sådan ensartethed over containermassen, at fordelene ved at anvende con-

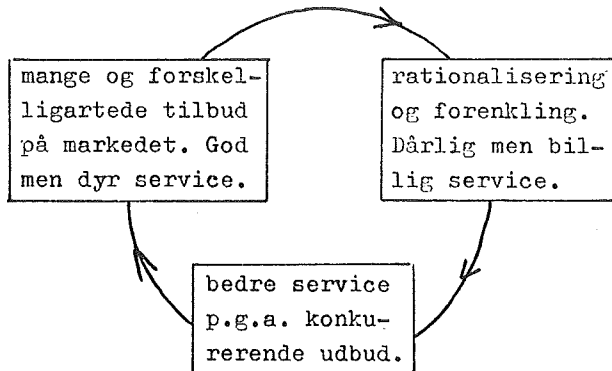


fig. 2.1.5 Udviklingscyklus for servicefagene.

tainere stadig eksisterer.

De to hovedtyper af containere er helt klart 20' og 40' containerne. Den almindelige 20' container bruges som måleenhed og kaldes 1 TEU. Hvor der kan placeres en 40' container vil der næsten altid kunne placeres to 20' containere i stedet. Begge størrelser har deres fordele. En 40' container vil både have en mindre taravægt og et større indvendigt rumfang end to 20' containere. Den vil endvidere være lettere at pakke og den vil kunne tage større enkeltpakker. Til gengæld vil den ofte blive for tung til at transportere med lastbil hvis den fyldes helt, og den vil ikke kunne placeres alle steder i skibet.

En normal 40' container har et indre rumfang på  $2400 \text{ ft}^3$  (svarer til ca.  $68 \text{ m}^3$ ), en taravægt på godt 3 ton og en maksimal nettovægt på ca 30 ton.

En mere og mere anvendt specialcontainer er den såkaldte Reefer-container (køle-container). Den er ofte bygget som et lille kølehus med eget køleanlæg. Da den skal tilsluttes skibets tekniske installationer er der afsat specielle pladser i skibet til disse containere (som regel på dækket).

#### 2.1.4 Containerhåndtering.

Under en containers vej fra oprindelsessted til bestemmelsessted skal den håndteres på mange forskellige måder. Et muligt flow-diagram over en containertransport (via skib) er vist i fig. 2.1.6 . Ofte vil pakningen af containeren foregå på selve terminalområdet, og i så fald vil flowet blive enklere. Men under alle omstændigheder skal containerne lastes i skibet, og det er da også den funktion vi specielt skal betragte.

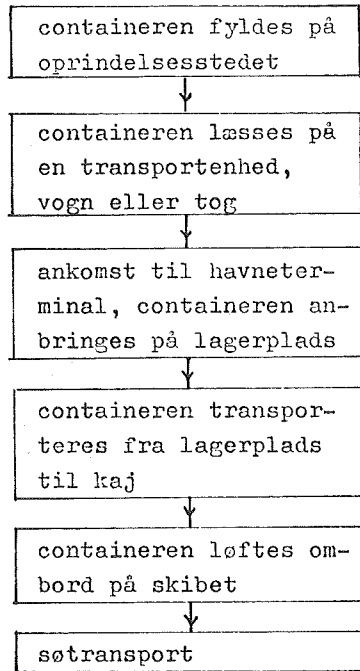


Fig. 2.1.6 Containertransportflow (halvt).

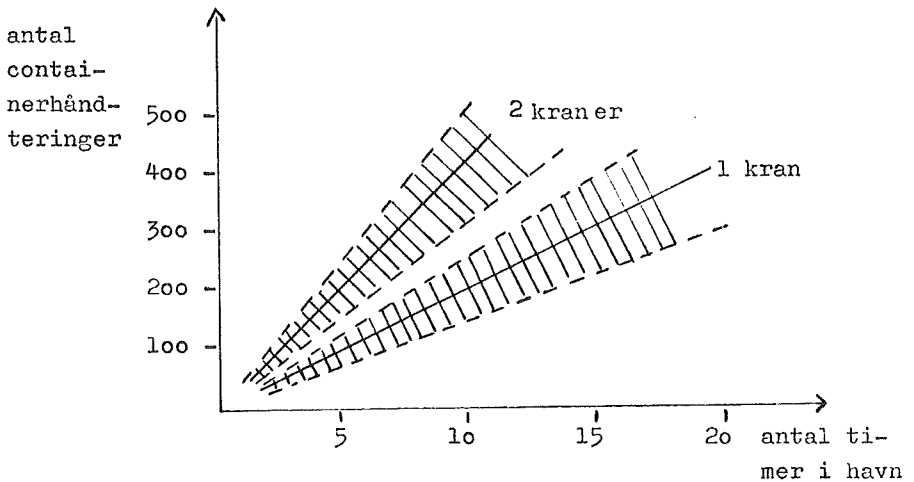


Fig. 2.1.7



Funktionen at laste eller at losse containere har stor indflydelse på hvor effektivt og rentabelt containertransport-systemet er. Jo længere tid den tager, des længere tid ligger containerskibene stille. At netop kaj-tiden skulle nedbringes, var et af hovedargumenterne for at indføre containere, og en sammenligning mellem konventionelle stykgodsskibe og containerskibe falder da også ud til fordel for sidstnævnte på grund af den kortere opholdstid i havnen.

På et terminalområde kan der opstå flere forskellige flaskehalse. Oftest vil det være kranleddet, der er det svageste, og det er derfor dimensionerende for terminalsystemet. På fig. 2.1.7 vises sammenhængen mellem antallet af containere, der skal håndteres (losses eller lastes) og den gennemsnitlige kajtid for containerskibet. En normal containerkran kan inclusive spildtid håndtere mellem 15 og 25 containere i timen (Rath,1973).

#### Omkostningerne.

I de fleste havne beregnes omkostningerne for containerhåndtering efter antallet af containere. Dette gøres udfra den betragtning, at en container i praksis optager de forskellige håndteringsenheder lige meget. Hverken vægten eller størrelsen spiller ind. Dog har visse nyere kraner mulighed for at løfte to 20' containere samtidig.

- - - - -

## 2.2 Den aktuelle planlægning i containersystemet.

Planlægningen i containersystemet kan funktionsmæssigt deles op i to selvstændige dele:

1 - Den administrative planlægning.

2 - Den fysiske planlægning.

Den administrative planlægning varetager de funktioner, der kan betegnes som forretningsmæssige (økonomisk planlægning), eller de funktioner, der administrerer skibene og containerne. I de fleste containerfirmaer er disse funktioner EDB-styrede.

Den fysiske planlægning varetager de funktioner, der har med containerskibet at gøre (pakkeplanlægning, stabilitetsberegninger e.t.c.). Det er specielt disse funktioner, der har interesse i forbindelse med losse/laste-processen. De udføres endnu i dag med håndkraft.

Den almindelige struktur for den fysiske planlægning ses af fig. 2.2.1 . Det værktøj man bruger til at opnå "tilstrækkeligt gode" pakkeplaner er den menneskelige intuition og erfaring.

Det hele styres fra centralt hold. Det vil sige, at man på grund af den manuelle planlægnings tidsforbrug bliver nødt til at konstruere pakkeplaner for skibet et stykke tid før det ankommer til en havn. I mellemtiden er transportbehovene i havnen muligvis blevet ændret, og den endelige planlægning må da også foregå på terminalen. På terminalen har man imidlertid ikke det samme overblik som centralt, så resultatet bliver ofte manglende sammenhæng mellem havnene.

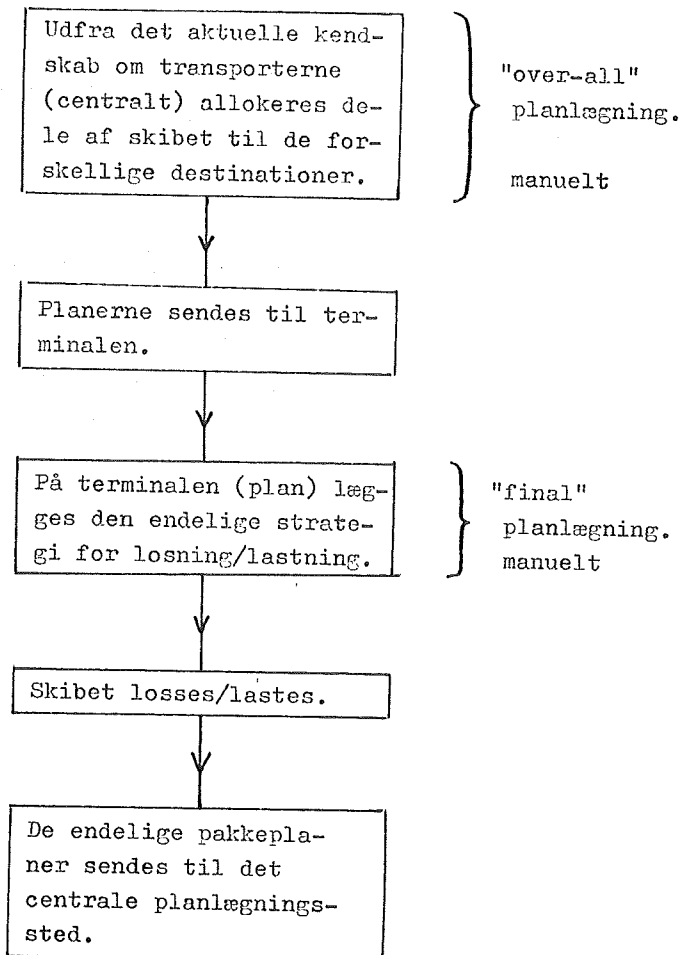


Fig. 2.2.1 Den fysiske planlægnings struktur i øjeblikket.

## 2.3 Mærsk Container Line.

### 2.3.1 Introduktion.

I 1973 gik A.P. Møller koncernen for alvor ind i containerkapløbet. I dette år bestiltes nemlig 9 containerskibe, hver på ca. 1300 TEU, til levering i 1975 og 1976. Disse skibe skulle indsættes i rutefart mellem USA og det fjerne østen. På ruten, som åbnedes den 1. september 1975, indsattes midlertidigt nogle mindre (semi-) containerskibe.

Til at administrere ruten oprettedes en speciel A.P. Møller-division, Mærsk Container Line (MCL), der centralt fra København skulle foretage den overordnede styring.

### Ruten.

MCL besejler en rute mellem USA og det fjerne østen. I USA anløbes havnene:

1 - New York	(NYC)
2 - Philadilphia	(PHI)
3 - Baltimore	(BAL)
4 - Charleston	(CHS)
5 - Long Beach, Los Angeles	(LG1),(LG2)
6 - Oakland, San Francisco	(OAK)

Long Beach har to anløb for hvert ruteomløb.

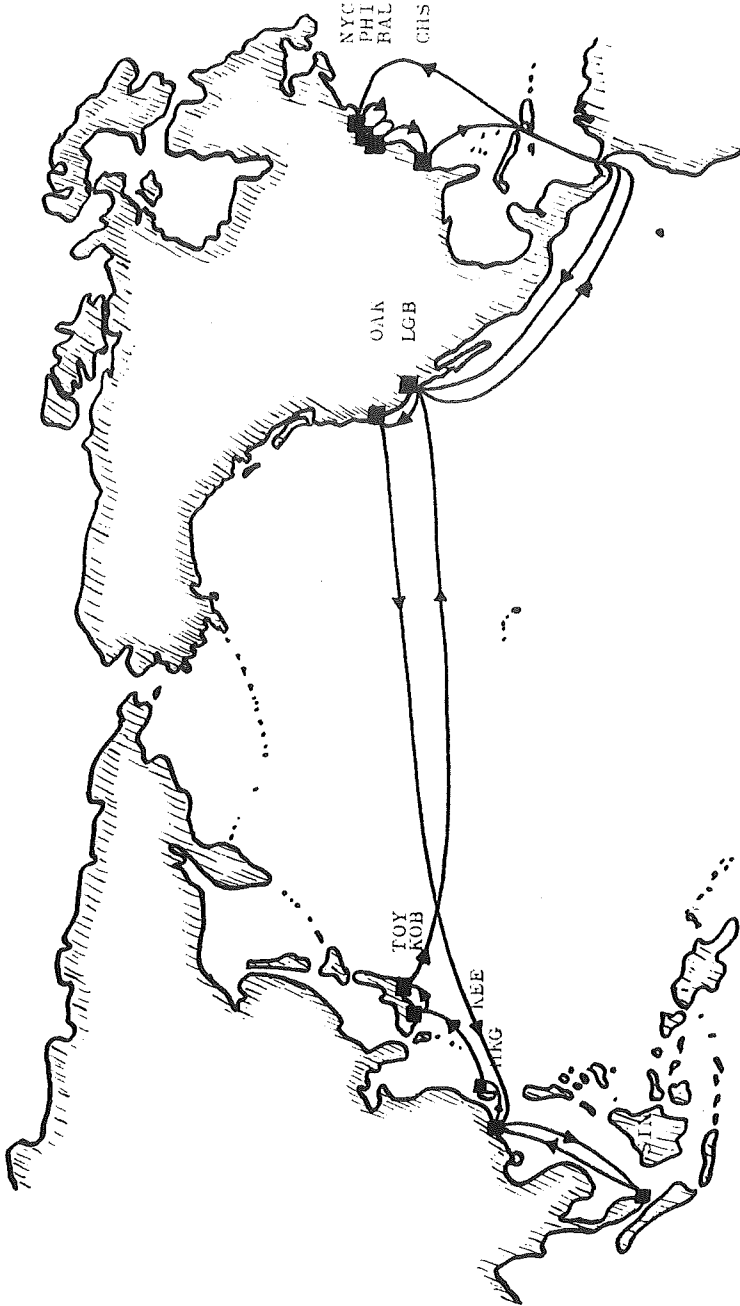


fig. 2.3.1 Mærsk Container Line's rute USA-det fjerne østen

I det fjerne østen anløbes følgende havne:

7 - Hong Kong	(HK1), (HK2)
8 - Singapore	(SIN)
9 - Keelung, Taiwan	(KEE)
10 - Kobe	(KOB)
11 - Tokyo	(TOY)

Udover disse havne anløbes en række mindre havne med feeder-skibe, men den primære rute har ovennævnte anløb. Rækkefølgen og selve rutens form ses af fig 2.3.1.

Der er planlagt en rutedrift med faste ankomsttider en gang hver uge i hver havn. Det giver en total omløbstid på 63 dage, hvilket lige kan betjenes af 9 skibe. Den faste rutedrift ses af fig. 2.3.2 .

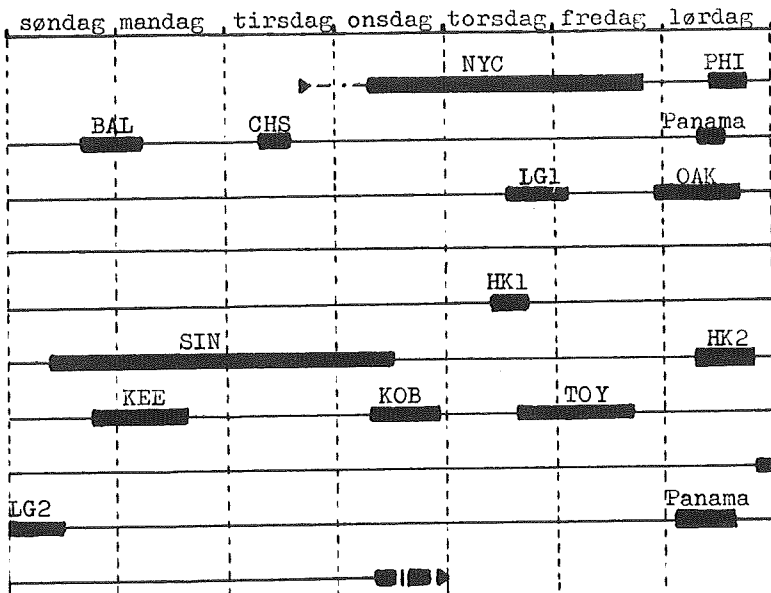


Fig. 2.3.2 Ruteplan for MCL.

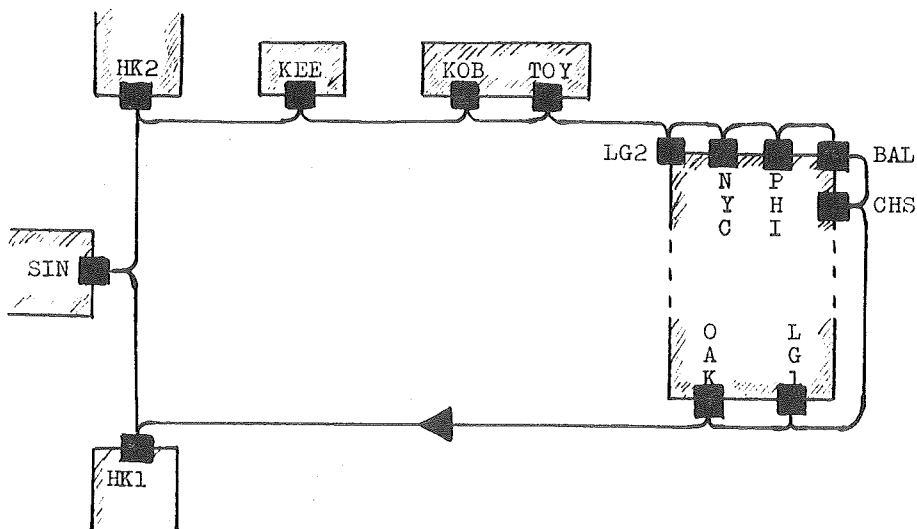


Fig. 2.3.3 Skematiseret rute

Ruten på fig. 2.3.2 kan "renses" for dobbeltanløb så resultatet bliver en cirkelrute (fig. 2.3.3). Denne skematiserede rute anvendes senere (kap. 7.1.1).

På grund af korrespondancen mellem HK1 og HK2 vil al eventuel last fra USA og videre til Keelung, Kobe eller Tokyo først blive losset i HK1 (om torsdagen) og derefter blive lastet i HK2 (2 dage efter). På denne måde springes en uge over.

I Long Beach sker i princippet det samme. Containerne til Oakland fra det fjerne østen bliver losset i LG2 og lastet med det første skib til Oakland i LG1.

### Restriktioner i ruten.

Det er ikke alle mulige kombinationer af havne, som MCL har mulighed for at betjene. Først og fremmest må der ikke medta-

ges indenrigsfragt i USA. Det er en meget stor indskrænkning i rederiets muligheder for at opnå en rimelig fyldningsgrad på en stor del af ruten.

Dernæst er der visse havnekombinationer, der bliver umuliggjort på grund af for lange transporttider. Det er selvsagt transporter fra f.ex. Japan til Hong Kong. Af samme årsag er transporter fra USA til Japan meget få.

### Transportmønstret.

Et generelt transportmønster med angivelse af signifikante transportstørrelser ses af fig. 2.3.4. Containertransporterne er opdelt på h.h.v. tomme og fulde containere. Transportmønstret for de tomme containere er praktisk taget et spejlbillede af det for de fulde. De tomme containere har ikke, som de fulde, en præcis destination. De kan losses hvor det findes mest praktisk.

Statistik over transporterne er udførlig gennemført i et appendix til dette kapitel.

### Skibene.

De 9 ens skibe, der efterhånden skal overtage ruten, kan hver medtage ca. 1300 TEU, hvoraf de ca. 150 er pladser, hvor der kun kan placeres 20' containere. Skibene er fuldt cellulære, men de kan dog ekstraordinært medtage stykgods.

Om udformningen i øvrigt henvises til bilag 1.

Skibene kan skyde en fart på 26 knob, såfremt de ikke på grund af lasten ligger dårligt i vandet.



fra havn	til havn												
	NYC	PHI	BAL	CHS	LG1	OAK	HK1	SIN	HK2	KEE	KOB	TOY	LG2
NYC	%	e	e	e	e	e	F+E	F+e	%	%	%	%	%
PHI	%	%	e	e	e	e	F+E	F+E	%	%	%	%	%
BAL	%	%	%	e	e	e	F+E	F+E	%	%	%	%	%
CHS	%	%	%	%	e	e	F+E	F+E	%	%	%	%	%
LG1	%	%	%	%	%	<sup>1)</sup> F+e	F+E	F+E	%	%	%	%	%
OAK	%	%	%	%	%	%	F+E	F+E	%	%	%	%	%
HK1	%	%	%	%	%	%	%	F+e	%	%	%	%	%
SIN	F	F	F	F	%	%	%	%	f	f	f	f	F
HK2	F	F	F	f	%	%	%	%	%	f	f	f	F
KEE	F	F	F	f	%	%	%	%	%	%	f	f	F
KOB	F	F	F	f	%	%	%	%	%	%	%	%	F
TOY	F	F	F	f	%	%	%	%	%	%	%	%	F
LG2	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%

Fig. 2.3.4 Transportmønstret for MCL's rute.

F = fulde containere i større mængde  
 f = fulde containere i mindre mængde  
 E = tomme containere i større mængde  
 e = tomme containere i mindre mængde  
 % = praktisk taget ingen containere

1) De fulde containere er udelukkende omlastede

### 2.3.2 Informationsforløbet.

Som tidligere nævnt foregår den overordnede planlægning centralt. Der er derfor en væsentlig udveksling af informationer og data. Af praktisk betydning for planlægningsforløbet er især forløbet af informationsudvekslingen. Hvornår vides det centralt hvor meget der skal transporteres?

Følgende indleveringsfrister er fastsat for prognoser udarbejdet på terminalen:

- 1 - en prognose 7 dage før skibet ankommer til havnen.
- 2 - et prospekt 4 dage før skibet ankommer til havnen.
- 3 - bookings 36 timer før skibet ankommer til havnen.

Endelig fremsendes de endelige pakkeplaner efter skibet er afsejlet.

Fig. 2.3.5 tjener som illustration af den viden man på et givent tidspunkt besidder om de fremtidige transporter.

De endelige pakkeplaner både følger skibet og videresendes til næste havn med post/telex.

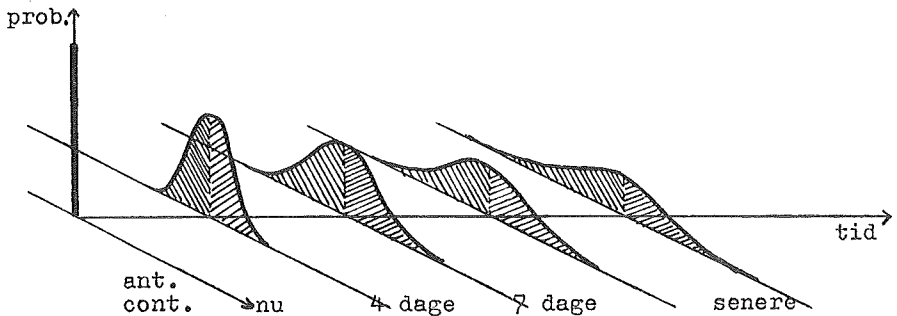


Fig. 2.3.5 Illustration af videnmængden i transportsystemet.

Appendix 2A Transportstatistik.

I dette appendix er MCL's transporter statistisk behandlet. Denne behandling kan opdeles i

- 1 - en behandling af transportmængden mellem de forskellige havne.
- 2 - en behandling af rutedriften.

MCL's containerrute har i hele dataindsamlingsperioden været under indkøring med skæve ruter e.t.c., og af denne grund vil der også være en vis inkonsistens i de indsamlede data. Vi har forsøgt at undgå dette ved kun at medtage de transporter, der har haft ca. én uge at blive dannet i.

For hver fra-havn - til-havn kombination er der i det følgende angivet transporterens størrelser, og for enkelte af disse endvidere den empiriske fordeling.

Grundlaget for denne statistik er transportplaner for de enkelte skibe rekvireret hos MCL.

Punkt 2 behandles under hensyntagen til den senere valgte målsætning. Antallet af shiftings, der foretaget i de enkelte havne, er undersøgt for et stort antal anløb.

### Transportstatistik.

De anvendte kodebetegnelser er givet i kap. 2.3.1. I figurerne 2A.1-12 er de transportererede mængder angivet for alle mulige havnekombinationer. Alle transportererne er opdelt på 20'/40' containere, og rækkefølgen de er anført i er identiske med den tidsrækkefølge de er udført i.

For tre frit valgte transporter, er fordelingerne for antallet af transportererede TEU tegnet, se fig. 2A.13. Heraf ses, at man ikke for alle havnene kan estimere en fordeling af samme type. Vi har derfor valgt ikke at foretage en sådan behandling.

Man kunne tænke sig, at der var sket en udvikling i transporterne over tiden, men det kan ses af de observerede data at dette ikke har været tilfældet.

til havn forskellige udfald														gns TEU				
HK1	20'	20	41	15	15	7	4	10	11	17	42	26	14	3	5	0	2	75.4
HK1	40'	34	10	20	25	32	43	41	29	49	18	40	17	23	39	25	42	
SIN	20'	41	55	23	35	11	23	34	10	15	50	23	25	8	10	8	8	73.1
SIN	40'	18	10	25	20	28	19	29	22	46	12	38	25	33	22	20	28	

Fig. 2A.1 Transporter fra NYC.

til havn	forskellige udfald	gns TEU
HK1 20'	10 1 2 2 1 0 2 9 14 3	20.0
HK1 40'	1 7 3 4 15 7 11 10 4 10	
SIN 20'	7 6 12 17 2 2 3 4 7 2	18.8
SIN 40'	2 5 1 10 11 6 16 5 7 6	

Fig. 2A.2 Transporter fra PHI.

til havn	forskellige udfald	gns TEU
HK1 20'	6 11 1 7 2 2 11 2 6 14 7 6 8 18 4 6 9	35.4
HK1 40'	17 16 7 11 13 15 9 8 29 15 41 8 12 9 9 9 8	
SIN 20'	3 42 1 2 10 5 4 12 6 14 9 12 11 5 6 6 18	37.2
SIN 40'	17 7 12 26 25 14 4 6 4 14 29 10 13 22 19 9 3	

Fig. 2A.3 Transporter fra BAL.

til havn	forskellige udfald	gns TEU
HK1 20'	0 0 8 0 2 2 27 0 1 2	17.2
HK1 40'	8 6 1 8 9 7 3 7 4 12	
SIN 20'	0 2 11 0 3 2 10 2 0 1	13.5
SIN 40'	3 21 0 4 2 1 0 6 8 7	

Fig. 2A.4 Transporter fra CHS.

til havn	forskellige udfald	gns TEU
HK1 20'	10 25 2 5 6 16 18 25 8 12 13 10 8 9 16	89.4
HK1 40'	17 49 34 38 47 31 44 45 34 13 43 59 70 22 33	
SIN 20'	10 28 18 15 13 19 24 30 19 41 32 8 12 16 49	96.7
SIN 40'	43 5 31 39 30 73 46 19 26 21 32 41 52 29 74	

Fig. 2A.5 Transporter fra LGL.

til havn	forskellige udfald	gns TEU
HK1 20'	37 16 18 16 15 12 13 24 34 13 12 13 7 28	53.2
HK1 40'	19 18 10 5 17 21 36 13 13 2 23 13 24 29	
SIN 20'	44 48 29 21 36 59 33 53 39 30 17 32 33 56	93.5
SIN 40'	4 7 36 28 21 26 35 33 9 9 17 39 52 29	

Fig. 2A.6 Transporter fra OAK.

til havn	forskellige udfald	gns TEU
SIN 20'	12 4 5 15 2 2 6	24.9
SIN 40'	1 18 9 4 6 22 4	

Fig. 2A.7 Transporter fra HK1.

til havn forskellige udfald											46	gns TEU	
NYC	2o'	11	14	15	51	55	84	116	88	16	39	41	120.1
NYC	4o'	14	21	11	12	33	24	48	13	37	28		
PHI	2o'	21	8	8	7	9	15	4	2	17	3	18.2	
PHI	4o'	2	1	0	10	6	2	10	2	2	9		
BAL	2o'	38	7	2	3	4	6	2	8	8	6	26.8	
BAL	4o'	8	7	0	4	6	18	28	1	20	0		
CHS	2o'	0	4	0	3	3	3	3	1	0	6	10.7	
CHS	4o'	1	5	5	6	4	6	9	2	0	4		
HK2	2o'	10	24	8	11	5	10	6	10	1	6	22.5	
HK2	4o'	0	3	5	3	10	6	7	3	26	14		
KEE	2o'	3	6	4	1	8	0	2	0	2	4	5.8	
KEE	4o'	3	2	0	5	0	1	2	1	0	0		
KOB	2o'	6	24	2	11	15	5	6	5	16	16	24.8	
KOB	4o'	7	6	0	8	4	6	19	4	10	7		
TOY	2o'	0	7	0	2	3	5	7	2	2	12	8.0	
TOY	4o'	0	0	0	1	4	1	2	6	5	1		
LG2	2o'	8	33	25	%	21	21	34	19	25	50	59.5	
LG2	4o'	9	13	1	%	22	13	19	19	19	35		

Fig. 2A.8 Transporter fra SIN.

til havn forskellige udfald											gns TEU			
NYC	2o'	9	22	10	17	27	16	28	20	23	29	16	15	69.0
NYC	4o'	14	7	11	30	32	23	23	29	30	47	16	36	
PHI	2o'	3	0	3	1	3	2	2	3	3	3	1	2	9.2
PHI	4o'	3	0	1	6	3	2	5	3	3	9	2	5	
BAL	2o'	0	5	1	7	17	2	2	4	1	3	1	4	8.2
BAL	4o'	2	4	0	3	3	1	0	0	0	4	2	7	
CHS	2o'	0	1	0	2	8	2	1	4	0	2	1	1	7.5
CHS	4o'	0	1	0	1	5	6	3	4	1	6	3	4	
KEE	2o'	%	%	%	2	0	0	%	0	0	%	%	0	1.0
KEE	4o'	%	%	%	2	0	0	%	0	0	%	%	0	
KOB	2o'	%	%	%	1	1	0	%	1	0	%	%	0	2.8
KOB	4o'	%	%	%	0	4	0	%	1	0	%	%	2	
TOY	2o'	%	%	%	1	0	0	%	1	0	%	%	0	2.0
TOY	4o'	%	%	%	1	0	0	%	0	0	%	%	4	
LG2	2o'	%	%	%	%	16	17	%	10	5	%	%	13	40.2
LG2	4o'	%	%	%	%	14	23	%	16	7	%	%	10	

Fig. 2A.9 Transporter fra HK2.

til havn forskellige udfald		gns TEU
NYC 20'	18 11 14 23 23 46 19 16 20	67.8
NYC 40'	19 7 20 10 42 54 19 18 31	
PHI 20'	2 0 1 1 2 3 5 2 3	10.5
PHI 40'	5 2 3 6 4 6 1 4 7	
BAL 20'	3 1 3 4 5 3 5 3 3	19.1
BAL 40'	12 5 11 5 6 13 12 3 4	
CHS 20'	1 0 0 0 1 8 0 1 2	5.9
CHS 40'	3 0 0 0 1 14 1 0 1	
LG2 20'	4 8 5 % 14 12 9 5 20	52.9
LG2 40'	34 11 10 % 20 33 29 4 32	

Fig. 2A.10 Transporter fra KEE.

til havn forskellige udfald		gns TEU
NYC 20'	68 55 25 38 69 20 23 26 12 37	99.1
NYC 40'	45 22 21 29 31 13 15 29 24 74	
PHI 20'	2 14 10 13 10 2 7 4 8 4	19.9
PHI 40'	11 7 3 3 3 3 4 2 8 16	
BAL 20'	33 41 11 35 36 25 16 28 44 36	50.3
BAL 40'	18 8 3 5 6 17 3 16 3 20	
CHS 20'	9 9 5 0 3 7 3 0 0 1	14.6
CHS 40'	3 2 0 5 1 16 3 0 0 6	
LG2 20'	23 25 21 % 21 41 13 8 18 15	45.6
LG2 40'	14 8 4 % 18 28 4 11 12 14	

Fig. 2A.11 Transporter fra KOB.

til havn forskellige udfald		gns TEU
NYC 20'	28 16 12 39 28 54 45 23 6 40 22 24 27	69.8
NYC 40'	12 9 10 21 31 44 11 16 16 16 12 35 44	
PHI 20'	1 1 9 10 17 3 6 2 0 5 1 2 5	18.3
PHI 40'	24 1 0 1 6 20 4 0 2 8 3 9 9	
BAL 20'	5 13 5 7 17 11 13 2 1 8 14 3 20	26.5
BAL 40'	0 10 2 2 4 25 5 4 4 5 31 7 13	
CHS 20'	0 1 0 0 34 1 0 5 0 0 0 2 0	71.2
CHS 40'	0 3 0 0 4 13 2 0 0 0 0 2 1	
LG2 20'	14 % 36 % 41 10 7 29 1 46 12 17 24	67.0
LG2 40'	7 % 7 % 30 34 17 34 17 5 13 39 47	

Fig. 2A.12 Transporter fra TOY.

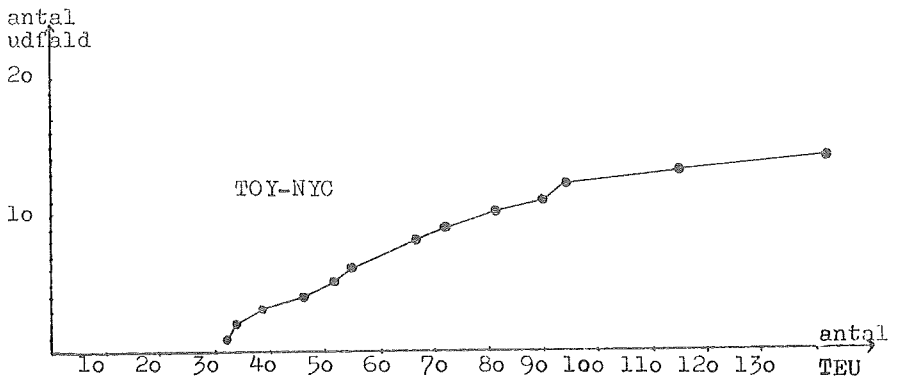
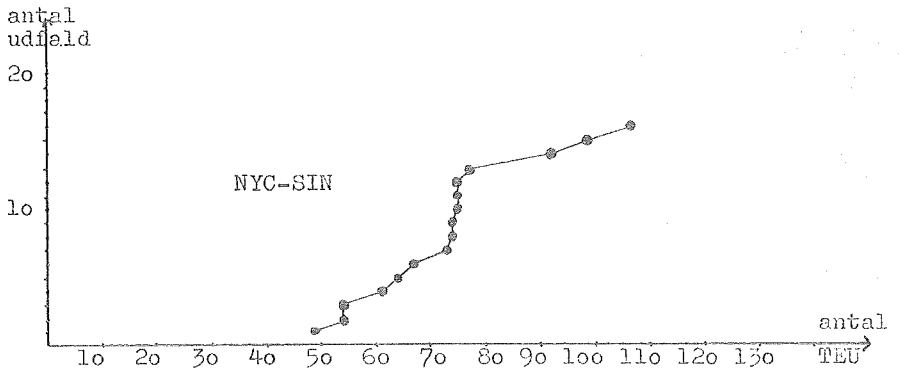
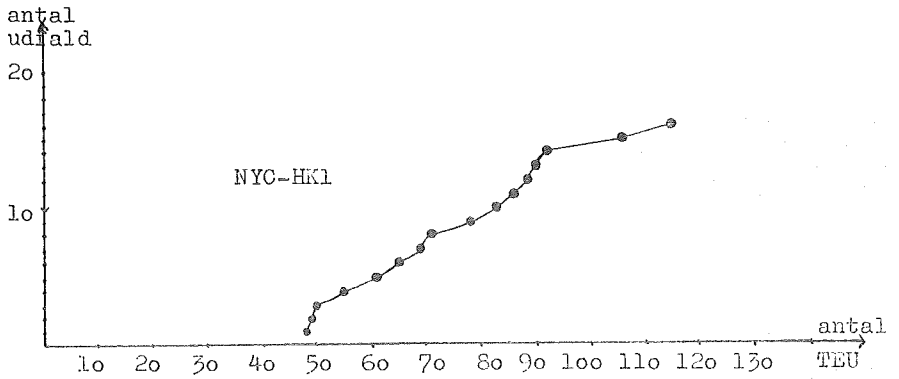


Fig. 2A.13 Fordelingen for visse transporter.



Antal shiftings.

Under gennemgangen af MCL's resultater har det været af væsentlig betydning for projektet at finde et estimat for antallet af foretagne shiftings pr. rute.

Disse er fundet for en række havneanløb i januar/februar måned 1976, og de observerede og gennemsnitlige størrelser er vist i fig. 2A.14.

Som det ses, er observationsmaterialet ofte meget beskedent. Dette medfører en betydelig usikkerhed omkring de estimerede værdier.

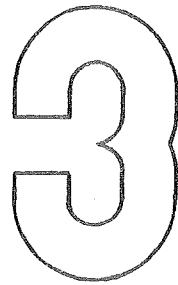
For hele ruten bliver det gennemsnitlige antal shiftings (udfra det foreliggende materiale) på 273.3 TEU-shiftings.

Det er især i Hong Kong, Kobe, Tokyo og Oakland havne, der foretages shiftings.

i havn	observeret shiftings									gns	gns TEU
NYC 20'	5	0	0	0	0	2	6	0	0	1.4	8.1
NYC 40'	1	1	0	2	16	3	1	1	5	3.3	
PHI 20'	3	0								1.5	8.5
PHI 40'	3	4								3.5	
BAL 20'	0	0	0	3	0					0.6	7.4
BAL 40'	0	2	9	4	2					3.4	
CHS 20'	0									0.0	4.0
CHS 40'	2									2.0	
LGL 20'	0	0	0							0.0	7.3
LGL 40'	9	0	2							3.7	
OAK 20'	26	4								15.0	29.0
OAK 40'	0	14								7.0	
HK1 20'	85	50	28	20	4	2				31.5	68.2
HK1 40'	26	5	1	30	35	13				18.4	
SIN 20'	1	2	0	12	21					7.2	24.4
SIN 40'	15	12	0	15	1					8.6	
HK2 20'	0	14	1							5.0	21.0
HK2 40'	1	23	0							8.0	
KEE 20'	2	6	0	0	0					1.6	14.0
KEE 40'	5	4	15	1	6					6.2	
KOB 20'	51	41	0	2	6	75				29.2	38.8
KOB 40'	1	7	0	12	1	8				4.8	
TOY 20'	3	0	6	2	1	0	0			1.7	25.7
TOY 40'	2	1	41	20	0	19	1			12.0	
LG2 20'	24	32	1	1	15	1				12.3	16.9
LG2 40'	2	8	0	0	4	0				2.3	

Fig 2A.14 Antal shiftings i forskellige havne.

PROBLEMAFGRÆNSNING OG -FORMULERING





### 3 PROBLEMAFGRÆNSNING OG -FORMULERING.

I dette kapitel vil problemafgrænsningen og en målsætning for løsningen af det afgrænsede problem blive præsenteret.

Planlægningen i det i kap. 2 betragtede system indeholder en række uafklarede problemer, som mere eller mindre afhænger af hinanden. Under problemafgrænsningen må man derfor gøre sig klart, at det delproblem, man vælger at behandle, skal kunne optræde som en helhed uden al for stor afhængighed af andre delproblemer. Det skal endvidere være muligt, for at behandlingen overhovedet skal kunne få nogen værdi, at opstille en operationel målsætning for det afgrænsede problem.

Dette projekts titel - "Stuvning af containerskibe v.h.a. EDB" - antyder formålet, at forsøge at finde frem til en optimal/acceptabel strategi for laste/losse-processen, og det er udfra dette formål, problemafgrænsningen foretages.

Målsætningen, udfra hvilken der skal planlægges i det afgræn-

sede system, opstilles på grundlag af de ønsker, beslutningstageren (i dette tilfælde MCL) har fremsat. Dette skal gøres, så målsætningen bliver operationel i det afgrænsede system.

### 3.1 Primær problemafgrænsning.

Det betragtede problem kan kort formuleres som:

At planlægge losse/laste-processen for et containerskib, så der sikres en rimelig opfyldelse af den opstillede målsætning for beslutningsprocessen.

Losse/laste-processen kan opdeles i en række delprocesser, som hver for sig skal planlægges under behørig hensyntagen til de andre. Følgende delprocesser kan nævnes:

- 1 - Containerernes oplagring på terminalområdet.
- 2 - Containerernes transport til kajanlægget.
- 3 - Lastning af containerskibet.
- 4 - Losning af containerskibet.
- 5 - Containerernes transport fra kajanlægget.
- 6 - Containerernes oplagring på terminalområdet.

I rækkefølgen af punkterne er antydnet en tidsproces. Denne tidsproces er set fra den enkelte container, men den burde egentlig ses fra skibet eller fra kajanlægget. Det er nemlig her knudepunkterne befinder sig. En sådan, mere reel, betragtning vil medføre en sammenblanding af punkterne 1 til 6; alle skal udføres samtidig.

Punkterne 1,2,5 og 6 kan betegnes som konsekvenser af den valgte lastning og losning. Lagerpladsen på terminalen bør i princippet være et spejlbillede af skibet, hvis til- og fra-transporten skal ske uden for mange containerrockeringer. Hvis terminalområdet og terminalens transportsystem blot er tilstrækkeligt fleksibelt, vil den egentlige planlægningsproces kunne skæres ned til at omfatte punkterne 3 og 4.

Problemet afgrænses hermed til at omfatte losningen og lastningen af skibet, og det øvrige terminalsystem forudsættes ikke at volde problemer, der kan influere herpå.

Dette medfører, at grundlaget for planlægningsprocessen må ligge i det enkelte containerskib samt i de transportbehov, containerskibet bliver sat til at dække. Planlægningsprocessen skal derfor følge det enkelte skib og ikke den enkelte havn.

### 3.2 Målsætning for beslutningsprocessen.

En god målsætning for en beslutningsproces skal være overskuelig og operationel set fra operationsanalytikerens side. Samtidig skal den indeholde beslutningstagerens ønsker/præferencer, selvom disse ofte er implicit givne.

Kravet om operationalitet er af største væsentlighed, hvor planlægningen og beslutningsprocessen bygger på en modellering af virkeligheden. Spørgsmålet er blot, om beslutningstagerens målsætning (-er) kan operationaliseres?

### Omkostningerne.

Et meget naturligt og ofte valgt mål er at få så lave omkostninger som muligt. På hvilken måde påvirkes omkostningerne nu af losse/laste-processen?

For det første er der den direkte udgift til losning og lastning. Denne omkostning er i de fleste havne (se kap. 2.4) proportional med antallet af operationer og er derfor let at måle.

For det andet spiller tidsfaktoren ind. En direkte tidsafhængig omkostning er havnepengene, og en mere indirekte tidsafhængig omkostning er uproduktiviteten af skib og mandskab ved havneophold. Tidsforbruget kan ikke antages at være proportionalt med antallet af operationer, men der er dog en så stærk afhængighed mellem dem at de kan substitueres med hinanden. Et minimalt antal operationer vil, alt andet lige, også medføre et minimalt tidsforbrug.

#### Skibets stabilitet.

Skibet skal, både i havn og på åben sø, have en så god stabilitet, at der ikke opstår fare for hverken mennesker, skib eller last. At sikre en mindste stabilitet kan derfor ikke betegnes som en målsætning, men nærmere som en betingelse.

Imidlertid vil det være en målsætning at sikre en så god stabilitet som muligt. Opfyldelse af dette vil influere på i hvert fald to forhold. Det vil for det første muliggøre en enten hurtigere eller mere økonomisk sejlads, og hermed bliver det en omkostningsmålsætning. For det andet vil skibet være lettere at manøvrere og det vil give en blødere og mere behagelig sejlads. Sidste forhold er af immateriel art. Det er endvidere væsentligt, da det er vanskeligt at skaffe godt mandskab til containerflåden.

#### Målsætning for beslutningsprocessen.

Den i projektet anvendte målsætning bliver følgende:



- 1 - At foretage færrest mulige losse/laste-operationer.
- 2 - At sikre en så god stabilitet af skibet som muligt.

Den første målsætning er højstprioriteret. Vi ønsker at bringe antallet af losse/laste-operationer så langt ned som muligt, og dette skal gøres indenfor visse tekniske begrænsninger (skibets stabilitet e.t.c). Når denne målsætning er opfyldt, skal vi finde den vægtfordeling af containerne, der giver den bedst opnåelige stabilitet med det nu givne antal losse/laste-operationer.

### 3.3 Sekundær afgrænsning.

Af praktiske grunde er det nødvendigt at foretage nogle forudsætninger om systemet. Disse forudsætninger harmonerer ikke altid med en realistisk betragtning, men modelbygning svarer jo til at afbilde virkeligheden så tilpas abstrakt, at modellen kan anvendes og løses. Det er dog et ønske at kunne indbygge de realiteter i modellen, som forudsætningerne afskærer (se kap. 8).

### Losning/lastning.

Da omkostningerne ved kranfunktionen ofte beregnes pr. containerflytning, vil de samlede kranomkostninger ikke forandres, hvis vi simplificerer processen og forudsætter at skibet losses før det lastes. På denne måde vil tidsbegrebet blive forandret, da antallet af losninger plus lastninger ikke kan antages at være proportionalt med tilen. Dette forhold spiller imidlertid ingen rolle (se kap. 3.2). At vi overhovedet ønsker at losningen er sket før lastningen, skyldes mere modeltekniske end praktiske grunde. Forudsætningen er da heller ikke gældende under den praktiske udførelse.

Containerne.

Der antages kun at være én slags containere. Dette gøres på trods af at der i virkeligheden ikke er en dominerende containertype. Nu synes det måske, at denne antagelse gør det afgrænsede system for irrelevant, men ganske ukritisk er forudsætningen ikke gjort. Hvis vi betragter et almindeligt containerskib, vil det indeholde et vist antal celler til 20' containere og et vist antal celler til 40' containere. I sidstnævnte kan der medtages to 20' containere, og disse containerceller vil normalt være i stort overtal (se kap 2.1). Hvis man derfor forestiller sig at alle 20' containerne kobles sammen to og to (NB til samme destination), vil der i hver havn højst være 1 20' container til hver destination i overskud. Denne rest er sjældent betydende. Ved at undlade at betjene 20' cellerne og de nævnte rester bliver problemet konverteret til kun at omfatte én type container. Hertil kommer at den største specialgruppe, Reefer-containerer, så godt som altid er 40' containere. Så selvom abstraktionen er væsentlig, gør den dog ikke problemstillingen uinteressant.

Skibet.

Containerskibet skal nu kun indeholde én slags celler.

Endvidere forudsættes, at samme containersøjle på dækket aldrig kan stå på to forskellige dæksluger (fig. 3.3.1).

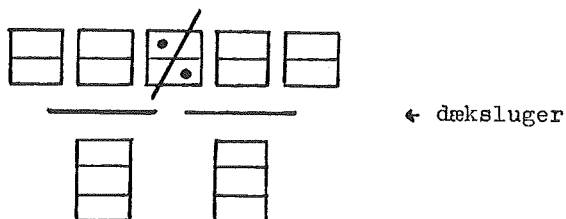


Fig. 3.3.1

Ruten.

Vi forudsætter, at ruten ikke kan have form af en evig cirkel. Skibet skal tømmes helt mindst én gang for hvert omløb af ruten. Dette er nødvendigt for at kunne løse problemet eksakt, da vi ellers skal medregne havnene i det uendelige.

Transportbehovene.

Det må endelig forudsættes, at de transporterede containere kun kan have én mulig destination. Denne forudsætning er kun en indskrænkning for de tomme containeres vedkommende, da de reelt tages ud af skibet, når der er behov herfor. Denne mulighed bevares dog stadigvæk i praksis, men vi må kræve, under modelbygningen, at vi, når skibet befinder sig i en havn, kender destinationen på alle de containere, der skal med.

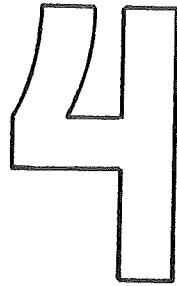
3.4 Problemformulering.

Med de nævnte afgrænsninger i systemet og den anførte målsætning kan problemet formuleres som:

Planlæg losse/laste-processen (find successive pakkeplaner) for et containerskib, der kan modtage én slags containere, og som sejler i fast rutefart med mindst en havn, hvor skibet er helt tomt. Planlægningen skal ske ud fra et ønske om at gøre det nødvendige antal containerflytninger så lille som muligt, og der skal sekundært sikres så god en stabilitet for skibet som muligt.



MATEMATISK MODELFORMULERING





#### 4 MATEMATISK MODELFORMULERING.

Når man anvender operationsanalyse på et beslutningsproblem må man hele tiden gøre sig forskellen mellem modelbygning og modelløsning klart.

Modellen er et system, der afspejler et andet system, virkeligheden. Denne afspejling kan ske på flere forskellige abstraktionsniveauer, jo lavere et niveau des mere ligner modellen virkeligheden. Specielt er en matematisk model en systematisk matematisering af sammenhængene i det virkelige system.

Modelløsningen derimod er et forsøg på at udnytte de i modellen beskrevne sammenhænge, og denne udnyttelse er ikke bundet af modelformuleringen. At et beslutningsproblem i virkeligheden bliver formuleret som en LP-model betyder ikke, at løsningen nødvendigvis skal foregå v.h.a. lineær programmering.

I dette kapitel foretages en matematisk modelopbygning af det

beskrevne system. Formålet med dette er både at kunne anvende modellen til problemløsning og at have beskrevet sammenhænge-  
ne i systemet på en klar og logisk måde.

Den i kap. 3.2 opstillede målsætning indeholder et primært og et sekundært mål. I det følgende kapitel udelades det sekundære mål (stabiliteten af skibet). Dette gøres for at kunne relaxere vægtproblemet (-begrænsningerne), og dermed helt undlade vægtbetragtninger.

Først foretages selve konstruktionen af modellen, der introduceres variable og målsætningen matematiseres. Herefter præsenteres den færdige model, og efter en forklaring af modellen vurderes dennes anvendelighed.

Under hele modelkonstruktionen har det været et overordnet ønske, at den endelige model skulle være lineær.

#### 4.1 Modelkonstruktion.

##### Procesbeskrivelse.

Vi ønsker at formulere en matematisk model med lavest mulig abstraktion fra det virkelige system. Til dette formål vil vi beskrive processen i systemet:

- 1 - Skibet ankommer til havn  $r$ .
- 2 - Skibet losses for alle de containere der har  $r$  som destination samt for alle de containere der ligger i vejen for ovennævnte samt for de containere der, hvis de blev liggende, ville umuliggøre en optimal løsning.



3 - Skibet lastes med alle de containere der har  $r$  som oprindelse samt de containere der blev "fejlløstet".

4 - Skibet sejler til havn  $r+1$ .

Der er i havn  $r$  sket en forandring med skibet, og det er denne forandring, der er resultatet af den førte losse/laste-politik.

### Billede af skibet.

Denne forandring må nu beskrives på en måde, der gør den matematisk anvendelig. Hertil kan anvendes et matematisk "billede" af skibet før og efter losningen. Forskellen mellem de to billeder er netop forandringen i skibet. Vi definerer et sæt af variable  $\{x\}$  som

$$x_{r,s,t,u} = \begin{cases} 1 & \text{hvis der på plads } t, u \text{ befin-} \\ & \text{der sig en container til havn} \\ & s \text{ efter lastningen i havn } r. \\ 0 & \text{ellers.} \end{cases}$$

Denne variabel giver et fuldstændigt billede af skibet under sejladsen mellem havn  $r$  og havn  $r + 1$ .

### Målsætningen.

Spørgsmålet er nu, om man kan udtrykke den ønskede målsætning ved ovennævnte variabelsæt. Målsætningen er, at minimere antallet af losse plus laste operationer på hele ruten. Umiddelbart kan man måle antallet af operationer i havn  $r$  som størrelsen

$$\sum_s \sum_t \sum_u |x_{r-1,s,t,u} - x_{r,s,t,u}| \quad ,$$

men denne størrelse tæller ikke tilstrækkeligt. Man kan tænke sig, at forskellen bliver nul, selvom containeren på pladsen har været taget ud og ind af samme celle (se fig. 4.1.1 ). Da der ikke skelnes mellem containere til samme destination (vægtproblemet er jo relaxeret), behøver det ikke at være den selv samme container, der er taget ud og ind.

Variabelsættet  $\{x\}$  er åbenbart ikke tilstrækkeligt til en simpel operationalisering af målsætningen. Der indføres derfor to nye variabelsæt  $\{y\}$  og  $\{z\}$  :

$$y_{r,t,u} = \begin{cases} 1 & \text{hvis containeren på plads} \\ & \text{t.u losses i havn r.} \\ 0 & \text{ellers.} \end{cases}$$

og

$$z_{r,t,u} = \begin{cases} 1 & \text{hvis der i havn r lastes en} \\ & \text{container på plads t,u.} \\ 0 & \text{ellers.} \end{cases}$$

Målsætningen kan nu klart formuleres:

$$4.1.1 \quad \text{minimer} \left\{ \sum_r \sum_t \sum_u (y_{r,t,u} + z_{r,t,u}) \right\}$$

#### 4.2 Den matematiske model.

Ved hjælp af variabelsættene  $\{x\}$ ,  $\{y\}$  og  $\{z\}$  kan vi nu opstille en matematisk model af det afgrænsede system.

$$4.2.1 \quad \min \left\{ \sum_r \sum_t \sum_u (y_{r,t,u} + z_{r,t,u}) \right\}$$

begrænset af

$$4.2.2 \quad \sum_t \sum_u y_{r,t,u} - \sum_t \sum_u z_{r,t,u} = \sum_{i=1}^{r-1} b_{i,r} - \sum_{j=r+1}^{d_{\max}} b_{r,i} \quad \forall_r$$

$$4.2.3 \quad y_{r,t,u} - x_{r-1,r,t,u} \geq 0 \quad \forall_{r,t,u:r \geq 2}$$

$$4.2.4 \quad y_{r,t,u} - y_{r,t,u-1} - \sum_{j=r}^{d_{\max}} x_{r-1,j,t,u} \geq -1 \quad \forall_{r,t,u:r \geq 2, u \geq 2}$$

$$4.2.5 \quad y_{r,t,u} - z_{r,t,u} - \sum_{j=r}^{d_{\max}} x_{r-1,j,t,u} \geq -1 \quad \forall_{r,t,u:r \geq 2}$$

$$4.2.6 \quad \sum_{j=r+1}^{d_{\max}} x_{r,j,t,u} - \sum_{j=r+1}^{d_{\max}} \sum_u x_{r,j,t,u} \geq 0 \quad \forall_{r,t,t';u:r < d_{\max}}$$

$$4.2.7 \quad y_{r,t,u} + \sum_{j=r}^{d_{\max}} \sum_u x_{r-1,j,t',u} - y_{r,t',1} \leq 1 \quad \forall_{r,t,t',u:r \geq 2}$$

$$4.2.8 \quad \sum_t \sum_u x_{r,s,t,u} = \sum_{i=1}^r b_{i,s} \quad \forall_{r,s:s > r}$$

$$4.2.9 \quad x_{r-1,s,t,u} - x_{r,s,t,u} - \sum_{j=r}^{d_{\max}} x_{r-1,j,t,u} + y_{r,t,u} \geq -1 \quad \forall_{r,s,t,u:r \geq 2, s > r}$$

$$4.2.10 \quad \sum_{s=r+1}^{d_{\max}} x_{r,s,t,u} \leq 1 \quad \forall_{r,t,u}$$

$$4.2.11 \quad x_{r,s,t,u} = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases}, \quad y_{r,t,u} = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases}, \quad z_{r,t,u} = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases} \quad \forall_{r,s,t,u}$$

4.2.1

Kriteriefunktionen udtrykker den ønskede målsætning, at minimere det samlede antal operationer. Heri er indbefattet de containere, der omlæsses (shiftes).

4.2.2

Denne begrænsning sørger for at det vi losses for meget også bliver lastet igen. Forskellen mellem alt det vi losses,  $\{y\}$ , og det vi laster,  $\{z\}$ , skal netop være forskellen mellem antallet af containere der har havn  $r$  som destination,  $b_{*,r}$ , og antallet af containere der har havn  $r$  som oprindelse,  $b_{r,*}$ .

Opmærksomheden må her henledes på at størrelserne  $b$  ikke umiddelbart kan antages at være deterministiske.

4.2.3

På denne måde sikres, at en container, der har havn  $r$  som destination, også bliver losses i havn  $r$ . At der lige før havn  $r$  befinder sig en container på plads  $t, u$ , der har havn  $r$  som destination, er karakteriseret ved at  $x_{r-1,r,t,u} = 1$ . Når det er tilfældet skal der også losses, og det betyder at  $y_{r,t,u} = 1$  skal være opfyldt.

4.2.4

Hvis en container på plads  $t, u-1$  skal losses (af den ene eller anden årsag) skal alle de overliggende containere i søjlen også losses. Dette ville begrænsningen:

$$y_{r,t,u} - y_{r,t,u-1} \geq 0$$

$$\forall r,t,u: u \geq 2$$

have sørget for. Nu skal  $y_{r,t,u}$  imidlertid kun tvinges til at være 1 hvis der er noget at losse, så ovenanførte begrænsning skal kun gælde hvis der lige før havn  $r$  befandt sig en container på plads  $t,u$ . Dette svarer til:

$$\sum_{j=r}^{dmax} x_{r-1,j,t,u} = 1 \quad ,$$

og herved opstår begrænsningen 4.2.4.

#### 4.2.5

På denne måde sikres at vi på plads  $t,u$  kun kan laste,  $\{z\}$ , såfremt vi enten lige har losset,  $\{y\}$ , eller såfremt der ikke befandt sig en container i cellen lige før havn  $r$ .

#### 4.2.6

Med 4.2.6 og 7 indføres, at de betragtede søjler hører sammen omkring dækslugerne (kap. ). 4.2.6 sikrer at der, til et hvilket som helst tidspunkt, ikke vil kunne findes containere over en dæksluge, hvis der er tomme celler under dækslugen. Disse skal i den optimale situation først fyldes.  $t$ -indekset i det første led løber over alle søjler under dækket.  $t'$ -indekset løber for hver  $t$  værdi gennem alle de søjler, der befinder sig over dækket på den til  $t$  tilhørende dæksluge.

Betingelsen er imidlertid ikke tilstrækkelig alene. Den tillader at containerne i det øverste lag under dækslugen bliver "skiftet" ud. Vi må derfor supplere med:

#### 4.2.7

som sikrer, at hvis en container losses fra en søjle under

	$y_{r,t,u} + \sum_{j=r}^{dmax} \sum_u x_{r-1,j,t',u} - y_{r,t',l}$
Hvis en container losses fra søjle under dæk og	
1 - der ingen containere er i de tilhørende søjler over dækket:	1 + 0 - 0/1
2 - der er containere i de tilhørende søjler over dækket:	1 + 1 - 1

Fig. 4.2.1 Variabelsammenhæng i begrænsning 4.2.7.

-----

$$x_{r-1,s,t,u} - x_{r,s,t,u} - \sum_{j=r}^{dmax} x_{r-1,j,t,u} + y_{r,t,u}$$

		0	-	0	-	0	+	0 = 0
los- ses	las-	0	-	0/1	-	0	+	0 = 0
	tes	0/1	-	0/1	-	1	+	1 = 0
		0/1	-	0/1	-	1	+	0 = -1

Fig. 4.2.2 Variabelsammenhæng i begrænsning 4.2.9.

dæk, er der enten ingen containere i de tilhørende søjler over dækket, eller også losses der nederste container i hver af disse søjler (og dermed resten iflg. begrænsning 4.2.4). Fig. 4.2.1 viser sammenhængen mellem de forskellige variable. En tilsvarende begrænsning med lasteprocessen er implicit givet af 4.2.6 og 7.

#### 4.2.8

Dette er begrænsningen der sikrer behovet opfyldt. For hver destination og efter hver havn sikres, at det rette antal containere befinder sig i skibet.

#### 4.2.9

Vi har med 4.2.3 og 4 sikret, at hvis en container skal ud eller ønskes ud, så bliver den også talt med i kriteriefunktionen. Men vi mangler stadig at garantere, at to containere ikke bytter celle uden at det bliver registreret. Hvad dette vil sige, er vist med fig. 4.2.2. Hvis vi vil sikre os herimod, skal vi forlange:

$$4.2.9a \quad x_{r-1,s,t,u} - x_{r,s,t,u} = 0$$

såfremt vi befinder os i det nederste af søjlen, hvor  $y_{r,t,u}=0$ . For at kunne benytte os af de skematiserede resultater i fig. 4.2.2, må vi formulere 4.2.9a som:

$$4.2.9b \quad x_{r-1,s,t,u} - x_{r,s,t,u} = 0 \quad .$$

4.2.9a og 4.2.9b er ensbetydende, da en ombytning af to containere vil resultere i både en positiv (for ét s) og i en negativ (for et andet s) værdi af forskellen for hver af de i ombytningen implicerede celler. Begrænsningen fremkommer herefter let.

4.2.10

Den sidste begrænsning sørger for, at der aldrig befinder sig flere containere i samme celle.

4.3 Vurdering af modellen.

Som tidligere nævnt kan der være to formål med at bygge en matematisk model. En vurdering af modellen må da også foretages på baggrund af begge disse formål.

Umiddelbart fremtræder modellen 4.2.1-11 som meget kompleks og tildels svært gennemskuelig. Men trods dette giver den et udmærket indtryk af de forskellige sammenhænge i en søjle og mellem de enkelte søjler. Modellen, og nok især modelbygningen, har bidraget væsentligt til en forståelse af systemet og de problemer, der ligger heri.

Men efter denne konstatering må man spørge: Kan modellen anvendes? Kan vi løse det opstillede problem v.h.a. modellen?

Modellen er bevidst bygget, så den er lineær og alle variable er 0-1 variable. Der foreligger imidlertid to forhold som vanskeliggør (umuliggør) en eksakt løsning af modellen.

4.3.1 Modellens størrelse.

Antallet af variable og begrænsninger afhænger af følgende størrelser:



1 - Antallet af søjler i skibet	=	sojm
2 - Disses længde (i celler)	=	sojl(i)
3 - Antallet af celler i skibet	=	$n = \sum_{i=1}^{sojm} sojl(i)$
4 - Antallet af havneanløb	=	dmax
5 - Ca. antal søjler over hver dæksluge	=	g

Det totale antal 0-1 variable bliver:

{x}	=	$\frac{1}{2} \cdot dmax \cdot (dmax-1) \cdot n$
{y}	=	$(dmax-1) \cdot n$
{z}	=	$(dmax-1) \cdot n$
total	=	$\frac{1}{2} \cdot (dmax-2) \cdot (dmax-1) \cdot n$

$x_{r,s,t,u}$  er kun defineret for  $r=1, dmax-1$  og  $s > r$ .

$y_{1,t,u}$  og  $z_{dmax,t,u}$  er givet 0.

Antallet af begrænsninger bliver:

4.2.2	=	dmax
4.2.3	=	$(dmax-1) \cdot n$
4.2.4	=	$(dmax-1) \cdot (n-sojm)$
4.2.5	=	$(dmax-1) \cdot n$
4.2.6	$\approx$	$\frac{1}{2} \cdot (dmax-1) \cdot n \cdot g$

$$\begin{aligned}
 4.2.7 & \approx \frac{1}{2} \cdot (d_{\max} - 1) \cdot n \cdot g \\
 4.2.8 & = \frac{1}{2} \cdot d_{\max} \cdot (d_{\max} - 1) \\
 4.2.9 & = (d_{\max} - 2) \cdot n \\
 4.2.10 & = (d_{\max} - 1) \cdot n
 \end{aligned}$$

For et relevant problem ( $d_{\max} = 13$ ,  $sojm = 100$ ,  $n = 1300$ ,  $g = 8$ ) bliver størrelserne:

$$\begin{aligned}
 \text{Antal variable} & = 132.600 \\
 \text{Antal begrænsninger} & \approx 142.800
 \end{aligned}$$

Et mindre problem ( $d_{\max} = 5$ ,  $sojm = 4$ ,  $n = 32$ ,  $g = 2$ ) vil give følgende størrelser:

$$\begin{aligned}
 \text{Antal variable} & = 576 \\
 \text{Antal begrænsninger} & \approx 750
 \end{aligned}$$

Disse størrelser viser klart, at modellen, som den er nu, i praksis er umulig at løse direkte. Det mindre (test-) problem, der svarer til et containerskib med kun 4 søjler og en meget kort rute, vil nok kunne løses, alt andet lige, men det har faktisk ingen relation til virkeligheden.

#### 4.3.2 Modellens stokastik.

Det er imidlertid ikke korrekt at regne behovsmatricen  $\underline{b}$  for deterministisk. Når vi skal planlægge pakningen af et skib en hel rute igennem kender vi sjældent behovet for containertransport i andre end de allernærmeste havne (se fig. 2.3.6).

Under en deterministisk løsning af model 4.2.1-11 skal vi kende alle behovene for transport for hele ruten. Hvis vi derfor ønsker at løse modellen direkte må vi anvende stokastiske løsningsmetoder (til 0-1 programmering!!).

#### 4.3.4 Vurdering.

Model 4.2.1-11, anvendt på et realistisk problem, kan gives følgende karakteristika:

- 1 - Det er en lineær 0-1 programmeringsmodel,
- 2 - med et astronomisk antal variable,
- 3 - hvori der indgår stokastiske elementer.

En endelig konklusion er derfor, at den i hvert fald ikke kan løses ved almindelige løsningsmetoder.



FORSLAG TIL MODELØSNING

5



## 5 FORSLAG TIL MODELLESNING.

I kap. 4.3 konkluderedes, at den opstillede model ikke umiddelbart kunne anvendes til løsning. To forhold gjorde sig klart gældende. For det første blev den endelige model alt for stor, og for det andet indgik der stokastiske elementer i begrænsningerne.

I dette kapitel er fremsat nogle forslag til løsning af modellen. Disse forslag indeholder forsøg på at omgå ovennævnte problemer, og på den måde muliggøre en reel løsning. I kapitlet er kun medtaget de metoder, der ikke er anvendt i praksis.

Det første problem, der behandles, er stokasticiteten af modellen. Vi danner i princippet en deterministisk ækvivalent til model 4.2.1-11.

Herefter foretages en opsplitning af modellen, der svarer til en primal dekomposition. Vi fordeler de forskellige behov på hver søjle, og opdeler derved modellen i mindre enheder.

Der præsenteres en løsningsmetode til én-søjle-problemet og i appendix til kapitlet gennemgås denne yderligere.

### 5.1 Deterministisk model.

Begrænsning 4.2.2 og 8 i model 4.2.1-11 har stokastiske højresider, og det er bl.a. dette forhold, der gør en løsning af modellen v.h.a. standardmetoder for besværlig.

Vi vil nu forsøge at konstruere en deterministisk model, d.v.s., at vi vil fordre kendskab til de fremtidige behov, så både begrænsning 4.2.2 og 8 får deterministiske højresider.

Vor viden til det fremtidige behov bygger på de fortidige udfald af behovene og på en formodning om, at fremtidens behov følger fordelingen for fortidens behov.

Med denne viden vil det være muligt at opstille en "deterministisk ækvivalent" (Jensson, 1974) for begrænsningen. I stedet for  $\underline{b}$ , som er stokastisk, indsættes  $\underline{w}$ , som er deterministisk og afhængig af  $\underline{b}$ . Denne afhængighed kan for det enkelte element  $r, s$  beskrives ved

$$\text{prob} \{ b_{r,s} \leq w_{r,s} \} = \alpha_{r,s} \quad .$$

I fig. 2.3.5 er afbildet et typisk sæt af variable  $b_{r,s}$ . Jo længere tid der er til udfaldet skal ske, des dårligere viden har man om udfaldet. I fig. 5.1.1 er det samme sæt af variable vist med ovennævnte fraktiler indtegnet (for en fastlagt værdi af  $\alpha_{r,s}$ ). Udfaldet af  $w$  i havn  $o$  (nu) er bestemt på forhånd, da der ingen spredning er på  $b_{o,*}$ .

Begrænsning 4.2.2 kan herefter skrives som:



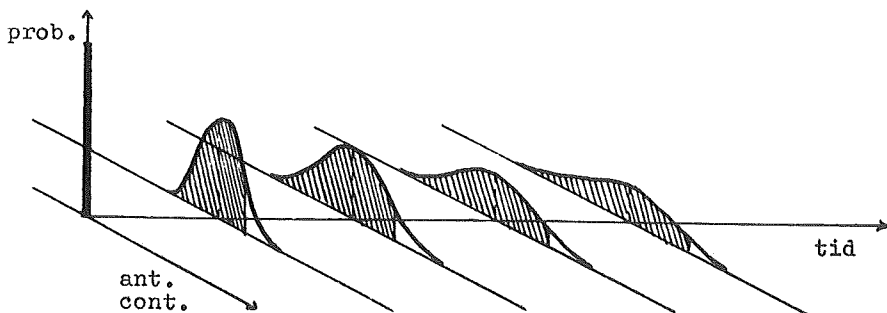


Fig. 5.1.1

$$5.1.1 \quad \sum_t \sum_u y_{r,t,u} - \sum_t \sum_u z_{r,t,u} = \sum_{i=1}^{r-1} w_{i,r} - \sum_{j=r+1}^{d_{\max}} w_{r,j} \quad \forall r$$

og begrænsning 4.2.8 som:

$$5.1.2 \quad \sum_t \sum_u x_{r,t,u} = \sum_{i=1}^r w_{i,s}$$

Modellen indeholder herefter kun deterministiske størrelser.

At opstille en deterministisk ækvivalent på denne måde betyder, at vi reserverer et antal celler til hver transport, der egentlig forventes at blive for stort. Da vi imidlertid ikke skal anvende planlægningen for andre end den nuværende havn, vil dette ikke gøre en sådan planlægning mindre anvendelig.

### Valg af fraktil.

Når vi skal vælge størrelserne  $w$  skal det ske på grundlag af den ønskede sandsynlighed for opfyldelse.

Normalt vil man ønske at maksimere denne sandsynlighed, men i dette tilfælde er et sådant ønske ikke så fremtrædende.

Dette skyldes igen at vi først og fremmest skal planlægge losse/laste-processen for havn = 0, hvor  $w$  er uafhængig af  $\alpha$ .

Endvidere består begrænsningernes højresider af en sum af stokastiske variable, hvilket vil sikre begrænsningens opfyldelse en større sandsynlighed end den for de enkelte variable.

## 5.2 Opsplitning af den deterministiske model.

Den fremkomne model indeholder, som angivet i kap. 4.3, over 100.000 0-1 variable og ligeså mange begrænsninger, hvis man da betragter et realistisk problem.

Dette forhold kunne lede tankerne hen på dekomposition. Kan man opsplitte modellen i mindre, håndterbare enheder, og derved muliggøre løsning af problemet?

Det stillede spørgsmål besvares ved for det første at undersøge om man har mulighed for at dele modellen og for det andet om en sådan opdeling kan resultere i en løsning af hele modellen.

### 5.2.1 Primal dekomposition.

En primal dekomposition (Madsen, 1973) er en opdeling af højresiderne og en tildeling af de fremkomne delhøjresider til de enkelte iøvrigt disjunkte variabelsæt.

Med undtagelse af begrænsningerne 4.2.2,6,7 og 8 vil modellen kunne splittes op for hver søjle. De eneste fælleslementer i modellen er transportbehovene og sammenhængen omkring dækslugerne.

Vi foretager nu en opdeling af transportbehovene. En sådan opdeling kan foretages, så sammenhængen omkring dækslugerne ikke ødelægges. Man kan nemlig sikre at søjlerne på en dæksluger er tomme, når noget skal losses eller lastes i søjlerne under dækslugen. Hvis der skal foretages "uoptimale" lastninger (se definition fig. 6.4.3) svarer dette til at man opdeler en containertransport i to selvstændige transporter (f.eks.  $w_{1,6} = w_{1,3} + w_{3,6}$ ).

Resultatet bliver en række losse/laste-problemer for hver søjle i skibet. Hvis disse små problemer kan løses, og man i øvrigt kan omfordele og opdele transportbehovet (udfra løsning af delproblemerne) så man får konvergens mod optimum, er der foretaget en primal dekomposition og vi kan løse problemet.

Denne dekomposition er dog ikke helt normal, da selve fordelingsprocessen også skal være optimumssøgende.

### 5.2.2 En-søjle-problemet.

Modellen for en-søjle-problemet bliver:

$$5.2.1 \quad \min \left\{ \sum_r \sum_u (y_{r,u} + z_{r,u}) \right\}$$

b.a.

$$5.2.2 \quad \sum_u y_{r,u} - \sum_u z_{r,u} = \sum_{i=1}^{r-1} w'_{i,r} - \sum_{j=r+1}^{dmax} w'_{r,j} \quad \forall r$$

$$5.2.3 \quad y_{r,u} - x_{r-1,r,u} \geq 0 \quad \forall r, u: r \geq 2$$

$$5.2.4 \quad y_{r,u} - y_{r,u-1} - \sum_{j=r}^{dmax} x_{r-1,j,u} \geq -1 \quad \forall r, u: r \geq 2, u \geq 2$$

$$5.2.5 \quad y_{r,u} - z_{r,u} - \sum_{j=r}^{dmax} x_{r-1,j,u} \geq -1 \quad \forall r, u: r \geq 2$$

$$5.2.6 \quad \sum_u x_{r,s,u} = \sum_{i=1}^r w'_{i,s} \quad \forall r, s: r < dmax, s > r$$

$$5.2.7 \quad x_{r-1,s,u} - x_{r,s,u} - \sum_{j=r}^{dmax} x_{r-1,j,u} + y_{r,u} \geq -1 \quad \forall r, s, u: r \geq 2, s > r$$

$$5.2.8 \quad \sum_{s=r+1}^{dmax} x_{r,s,u} \leq 1 \quad \forall r, u$$

$$5.2.9 \quad x_{r,s,u} = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases}, \quad y_{r,u} = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases}, \quad z_{r,u} = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases} \quad \forall r, s, u$$

Forklaring af de enkelte begrænsninger er givet i kap. 4.2.

Modellen kan gøres simplere endnu, men her er valgt at vise den model, der fremkommer lige efter dekompositionen.

Vi er nu nået ned på en modelstørrelse, der er mulig at løse. Der vil for et normalt problem (en søjle med 7 celler og en rute på 13 havne) være godt 1000 0-1 variable, og det er et omend meget stort så dog løseligt problem. En sådan løsning er dog ikke forsøgt.

### 5.2.3 Branch-and-bound-algoritme.

En-søjle-problemet er derimod løst ved hjælp af en slags branch-and-bound algoritme.

Ideen i algoritmen kan kort beskrives:

- 1 - Vi finder alle mulige billeder af søjlen efter den første havn, og beregner et mindste antal shiftings for hver af disse billeder.
- 2 - Det bedste billede (med mindst antal shiftings indtil videre) anvendes i næste havn. Ud fra dette dannes igen alle mulige billeder af søjlen efter næste havn og det mindste antal shiftings for hvert billede beregnes.
- 3 - Det bedste billede (eventuelt fra tidligere havne) findes og således fortsættes indtil ruten er gennemgået, og der ikke kan findes tidligere billeder, der har et mindre antal shiftings end det endelige.

Man gennemgår i princippet samtlige mulige løsninger/lastninger, men udelukker alle, der ikke har mulighed for at blive optimale.

I appendix til dette kapitel beskrives metoden yderligere, og samtidig præsenteres resultater.

#### 5.2.4 Omfordeling af højresiderne.

Hvadenten en-søjle-problemet er løst på den ene eller anden måde skal de enkelte søjlers løsning kobles sammen og højresiderne skal omfordeles.

Denne omfordeling foregår i almindelig primal dekomposition v.h.a. skyggepriserne på fællesbegrænsningerne. Som nævnt i kap. 5.2.1 er det imidlertid ikke en almindelig primal dekomposition, der er foretaget. Der skal også foretages beslutninger under omfordelingsprocessen.

Hvis man derfor ønsker at løse den deterministiske model ved at opdele den for hver søjle, må man finde en effektiv fordelingsprocedure, der tager hensyn til dækslugeproblematikken og til en mulig opsplitning af behovene.

En sådan procedure er ikke forsøgt fundet. Dette skyldes bl.a. at problemet forekommer så komplekst at en effektiv procedure vil være meget svær (umulig) at konstruere. Endvidere viser praktisk kendskab til containersystemet, at den enkelte søjle sjældent vil have en indviklet losse/laste-proces. Hele optimeringsproblemet vil derfor blive overladt til fordelingsproceduren, og så er der ikke vundet noget ved dekompositionen.

#### 5.3 Konklusion.

Vi har i dette kapitel forsøgt at behandle de problemer, der gjorde, at en direkte løsning af model 4.2.1-11 ikke var mulig.

Det er lykkedes at fjerne stokastikken i modellen på en acceptabel måde, og der er opstillet en deterministisk 0-1 programmeringsmodel.

Modellens størrelse er det imidlertid ikke lykkedes at bringe ned på et acceptabelt niveau. Modellen kan ganske vist opdeles i små enheder, men denne opdeling muliggør ikke en løsning af hele problemet.

Et væsentligt resultat af opdelingen er dog den konstruerede løsningsmetode til en-søjle-problemet. Selvom denne ikke kan anvendes i forbindelse med containersystemet, har den værdi som generel løsningsmetode for analoge problemer. Af sådanne kan tænkes den succesive pakning af et éndimensionalt lager, sammenkobling af togvogne e.t.c..

Men hovedkonklusionen af kapitlet må være, at det ikke med de foretagne forsøg har vist sig muligt at løse modellen direkte.





### Appendix 5A Løsningsmetode til én-søjle problemet.

I dette appendix præsenteres den konstruerede løsningsmetode til en-søjle-problemet.

#### Problemformulering.

Problemet kan kort formuleres som:

Planlæg losse/laste-processen for en containersøjle. Transportbehovet for havn  $r$  til havn  $s$  er givet ved  $r = 1, d_{\max} - 1$ ,  $s = r + 1, d_{\max}$ . Søjlen har et givet antal celler, og den kan altid tilfredsstille de opståede behov. Målsætningen for planlægningen er at få så få shiftings som muligt.

#### Branch-and-Bound.

Vi ønsker at anvende branch-and-bound ideen, og måoen vi gør det på kan kort skitseres som vist på fig. 5A.1

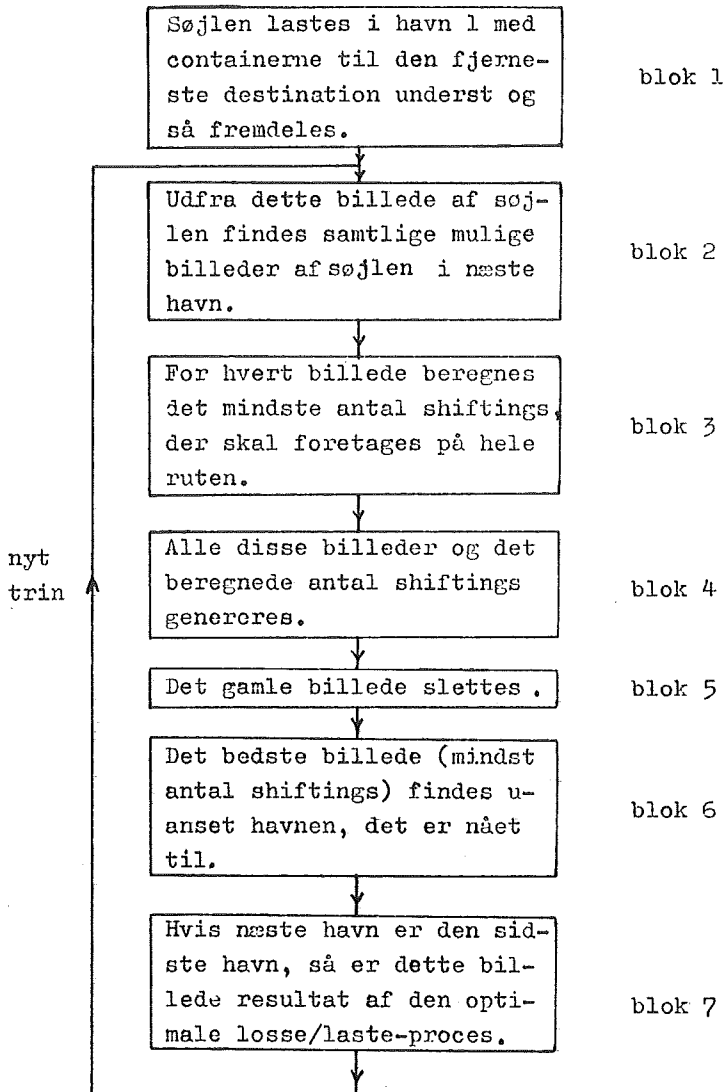


Fig. 5A.1

De enkelte blokke bliver i det følgende kort kommenteret. Udover denne gennemgang henvises der til programteksten i bilag 2.

### Blok 1.

Vi starter med en tom søjle. Det er klart at vi skal laste containere med fjernest destination underst i søjlen. Under ingen omstændigheder, hverken nu eller senere, vil det kunne betale sig at laste containerne i omvendt rækkefølge. Vi vil da blot danne ekstra shiftings.

### Blok 2.

Vi står nu med et billede af søjlen i en havn, og vi skal finde samtlige mulige billeder af skibet i næste havn. Det er selvfølgelig ikke alle muligheder, der skal undersøges. Efter losningen i næste havn kan vi vælge at losse mere ud end nødvendigt. Dette "mere", der losses ud, skal selvfølgelig vælges med fornuft, så vi i hvert tilfælde ikke indfører shiftings nu uden at spare nogle senere.

4
4
5
7
7
8
9
11
11

efter losning  
i havn 3

6
4
4
5
7
7
8
9
11
11

billede 1

4
4
5
6
7
7
8
9
11
11

billede 2

4
4
6
5
7
7
8
9
11
11

billede 3

Fig. 5A.2

I fig. 5A.2 er vist et eksempel på dette. Der skal lastes en container til havn 6. Der er vist to mulige optimale billeder og et muligt, men garanteret uoptimalt billede efter lastningen. Vi skal selvfølgelig kun medtage de mulige optimale billeder.

### Blok 3.

Det mindste antal shiftings, der skal foretages på hele ruten, er for et givet billede det antal shiftings, der er foretaget indtil nu, plus det antal shiftings, vi kan garantere skal foretages i næste havn. På fig. 5A.2 vil billedet 1 medføre mindst 1 shifing i havn 4 (G'erne skal ud) og på billede 2 er der ingen garanterede shiftings i havn 4, men der indførte vi til gengæld 3 shiftings i havn 3.

På denne måde beregnes for alle billeder et mindst antal shiftings for hele ruten.

### Blok 4,5 og 6.

Vi skal gennem disse billeder, og dette skal gøres, så vi har let ved at finde det bedste billede næste gang. Der henvises her til programteksten, bilag 2.

### Blok 7.

Første gang en gren bliver færdig har vi også den optimale gren. Vi har hele tiden undersøgt den gren med færrest shiftings indtil videre. Da der ikke er nogle shiftings i den sidste havn (alt skal ud) er vi sikre på at vi ikke kan opnå færre shiftings end ved denne gren.

### Resultater.

Algoritmen er programmeret og afprøvet for en søjle med 10 celler og en rute med 10 havne. Det er forudsat, at søjlen altid er fyldt helt. Denne forudsætning er let at omgå; man kan blot fylde eventuelle tomme pladser med "falske" containere til næste havn. Disse containere har aldrig nogen indflydelse.

Resultaterne for 5 forskellige udfald af transportbehovet er vist i figurerne 5A.3 - 7.

Antallet af trin er identisk med antallet af gennemgange af flowet, fig. 5A.1, og hvert trin bruger ca. 0,01 sec. i execution-time på IBM 370/165.

### Vurdering.

Når det tages i betragtning, at proceduren "løser" model 5.2.1-9, en lineær 0-1 programmeringsmodel med godt 1000 variable, må hovedkonklusionen være at proceduren fungerer effektivt.

Med beregningstider på mellem  $\frac{1}{4}$  og  $\frac{3}{4}$  sekund for de anførte eksempler (der dårligt kan gøres mere indviklede), kan man også betegne proceduren som hurtig.

Det er altså lykkedes at konstruere en løsningsmetode til en søjle-problemet.

PLAN 1:

til fra havn:  
havn: / 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

2	5									
3	0	2								
4	0	0	3	1						
5	1	0	0	1						
6	0	0	0	2	0					
7	3	0	0	0	0	1				
8	1	0	0	1	0	0	0			
9	0	0	1	0	0	0	2	1		
10	0	0	0	0	0	1	0	1	1	
11	0	0	0	0	2	0	2	0	3	3

Transportmatricen:

DEN ENDELIGE PAKKEPLAN ER FUNDET EFTER 70 TRIN AF PROCEDUREN

PAKKEPLANEN ER SOM FØLGER:

SØJLEPLADS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PAKKEARBEJDE	HERAF SPILD
I HAVN 1	2	2	2	2	2	5	7	7	7	8	10	0
I HAVN 2	3	4	4	4	4	7	7	7	7	8	5	0
I HAVN 3	4	4	4	4	4	5	7	7	7	8	2	0
I HAVN 4	5	6	6	6	6	8	9	9	9	8	2	2
I HAVN 5	11	11	11	11	11	8	9	9	9	8	6	0
I HAVN 6	7	8	8	8	8	9	9	9	9	8	2	2
I HAVN 7	8	10	10	10	10	11	11	11	11	11	4	6
I HAVN 8	9	10	10	10	10	11	11	11	11	11	10	0
I HAVN 9	10	10	10	11	11	11	11	11	11	11	6	0
I HAVN 10	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	3	0
TOTAL:											50	12

Fig. 5A.3 Resultat af en-søjle-problemet.

PLAN 2:

		til fra havn:											
havn:		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
2	1												
3	0	1											
4	2	0	0										
5	1	0	0	1									
6	0	0	1	0	1								
7	2	0	0	1	0	0							
8	1	0	0	0	1	2	1						
9	1	0	0	0	0	0	0	3					
10	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1			
11	2	0	0	0	0	0	0	0	1	3	4		

Transportmatrice:

DEN ENDELIGE PAKKEPLAN ER FUNDET EFTER 26 TRIN AF PROCEDUREN

PAKKEPLANEN ER SOM FØLGER:

SØJLEPLADS		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PAKKEARBEJDE	HERAF SPILD
I	HAVN 1	2										10	0
I	HAVN 2	4	4									1	0
I	HAVN 3	6	4	4	5							4	0
I	HAVN 4	5	5	6	7	7	8	8	9	11	11	2	0
I	HAVN 5	6	8	6	7	7	7	8	9	11	11	3	1
I	HAVN 6	8	8	8	7	7	7	8	9	11	11	7	4
I	HAVN 7	8	8	8	8	6	10	10	10	11	11	8	3
I	HAVN 8	6	9	9	10	10	10	10	11	11	11	4	0
I	HAVN 9	10	11	11	11	10	10	11	11	11	11	7	0
I	HAVN 10	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	0	3
TOTAL:												47	13

Fig. 5A.4 Resultat af en-søjle-problemet.

PLAN 2:

		til fra havn:									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
havn:	2	8									
	3	0	1								
	4	1	0	0							
	5	0	0	0	1						
	6	0	4	0	0	0					
	7	0	2	0	0	0	0				
	8	0	0	0	0	1	1	0			
	9	0	1	0	0	0	1	1	1		
	10	0	0	1	0	0	2	0	0	2	
	11	1	0	0	0	0	0	1	1	2	5

Transportmatrice:

DEN ENDELIGE PAKKEPLAN ER FUNDET EFTER 61 TRIN AF PROCEDUREN

PAKKEPLANEN ER SOM FØLGER:

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PAKKEARBEJDE	HERAF SPILD
I HAVN 1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	10	0
I HAVN 2	3	4	6	6	6	6	6	7	7	7	7	19	1
I HAVN 3	10	4	6	6	6	6	6	7	7	7	7	1	0
I HAVN 4	8	10	6	6	6	6	6	7	7	7	7	1	0
I HAVN 5	7	10	6	6	6	6	6	7	7	7	7	1	0
I HAVN 6	7	17	8	8	8	8	8	10	10	10	10	9	5
I HAVN 7	9	11	8	8	8	8	8	10	10	10	10	2	0
I HAVN 8	9	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	4	2
I HAVN 9	10	10	10	10	10	10	10	11	11	11	11	9	5
I HAVN 10	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	5	0
TOTAL:												52	14

Fig. 5A.5 Resultat af en-søjle-problemet.



PLAN 4:

	til fra havn:										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
havn:	4										
2		3									
3		2	1								
4		1	2	1							
5		0	1	2	1						
6		0	0	0	2	1					
7		0	0	0	0	2	1				
8		0	0	0	0	0	2	1			
9		0	0	0	0	0	1	2	1		
10		0	0	0	0	0	1	2	1	0	
11		0	0	0	0	0	0	0	2	4	4

Transportmatrice:

DEN ENDELIGE PAKKEPLAN ER FUNDET EFTER 51 TRIN AF PROCEDUREN

PAKKEPLANEN ER SOM FØLGER:

SØJLEPLADS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PAKKEARBEJDE	HERAF SPILD
I HAVN 1												
I HAVN 2	2	3	6	5	5	4	4	5	5	5	10	0
I HAVN 3	3	6	5	4	4	4	5	5	6	5	9	5
I HAVN 4	5	5	4	4	6	6	6	6	7	7	3	0
I HAVN 5	7	8	8	9	6	6	6	6	7	7	10	7
I HAVN 6	7	7	7	8	8	8	8	9	9	10	4	0
I HAVN 7	9	10	10	8	8	8	9	9	9	10	10	6
I HAVN 8	9	9	9	9	10	10	10	10	11	11	13	0
I HAVN 9	11	11	11	11	10	10	10	10	11	11	10	7
I HAVN 10	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	8	0
TOTAL:											71	29

Fig. 5A.6 Resultat af en-søjle-problemet.

PLAN 5:

		til fra havn:									
		havn:									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	1										
3	2	0									
4	3	1	0								
5	2	0	1	0							
6	1	0	1	2	0						
7	1	0	0	0	1	0					
8	0	0	0	2	1	1	0				
9	0	0	0	0	0	1	0	0			
10	0	0	0	0	0	2	0	1	1		
11	0	0	0	0	1	0	2	3	0	4	

Transportmatrice:

DEN ENDELIGE PAKKEPLAN ER FUNDET EFTER 70 TRIN AF PROCEDUREN

PAKKEPLANEN ER SOM FØLGER:

SØJLEPLADS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PAKKEARBEJDE	HERAF SPILD
I HAVN 1												
I HAVN 2	2	4	4	2	2	5	7	7	7	8	10	0
I HAVN 3	3	4	4	4	4	5	7	7	7	8	5	0
I HAVN 4	4	5	6	6	8	9	7	7	7	8	2	0
I HAVN 5	11	11	6	6	8	9	7	7	7	8	6	0
I HAVN 6	7	10	11	11	8	9	7	7	7	8	2	2
I HAVN 7	8	10	11	9	9	10	11	11	11	11	4	6
I HAVN 8	9	10	9	9	9	10	11	11	11	11	10	0
I HAVN 9	10	10	10	11	11	11	11	11	11	11	2	0
I HAVN 10	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	6	0
TOTAL:											50	12

Fig. 5A.7 Resultat af en-søjle-problemet.

LØSNINGSMETODE





## 6 LØSNINGSMETODE.

I dette kapitel præsenteres den konstruerede løsningsmetode. En lang række betydende forhold har været afgørende for metodevalget. Med baggrund i bl.a. metodeforslagene i kap. 5 og disses ulemper er problemformuleringen ændret til en mere praktisk anvendelig dog uden at ændre betydningen.

Metodevalget kan karakteriseres som en heuristik, der anvender nogle velunderbyggede beslutningsregler. Der anvendes endvidere en statistisk beslutningsprocedure, og heri ligger det egentlige optimalitetssøgende i heuristikken.

Først beskrives den ændrede problemformulering, og herefter opremses nogle ønsker til den endelige metodes egenskaber.

Vægtproblemet, som hidtil har været relaxeret, tages nu med i betragtning for dog straks at blive udskilt til et (næsten) selvstændigt problem.

Den endelige løsningsmetode gennemgås herefter. Dette gøres uden at gå i detaljer. Først gennemgås den statistiske beslutningsmetode, derefter den udførende del af metoden og endelig betragtes vægtproblemet. Detaljerne præsenteres i et vist omfang i appendices til dette kapitel.

Efter gennemgangen af løsningsmetoden bliver denne vurderet. Vurderingen af dens værdi som løsningsværktøj bliver dog først foretaget i næste kapitel.

### 6.1 Ny problemformulering.

I de indtil nu foreslåede løsningsmetoder benyttes en tankegang, der kan skitseres som vist på fig. 6.1.1.

Man planlægger i hver havn losse/laste-processen for resten,

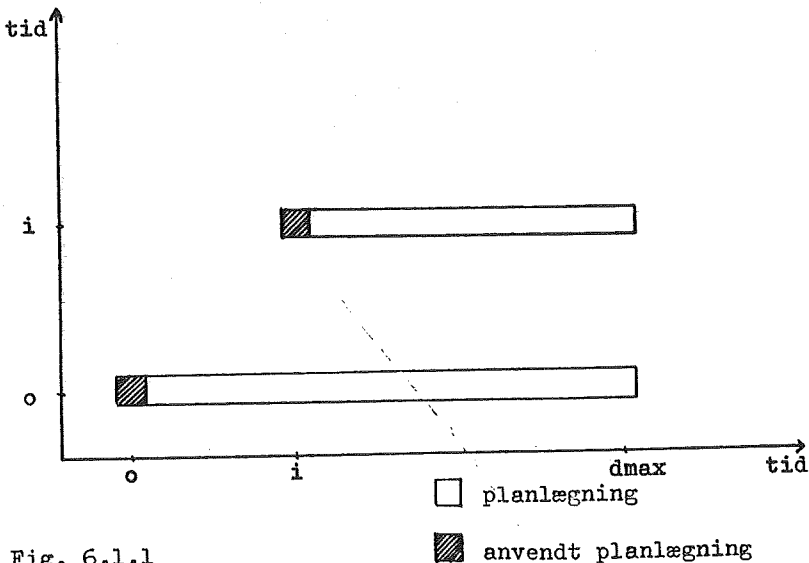


Fig. 6.1.1

men man anvender kun resultatet for den første havn. Så snart man ankommer til den næste havn har man ny viden om den stokastiske variabel  $b$  og man må derfor planlægge det hele påny.

Det kan imidlertid føles lidt omsomt at producere færdige pakkeplaner, der aldrig vil komme i anvendelse.

Disse betragtninger resulterer i en opsplittning af problemformuleringen (kap. 3.4), så der kun skal planlægges for én havn, dog under behørig hensyntagen til de senere havnes stokastiske behov for containertransport.

Det er denne problemformulering, der anvendes under løsningsmetoden.

## 6.2 Ønskede modelegenskaber.

### 6.2.1 Stokastikken.

Usikkerhed omkring behovsbestemmelse er i de foreslåede løsningsmetoder blevet taget i betragtning på en sådan måde (deterministisk ækvivalent, kap. 5.1), at man sikrer en vis sandsynlighed ( $> 0.5$ ) for at skibet kan betjene de fremtidige behov. Det fordrer at man reserverer et antal celler til hver destination, der er større end det forventede forbrug.

Med nyopdelingen af problemet, præsenteret i kap 6.1, er det ikke længere nødvendigt at fordele de senere behov i skibet,

før de opstår. Vi skal kun finde pakkeplaner for den aktuelle havn.

På denne måde sikres en større fleksibilitet under modelløsningen uden at hensynet til de fremtidige behov behøver at blive mindre.

Vi ønsker at træffe beslutningerne (nu) på grundlag af de mere eller mindre usikre behov (senere). Resultatet bliver da et ønske om anvendelse af statistisk beslutningsteori under en eller anden form.

### 6.2.2 Ruterne.

Mange containerskibe i fast rutedrift vil aldrig blive helt tomte. Der kan for disse ikke opstilles en endelig rute, og det vanskeliggør i høj grad de foreslåede løsningsmetoder.

Derfor forudsatte vi også (kap. 3.3) at ruterne var endelige.

Dette krav ønsker vi at fjerne, og det foregår noget lettere med den nye problemformulering (kap. 6.1).

Ganske vist har den faktiske rute, vi benytter senere (kap. 7.1), en fast endestation hvor skibet er helt tomt, men meto-  
dikken skulle gerne kunne anvendes på andre ruter også.

### 6.2.3 Transportbehovet.

Vi har indtil nu forudsat at skibet kan betjene de opståede transportbehov. Med den store spredning der er på variabelen  $\underline{p}$ , vil det imidlertid kunne tænkes, at skibet undertiden må afvise containere. Dette forhold ønsker vi bygget med ind i løsningsmetoden.



### 6.3 Stabilitetsproblemerne.

I de to foregående kapitler er vægtproblemet relaxeret. Under alle omstændigheder spiller dette for stor en rolle til at blive glemt, hvadenten det optræder som begrænsning på containerplaceringen eller som optimalitetskriterium.

Der er to forskellige måder hvorved man i en heuristisk procedure kan indbygge stabilitetsproblemet. Det illustreres ved fig. 6.3.1. Enten indeholder heuristikken direkte hensyntagen til skibets stabilitet eller også foretages fordelingen af containernes vægt selvstændigt efter fordelingen af containerne. Der må i sidstnævnte tilfælde være mulighed for en tilbagekobling, hvis der med den givne containerfordeling ikke kan skaffes en acceptabel stabilitet.

I den konstruerede heuristik er metode 2 benyttet.

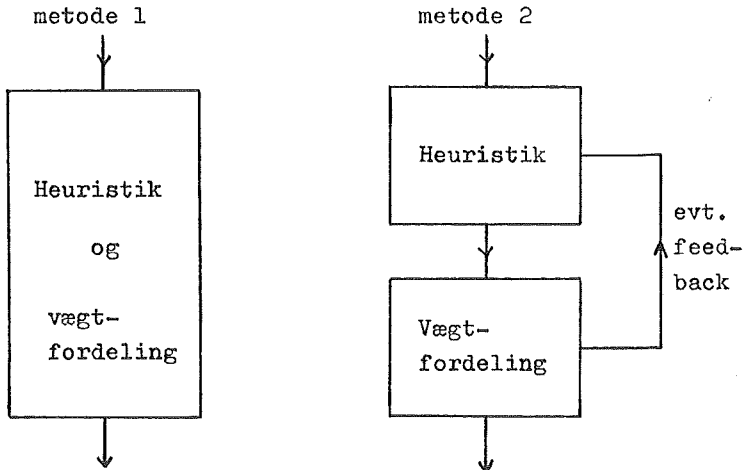


Fig. 6.3.1

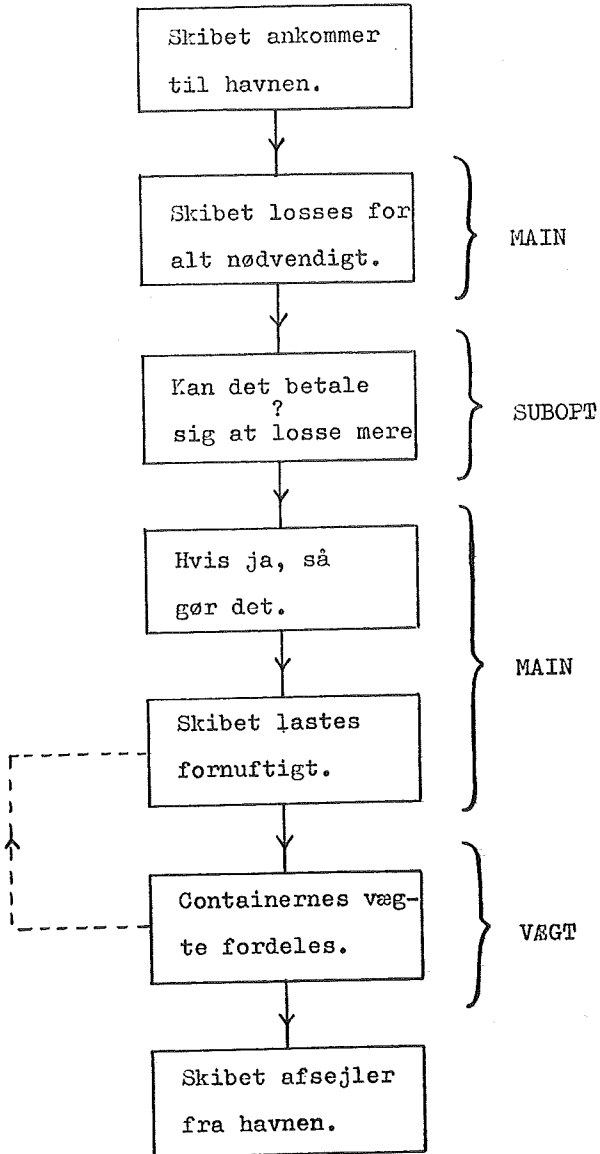


Fig. 6.4.1

## 6.4 Løsningsmetoden.

Vi vil nu præsentere den valgte løsningsmetode, der er en sammenblanding af en statistisk beslutningsproces og en heuristisk procedure.

Metoden kan skitseres ved et flow-diagram, fig. 6.4.1.

Som nævnt i kap. 6.3 bygger metoden bl.a. på en opdeling af problemet (kap. 3.4) i to næsten uafhængige dele; et placeringsproblem og et vægtproblem. Først forsøges den primære målsætning opfyldt, og derefter den sekundære.

### 6.4.1 "SUBOPT".

Vi ønsker at losse/laste-operationernes antal bliver minimalt, ikke for den enkelte havn, men for hele ruten. Det kan nu meget vel tænkes, at den optimale pakkeplan for hele ruten ikke er optimal i de enkelte havne, eller sagt på en anden måde, at vi skal indføre nogle ekstra (p.t. unødige) operationer for at gøre det samlede resultat optimalt.

Dette forhold kan lettest illustreres ved et eksempel.

Ex. 6.4.1 se fig. 6.4.2. Vi har et containerskib med to søjler. Skibets ene søjle indeholder 2 containere til havn 5 og 2 containere til havn 3, og skibet skal lastes med 4 containere til havn 2. Vi kan vælge enten at laste skibet uden videre eller at losse de 2 containere til havn 3 og derefter laste de 4 containere til havn 2 + de to containere til havn 3. Resultatet ses af figuren. I havn 1 skal der lastes 4 containere til havn 4. Udlosningen af containere sker uden konflikter i det øverste tilfælde, hvorimod vi helt sikkert skal foretage 4 unødige losse- og lasteoperationer i det andet tilfælde (containerne til havn 4 skal fjernes inden

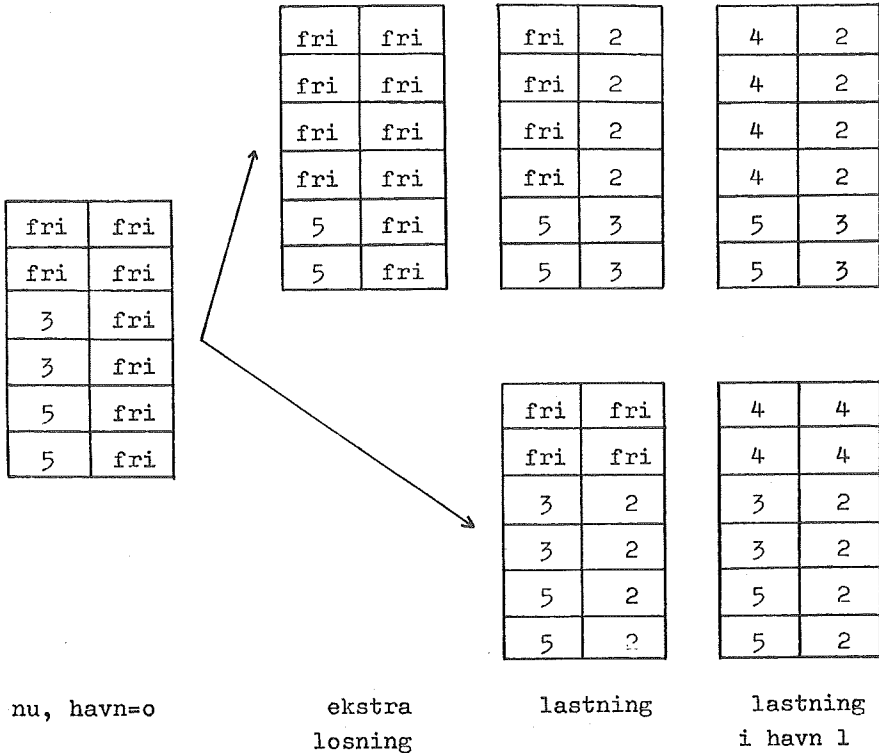


Fig. 6.4.2

både containerne til havn 2 og 3 kan komme ud). Vi kan altså, mod at indføre 2 operationer i havn 0, spare 4 operationer senere.

Det svære punkt ligger nu i at estimere antallet af "spild" operationer senere, som følge af den aktuelle losse/laste politik.

Til dette formål er der konstrueret en routine, SUBOPT, der v.h.a. en simuleringsproces finder fordelingerne for det fremtidige behov for celler til de forskellige destinationer. Simuleringsprocessen bygger på de tidligere udfald af behovene.

Herefter benyttes for alle søjler og søjlebundter argumenter i analogi med ex. 6.3.1, og resultaterne heraf anvendes under losseproceduren.

Et kald af SUBOPT med et givet skib og transportbehov i havnen vil medføre en liste over de søjler eller søjlebundter, hvoraf der skal losses mere end forventet.

For eksakt behandling henvises til appendix 6A.

#### 6.4.2 MAIN.

Som angivet i fig. 6.4.1 er der en hovedprocedure, MAIN, der varetager den virkelige behandling af skibet. MAIN skal først losse skibet for alt, der er nødvendigt, og for det af SUBOPT indikerede. Dernæst skal skibet lastes med de containere, der udgør transportbehovet i den aktuelle havn.

#### Losning af skibet.

Når skibet ankommer til havn i, skal følgende containere losses ud:

- 1 - containere der har havn i som destination.
- 2 - containere der ligger i vejen for 1.
- 3 - containere der skal losses iflg. SUBOPT.

De førstnævnte containere udgår af proceduren efter de er losset. Resten skal lastes igen, og de må derfor indgå i det endelige transportbehov fra havn i.

Lastning af skibet.

Skibet skal efter flowdiagrammet (fig. 6.4.1) lastes fornuftigt, men hvad forstås ved en "fornuftig" lastning?

I det følgende bliver en "fornuftig" lastning defineret som en lastning, der:

- 1 - såvidt muligt dækker transportbehovet.
- 2 - sikrer gode muligheder for at dække de senere transportbehov.
- 3 - sikrer at så få containere lastes, så det medfører shiftings (uoptimal lastning se fig. 6.4.3).

Disse forhold skal tages i betragtning under opbygning af den heuristiske laste-proces.

Man kan, på grundlag af definitionen i fig. 6.4.3, nemt overbevise sig om, at man i hvert tilfælde ikke risikerer flere shiftings (uoptimale lastninger) ved at laste de containere, der har den fjerneste destination, først og så fremdeles, end man ville ved en vilkårlig lasterækkefølge.

4
4
5
6
6

optimal

5
4
4
6
6

uoptimal lastning

Fig. 6.4.3 Definition på optimal og uoptimal lastning.

I lasteprocessen vil vi derfor vælge en lasterækkefølge givet ved flowdiagrammet fig. 6.4.4. Dette betyder ikke, at lastningen i praksis skal foregå på samme måde, blot resultatet er det samme.

Vi antager nu, at vi befinder os på et vilkårligt tidspunkt af lasteprocessen, og vi skal til at laste containerne til havn  $k$ . Alle containere, der skal længere end havn  $k$ , er enten blevet lastet optimalt, eller også er de foreløbig udeladt af betragtning (de kunne ikke lastes optimalt). Vi ønsker nu at finde (konstruere) beslutningsregler for lastningen af containerne til havn  $k$ .

Hertil vil vi foretage en prioritering mellem søjlerne i skibet. Grundidéen i denne prioritering er, at vi ønsker at bevare de bedste muligheder for den senere lastning ved at prioritere de søjler, der så at sige ødelægger færrest senere lastemuligheder, højst.

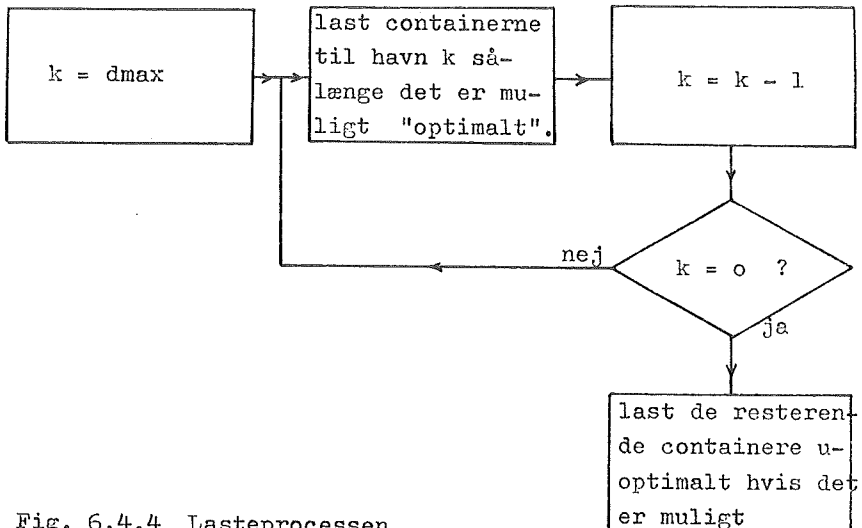


Fig. 6.4.4 Lasteprocessen.

Prioriteringen foretages på tre niveauer:

- 1 - Hver søjle tildeles en prioritet afhængig af hvilke containere (efter destination), der kan lastes optimalt i søjlen.
- 2 - Halvfylde søjler og/eller søjlebundter under dækket tildeles høj prioritet.
- 3 - Søjlerne tildeles en forudbestemt prioritet, dannet udfra stabilitetsbetragtninger.

I appendix 6B er MAIN beskrevet i detaljer. Resultatet af MAIN er en tildeling af celler til hver destination.

### 6.4.3 VÆGT.

Efter at containerne er blevet lastet uden hensyn til disses vægt, foreligger der følgende beslutningsproblem.

For hver destination skal de givne vægte placeres i de til destinationen allokerede celler. Dette skal gøres ud fra et ønske om at gøre skibets stabilitet så god som mulig.

I kap. 2.1 er begrænsningerne for containernes vægtfordeling gennemgået. Begrænsningerne er:

$$6.4.1 \text{ (se fig. 2.1.2)} \quad |m_1| \leq m_{1\max}$$

$$6.4.2 \text{ (se fig. 2.1.2)} \quad |m_t| \leq m_{t\max}$$

$$6.4.3 \text{ (se fig. 2.1.3)} \quad |m_{t_i}| \leq m_{t_i\max}$$

$$6.4.4 \text{ (se fig. 2.1.3)} \quad \left| \sum_{j=1}^i m_{t_j} \right| \leq m_{t_i\max 1}, \quad i=2, n-1$$



Vi ønsker containerskibets stabilitet så god som mulig. 6.4.1 og 2 angiver begrænsninger på skibets stabilitet, mens 6.4.3 og 4 blot er skibstekniske begrænsninger. Når vi ønsker at måle stabiliteten af skibet, må  $m_{1\max}$  og  $m_{t\max}$  indgå som hovedfaktorer. Da ingen af disse kan siges at være overordnet, vil en rimelig målsætning være at minimere en vægtet sum af de to faktorer.

### Simpel model.

En simpel model af beslutningsproblemet kan opstilles:

$$\begin{array}{lll}
 6.4.5 & \min \{ c_1 x_1 + c_2 x_2 \} & \\
 & \text{b.a.} & \\
 6.4.6a & m_1 - x_1 & \leq 0 \\
 6.4.6b & -m_1 - x_1 & \leq 0 \\
 6.4.6c & x_1 & \leq m_{1\max} \\
 6.4.7a & \sum_{i=1}^n m_{t_i} - x_2 & \leq 0 \\
 6.4.7b & -(\sum_{i=1}^n m_{t_i}) - x_2 & \leq 0 \\
 6.4.7c & x_2 & \leq m_{t\max} \\
 6.4.8 & \text{som 6.4.3} & \\
 6.4.9 & \text{som 6.4.4} & \\
 6.4.10 & x_1, x_2 & \geq 0
 \end{array}$$

Beslutningsvariablene i denne model er indeholdt i momentberegningerne, og momenterne i modellen er blot resultaterne heraf.

Modellen er kontinuert, men vi kan ikke opstille begrænsninger, der sikrer at containernes vægte, som er givne størrelser, bliver brugt rigtigt.

Hertil må vi opstille en 0-1 programmeringsmodel. Alle containerne inddeles i  $p$  vægtklasser, og for hver celle, hvor der skal placeres en vægt, indføres  $p-1$  0-1 variable. Denne model kan ses i appendix til kapitlet.

#### Praktisk fremgangsmåde.

Heltalsmodellen forsøges løst ved anvendelse af kontinuert lineærprogrammering.

I hver celle indføres en kontinuert variabel (vægt) og model 6.4.5-10 løses kontinuert. Disse kontinuerte variable repræsenterer de reelle vægte af containere, der skal med skibet, men der er ingen garanti for variablene efter løsningen vil antage disse værdier.

Hvert variabelsæt, der repræsenterer containere til samme destination, tildeles derfor en øvre og en nedre grænse, der svarer til den tungeste og letteste container, der skal til denne destination. Desuden forlanger vi at summen af variablene i sættet skal være lig summen af containernes vægte.

Udfra den kontinuerte løsning kan de reelle containere lastes ind. Dette gøres ved at konvertere den kontinuerte løsning til en rangfølge (for hvert sæt), og derved finde containernes lasterækkefølge.

Hvis den endelige lastning medfører en for dårlig stabilitet, kan man evt. først foretage en del af lastningen og herefter

løse det nye problem e.t.c..

Metoden er skitseret i fig. 6.4.5.

For yderligere gennemgang henvises til appendix 6C.

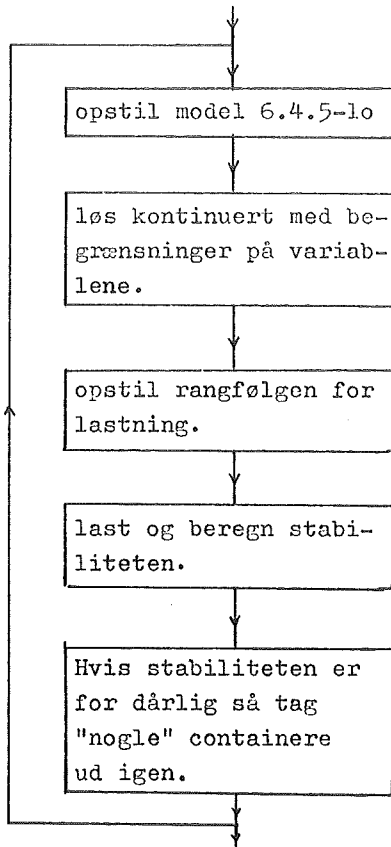


Fig. 6.4.5

## 6.5 Vurdering af metoden.

I dette kapitel gives en kortfattet vurdering af løsningsmetoden. For en mere indgående vurdering bl.a. på grundlag af praktiske metodeanvendelser henvises til kap.7.4.

Vi har opstillet en løsningsmetode, der først og fremmest opdeler problemet i to. Dette gøres udfra en formodning om, at vægtproblemet nok kan løses (i hvert tilfælde til feasibility) med den givne allokering af celler til destinationer.

Denne formodning kan hverken be- eller afkræftes endeligt. I visse ekstremesituationer vil der nok kunne opstå problemer, men det mest tænkelige er dog, at man vil kunne opnå en rimelig stabilitet. Dette kan bl.a. begrundes med, at den tredje prioritering (kap. 6.4.2) er opstillet udfra stabilitetsbetragtninger. Vi forsøger at undgå ekstremesituationerne.

Den opstillede metode benytter sig af en statistisk beslutningsproces, og det var netop et af vore ønsker, da vi startede metodebygningen. Med den statistiske beslutningsproces opnås nemlig, at der tages lige så meget hensyn til fremtiden som en eksakt pakkeplanlægning for hele ruten vil kunne gøre.

I det hele taget har metoden opfyldt de stillede ønsker (kap 6.2). Ydermere muliggør den heuristiske opbygning en lettere udvidelse af modellen (se kap. 8).

Appendix 6A SUBOPT.

Formålet med subroutinen SUBOPT er at finde de søjler eller søjlebundter, hvoraf der skal losses mere end umiddelbart forventet. Dette gøres udfra en statistisk betragtning.

Vi ønsker at minimere det forventede antal losse/laste-operationer, hvilket svarer til at vi ønsker at minimere det forventede antal shiftings.

SUBOPT bliver anvendt lige efter den nødvendige losning (fig. 6.4.1).

Routinen gennemgås nogenlunde i den programmerede rækkefølge.

Først introduceres nogle nødvendige begreber. For et udfald af fremtidens behov gennemgås beregninger, der som resultat har en vurdering af om skibet er i stand til at betjene behovene. Herefter findes fordelingen for disse resultater, der skal anvendes i den statistiske beslutningsproces. Sidstnævnte forklares.

Næste hovedpunkt i SUBOPT er anvendelsen af den statistiske beslutningsproces. For både søjler og søjlebundter skal det vurderes, om der skal losses mere, end der allerede er gjort. Vurderingsmetoden forklares.

Endelig gennemgås administrationen af SUBOPT.

### Generering af det fremtidige behov.

Det behov skibet skal betjene i den øjeblikkelige havn (=o) er givet ved

$$\text{TRAN}(J) = \text{det totale transportbehov fra havn } o \text{ til havn } J, J = 1, \text{DMAX.}$$

Det tilsvarende behov i de fremtidige havne er givet ved en stokastisk variabel  $\underline{b}$ . I appendix til kap. 2 er resultaterne af en statistisk undersøgelse af  $\underline{b}$  beskrevet. Vi ønsker at anvende fordelingen af de sidste DANT udfald af  $\underline{b}$  som fordeling for det fremtidige udfald. Vi estimerer  $\underline{b}$  udfra et foreliggende empirisk materiale. Fordelingen af  $\underline{b}$  er nu givet ved

$$\begin{aligned} \text{TIDL}(I, J, N) &= \text{antallet af containere transporteret fra havn } I \text{ til havn } J \\ &\text{ med skib nr. } N \text{ før det nuværende skib,} \\ &I = 2, \text{DMAX}-1 \\ &J = I, \text{DMAX} \\ &N = 1, \text{DANT} \end{aligned}$$

Der skal nu genereres et tilfældigt udfald af det behov skibet skal betjene nu og senere. Dette gøres ved:

```

BEHO(o,J) := TRAN(J)      for J = 1,DMAX
BEHO(I,J) := TIDL(I,J,N)  for I = 2,DMAX -1
                           og J = I,DMAX,
                           N er et tilf. tal
                           mellem 1 og DANT.

```

### Betjening af behovet.

Kan skibet betjene det genererede behov uden at fordre shiftings? Svaret herpå afhænger af den førte losse/laste-politik og kan derfor ikke gives, men vi kan i stedet beregne om skibet overhovedet har mulighed for at kunne betjene BEHO uden shiftings. Eller rettere vi kan beregne en undergrænse for antallet af shiftings, hvis skibet skal betjene BEHO.

Hver tom celle i skibet kan indeholde en container, men det vil medføre mindst én shifting, hvis vi placerer en container, der skal losses senere end alle underliggende containere. Sådan en container kaldes uoptimalt lastet (se fig. 6.4.3).

Vi definerer nu:

```

KIND(I) = seneste destination af en con-
          tainer der skal lastes optimalt
          i søjle I, også kaldet k-index.

```

I havn o (nu) skal BEHO (o,J),  $J = 1, DMAX$ , betjenes. Hvis vi, for hvert k-index = J, finder antallet af tomme celler, der befinder sig i en søjle med dette k-index, og fratrækker behovet for disse pladser, fås et tal for overskuddet/underskuddet af celler med k-index = J.

På samme måde findes det i de senere havne. Skibet skal i havn I betjene BEHO(I,J),  $J = I + 1, DMAX$ , men det skal derudover også indeholde de tidligere behov, BEHO(I',J),  $I' = o, I$ ,  $J = I + 1, DMAX$ . Det skib, der skal betjene dette behov, er det nuværende skib fra hvilket containerne med destination

mindre end eller lig med I er blevet losset. For dette skib findes antallet af celler med de forskellige k-index ( $ANPL(I,J)$ ,  $I = 0, DMAX-1$ ,  $J = I+1, DMAX$ ), og ved subtraktion fås atter et tal for overskuddet/underskuddet af celler med k-index = J (i havn I).

Containere til havn J kan imidlertid lastes optimalt i celler med k-index større end eller lig med J. Det betyder at ovennævnte størrelse må modificeres.

Følgende procedure anvendes hertil:

- 1)  $BEHO(I,J) := ANPL(I,J) - BEHO(I,J)$        $I = 0, DMAX-1$   
 $J = I, DMAX$
  
- 2)  $BEHO(I,J) := BEHO(I,J) +$   
 $\max(BEHO(I,J+1); 0)$        $I = 0, DMAX-1$   
 $J = DMAX-1, I+1$
  
- 3)  $BEHO(I,J) := \min(BEHO(I,J);$   
 $\max(BEHO(I,J-1); 0))$        $I = 0, DMAX-2$   
 $J = I+2, DMAX$

Det endelige resultat af BEHO udtrykker det reelle underskud/overskud af celler for hvert k-index og i hver havn.

I fig. 6A.2 er vist et eksempel på beregningsgangen, (trin 1 til 3), med forklarende tekst i ex.6A.1.

Vi ønsker at anvende denne viden til at vurdere, om der i en søjle eller et søjlebundt skal losses mere ud, end der allerede er gjort.

Ved at losse x containere med destination = I i havn 0 dannes (f.ex.) y tomme celler med k-index = J, og vi ødelægger y-x tomme celler med k-index = I, se fig. 6A.1. Vi kan anvende alle de nye celler med k-index = J, hvis vi i en af havnene 0,1,...,I-1 har et underskud af disse celler, der er større end y.



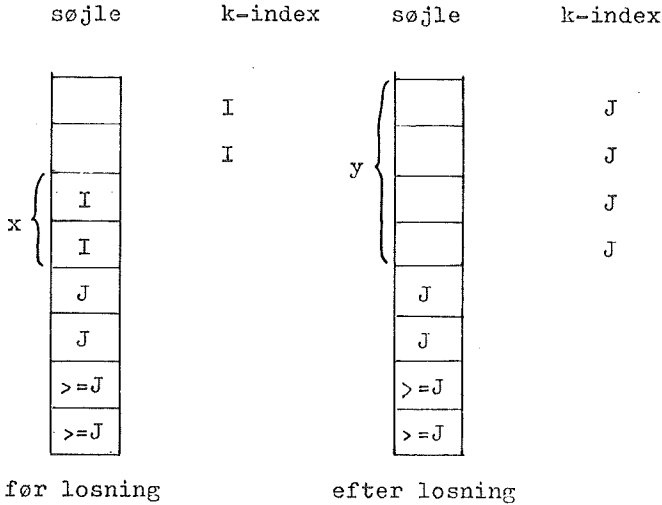


Fig. 6A.1

Heraf ses, at den størrelse, vi ønsker at vurdere ovennævnte losning udfra, er den mindste værdi af  $BEHO(I', J)$ ,  $I' = 0, I-1$ . Der tilføjes derfor endnu et trin til beregningsproceduren.

$$4) \quad BEHO(I, J) := \min(BEHO(I, J); \quad J = 2, DMAX \\ BEHO(I-1, J)) \quad I = 1, J-1$$

$BEHO(I, J)$  kan nu forklares som:

- (hvis negativ) - det antal shiftings det (mindst) er muligt at spare, hvis vi danner nye tomme celler med k-index = J ved at losse containere med destination = I+1.
- (hvis positiv) - det antal celler med k-index = J vi (højst) kan råde over, indtil havn I+1, uden at danne ekstra shiftings.

I følgende eksempel gennemgås og forklares beregningerne.

Ex. 6A.2, se fig. 6A.2. Vi har givet et skib, der besejler en rute med 6 havne. ANPL afspejler skibets nuværende pakning og BEHO' er et udfald af transportmønstret.

- Trin 1: ANPL fratrækkes BEHO. I havn 3 er der f.ex. 15 celler i overskud med  $k$ -index = 4, 26 celler i underskud med  $k$ -index = 5 og 15 celler i overskud med  $k$ -index = 6.
- Trin 2: Der dannes for hver havn (0-5) summer fra neden. På denne måde findes et udtryk for hvor mange celler der egentlig er i over/underskud. Hvis summen bliver negativ, er det givet, at der skal foretages et vist antal shiftings. Cellerne med et stort  $k$ -index er brugt op, og summeringen skal starte fra 0. De 15 celler med  $k$ -index = 6, der er tilovers i havn 3, kan anvendes i stedet for nogle af de celler med  $k$ -index = 5, der er i underskud.
- Trin 3: De reelle tal for over/underskud dannes fra oven. Tallene skal være ikke stigende indtil det første negative tal. Herefter overføres de negative tal, som de er, og de positive som 0. I havn 3 er der reelt 15 celler med  $k$ -index = 4 i overskud, 11 celler med  $k$ -index = 5 i underskud og ingen celler med  $k$ -index = 6 i overskud. De blev jo anvendt i trin 2.
- Trin 4: Den endelige BEHO findes. Hvis vi f.eks. har mulighed for at skaffe nye celler med  $k$ -index = 5 skal det, for at det kan betale sig (-11), være celler, der ikke automatisk ville være dannet før havn 3.

### Simulationsprocessen.

Vi vil nu, i hver havn og for hvert  $k$ -index, finde fordelingen af BEHO. Vi har hidtil betragtet et enkelt udfald af fremtiden, og fordelingen kan findes ved at generere en lang række

havn =

k-index =	0	1	2	3	4	5
1	0					
2	11	1				
3	14	4	6			
4	15	1	1	1		
5	4	2	8	33	4	
6	6	0	4	6	21	18

BEHO

	0	1	2	3	4	5
	9					
	3	3				
	6	16	24			
	15	15	15	33		
	1	11	11	21	28	
	19	19	19	31	65	118

ANPL

1	9					
2	-8	-9				
3	-8	-2	0			
4	0	-1	-2	15		
5	-3	5	-3	-26	-13	
6	13	13	9	15	28	63

Trin 1

	9					
	-6	6				
	2	15	4			
	10	17	4	15		
	10	18	6	-11	15	
	13	13	9	15	28	63

Trin 2

1	9					
2	-6	6				
3	0	6	4			
4	0	6	4	15		
5	0	6	4	-11	15	
6	0	6	4	0	15	63

Trin 3

	9					
	-6	-6				
	0	0	0			
	0	0	0	0		
	0	0	0	-11	-11	
	0	0	0	0	0	0

Trin 4

Fig. 6A.2

udfald. De enkelte størrelser i BEHO er hele tal, og fordelingen bliver derfor diskret.

Fordelingen er efter GENANT genereringer og beregninger givet ved:

$$\text{FORD}(I, J, Y) =$$

- (Y positiv) - sandsynligheden for at vi mindst har mulighed for at spare Y shiftings ved at danne tilstrækkeligt med nye celler med k-index = J der ellers ikke ville være blevet dannet før havn I.
- (Y negativ) - sandsynligheden for at vi højst kan råde over  $(-Y+1)$  celler med k-index = J indtil havn I uden at danne nye shiftings.

FORD(\*,\*,\*).

Vi vil nu illustrere hvad den fremkomne fordeling kan anvendes til. I fig. 6A.3 er der vist to eksempler på en sådan fordeling.

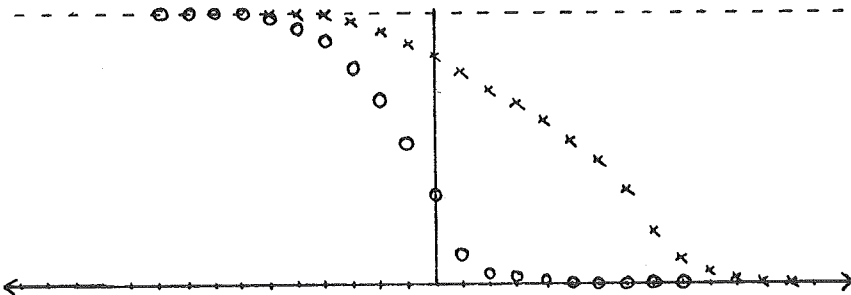


Fig. 6A.3

o = FORD(4,5,\*)

x = FORD(4,4,\*)

FORD har en tvedelt funktion afhængig af om vi betragter den positive eller ikke-positive del. Den positive del angiver muligheder for sparede shiftings, mens den ikke-positive del angiver muligheder for øget forbrug af celler uden yderligere shiftings.

Den positive del:

Hvis vi antager, at vi kan skaffe 3 celler med  $k$ -index = 5, som ellers ikke ville være dannet for havn 4, hvor stor er da det forventede antal sparede shiftings?

Med sandsynligheden 0.80 kan vi spare mindst én, med sandsynligheden 0.73 kan vi spare mindst to og med sandsynligheden 0.66 kan vi spare mindst tre shiftings (se fig. 6A.3). Den samlede forventede besparelse bliver da på 2.19 shiftings. Herfra skal så trækkes de udgifter der er forbundet med at danne de nye celler.

Den ikke-positive del:

Vi antager nu, at vi har dannet ovennævnte nye celler ved at losse 2 containere til havn 4 ud af søjlen vist på fig. 6A.4. Hvad er de forventede omkostninger ved dette?

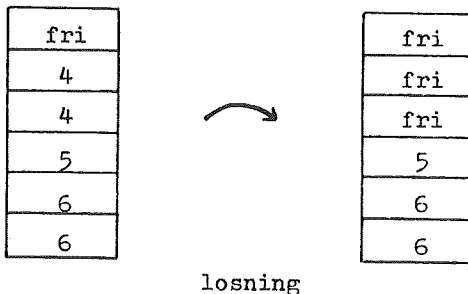


Fig 6A.4

Vi mister umiddelbart 1 celle med k-index = 4 og vi skal endvidere laste de to containere til havn 4 igen. Det samlede resultat heraf svarer til, at vi tager 3 celler med k-index = 4 ud af systemet indtil havn 4. I princippet rykker FORD(4,4,\*) 3 trin til højre, og den samlede forventede udgift i forbindelse med dette bliver en nydannelse af 1.54 (= 0.69 + 0.51 + 0.34) nye shiftings. F.eks. vil der nu være en sandsynlighed på 0.51 for at vi mindst får 2 shiftings.

### Forventet besparelse.

Den forventede totale besparelse bliver nu:

den forventede besparelse	2.19
- den forventede udgift	1.54
- den direkte udgift	2.00
	<hr/>
	- 1.35

Ved at foretage den i fig. 6A.4 viste løsning for vi altså et forøget forventet antal shiftings, og vi skal derfor ikke foretage løsningen.

Imidlertid kan besparelsen godt blive lidt større. Vi har nemlig ikke bundet os til at anvende de fremkomne celler som celler med k-index = 5. Hvis en af de nydannede celler istedet anvendes som en celle med k-index = 4 fås en total forventet besparelse på -1.32 (0.80 + 0.73 (+ 0.69 - 0.69) - 0.51 - 0.34 - 2.00), altså lidt bedre. Vi skal derfor under beregningen aldrig indføre en udgift, der er større end den sidste indtægt.

### Akkumulatlon af fordelingen.

Muligheden for at placere en container med destination = J i en celle med k-index  $\geq J$  gør, at et mere rimeligt mål for besparelsen kan fremkomme ved en sammensætning af fordelingen,

så  $FORD(I, J, 1)$  indeholder den største værdi af alle tallene  $FORD(I, J', X)$ ,  $J' = I+1, J$ ,  $X = 1, \infty$ ;  $FORD(I, J, 2)$  det næststørste e.t.c.. Herved splittes fordelingen virkelig op i en positiv del, der indeholder sandsynlighederne for besparelse af shiftings og i en ikke-positiv del, der indeholder udgifterne ved losning.

Af den ikke-positive del af FORD har kun diagonalfordelingerne interesse ( $FORD(K, K, *)$ ).

#### Vurdering for hver søjle og søjlebundt.

Vi ønsker nu generelt, for hver søjle og hvert søjlebundt, at undersøge om det kan betale sig (jvnf. målsætningen) at losse noget mere ud. Lad os først betragte en søjle (se fig. 6A.5). Grunden til at vi vil losse ekstra ud nu er, at vi forventer at kunne spare flere shiftings senere, end der må foretages ekstra nu.

Følgende tre spørgsmål skal besvares:

- 1 - Hvor mange containere skal vi losse ud nu (eller hvor mange shiftings skal vi foretage nu)?
- 2 - Hvad betyder disse shiftings for lastningen nu og senere?
- 3 - Hvor mange shiftings kan forventes sparet senere?

Vi kan allerede svare på spørgsmål 1 delvist. Hvis vi lossere en container ud, der har destinationen J, skal alle andre containere i søjlen til samme eller tidligere destination også losses. Hvis man ikke gjorde dette ville der ingen ændring ske i søjlens k-index, og mulighederne for den senere lastning ville være den samme.

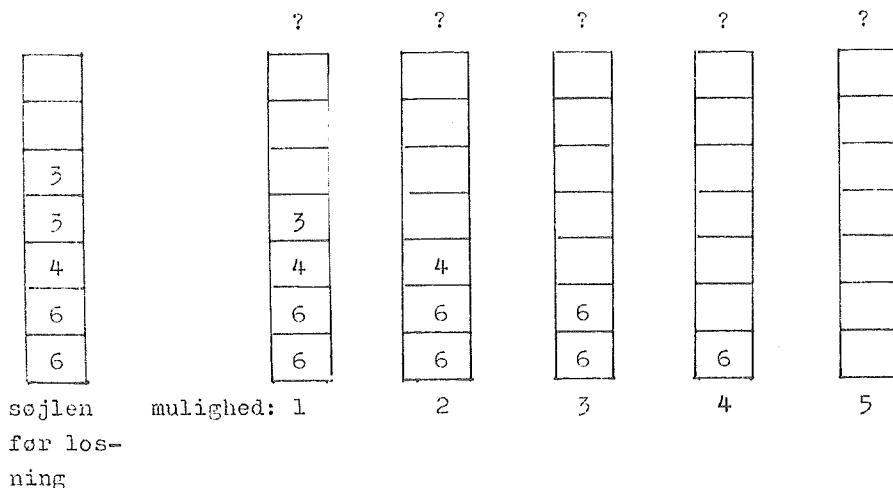


Fig. 6A.5 Mulige løsninger.

I eksemplet, fig. 6A.5, svarer dette til at udelukke mulighederne 1 og 4. Hvis DMAX for problemet er lig med 6 vil den sidste mulighed (5) også blive udelukket.

For de resterende muligheder skal vi nu besvare spørgsmålene 1 og 2. Arbejdsgangen i besvarelsen er skitseret i forrige afsnit, og vi skal blot henvise til programteksten bilag 3.

Alle søjler over dækket skal gennemgås. Søjlerne under dækket skal kun gennemgås, hvis den overliggende dæksluger ikke er monteret.

For et søjlebundt gælder i princippet de samme beregninger. De eneste muligheder der skal gennemgås, er, som i fig. 6A.5, udlosning af alle containere til samme destination, og udlosningen skal mindst gå nedenunder dækket. Ellers ville det samlede resultat være givet af beregningen for hver enkelt søjle på dækslugen.

For yderligere specificering henvises til programteksten bilag 3.



Administration af SUBOPT.

SUBOPT kan opdeles i følgende delprocedurer:

- 1 - beregning af nødvendige størrelser.
- 2 - beregning af FORD.
- 3 - vurdering for hvert søjlebundt.
- 4 - vurdering for hver søjle.
- 5 - udførelse af den bedste losning.

Som anført vurderes alle søjler og søjlebundter, og kun den bedste losning (den der sparer flest shiftings) udføres. Herefter startes proceduren forfra. Dette skyldes, at de forskellige vurderinger er foretaget på grundlag af det samme skib, og de er ikke uafhængige af de andre losninger. Når der ikke længere kan foretages udlosninger der giver en forventet besparelse standses proceduren.

SUBOPT er programmeret i FORTRAN, og programmet med forklarende tekst er vedlagt i bilag 3.



Appendix 6B MAIN.

I dette appendix beskrives MAIN, hovedproceduren, der varetager al egentlig behandling af skibet.

Grundidéerne er præsenteret løseligt i kap. 6.4.2. MAIN er, som beskrevet, opdelt i 2 dele. Først gennemgås løsningen af skibet. Løsningen indeholder ikke nogen beslutningsproces, den foretages blot som konsekvens af skibet og SUBOPT. Herefter opstilles prioriteringsreglerne i præcis form, og de valgte regler vurderes og begrundes. Den praktiske anvendelse af reglerne og selve proceduren for lastningen præsenteres endelig

Under hele beregningen benyttes en relativ nummerering af havnene. Vi befinder os pr. definition i havn = 0 og skal planlægge lastningen i havn = 0 under behørig hensyntagen til havnene 1,2,...DMAX, idet DMAX er sidste havn på ruten før havn 0 nås igen.

Hvor navne, betegnelser og definitioner ikke er yderligere forklaret henvises til listen over disse.

### Losning af skibet.

Skibet losses af 2 gange. Først foretages den almindelige losning, der kun er konsekvens af det færdigpakke skib fra havn 1. Derefter foretages den af SUBOPT indikerede losning.

Under losningen beregnes samtidig en række hjælpe størrelser, der skal anvendes under lastningen. Disse er:

KIND(I) = seneste destination af containere der kan lastes optimalt i søjle I  
I = 1, SOJM.

FRIP(I) = antallet af tomme celler i søjle I, I = 1, SOJM.

FRID(K) = antallet af tomme celler under dækket i søjlebundt K, K = 1, BUMA

I øvrigt er losseprocessen ganske enkel. Vi kender skibet som det så ud efter sidste havn. På grund af den relative nummering skal destinationen for hvert skib neddateres. Skibet er kendetegnet ved variabelen

DEST(I,J) = destinationen af containeren i celle nr. I,J, I = 1, SOJM,  
I = 1, SOJL(I). Hvis cellen er tom er værdien 0.

Neddateringen udføres ved:

DEST(I,J) := max(DEST(I,J)-1;0)      I = 1, SOJM  
J = 1, SOJL(I)

På grund af eventuelle uoptimale læstninger i tidligere havne, kan det tænkes at en søjle nu vil have et udseende som vist på fig. 6B.1. De fritsvævende containere skal losses ud og indgå i det almindelige transportbehov fra havn o.

Herefter kaldes subroutinen SUBOPT og resultatet heraf er en liste over de søjler og søjlebundter, hvoraf der skal losses mere, samt hvor meget mere der skal losses. DEST sættes for de relevante pladser lig med o.

I øvrigt henvises til programteksten, bilag 4.

### Lastning af skibet.

Lastningen af skibet sker ud fra en prioritering af søjlerne. For hver destination resulterer denne prioritering i en lasterækkefølge, hvorefter containerne til denne destination skal lastes.

Som beskrevet i kap. 6.4.2 lastes først containerne til DMAX, dernæst containerne til DMAX-1 e.t.c.. Der kan dog godt være nogle containere, der er umulige at placere optimalt. Disse rester placeres til sidst.

o
1
2
1
4
5

før neddatering

o
o
1
o
3
4

efter neddatering

o
o
o
o
3
4

efter losning

Fig. 6B.1

Prioritering.

Der prioriteres for en vilkårlig destination ud fra følgende kriterier:

- 1 - Vi ønsker at ødelægge færrest muligheder for den senere pakning.
- 2 - Vi ønsker at færdiglaste søjler og søjlebundter under dækket.
- 3 - Vi ønsker at laste i en forudbestemt rækkefølge.

Kriterierne 1, 2 og 3 benyttes i den opstillede rækkefølge, idet 1 er overordnet 2, som er overordnet 3. De to første kriterier opdeler søjlerne i grupper, og det tredje anvendes til prioritering indenfor disse grupper.

Prioritering 1.

Vi ønsker at ødelægge færrest muligheder for den senere pakning. For hver søjle kendes antallet af frie celler samt disses k-index. Det er muligt at laste containere til havn k optimalt i celler, der har k-index  $\geq k$ . Hvis vi derfor først anvender celler med det lavest mulige k-index, vil vi have de bedste muligheder for den senere lastning. En celle med k-index = 4 kan erstatte en celle med k-index = 3, men ikke omvendt.

Prioritering 1 foreskriver derfor en lasterækkefølge, der først anvender celler med lavest k-index, dernæst næstlavest c.t.c..

Containere til havn DMAX kan kun lastes optimalt i celler med k-index = DMAX. For containerne til de øvrige havne vil der være flere muligheder for lastning.

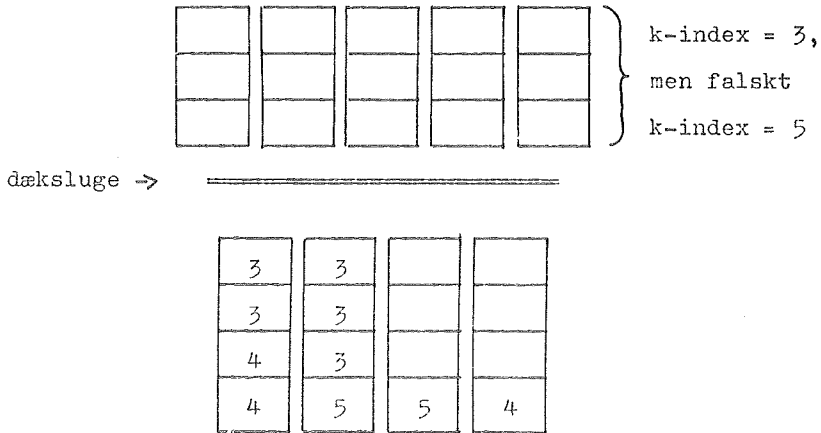


Fig. 6B.2

Ved anvendelse af denne prioritering deles alle søjlerne op i grupper med hvert sit k-index.

Der opstår imidlertid et problem omkring de eventuelle tomme søjler på dækslugerne. Disse søjler har egentlig et k-index, der er lig med det mindste k-index af søjlerne under dækslugen. Hvis der imidlertid befinder sig tomme celler under dækslugen med k-index større end dette, vil de ved anvendelse af søjlerne over dækket blive ødelagt, se fig. 6B.2. Søjlerne på dækket bør derfor, i denne sammenhæng, tildeles et falskt k-index, der er lig med det største k-index af de tomme celler under dækket.

### Prioritering\_2.

Vi har nu inddelt søjlerne i grupper, og indenfor hver af disse grupper ønsker vi at prioritere færdiggørelse af søjler og søjlebundter under dækket højst.

Dette ønske kan begrundes med det samme argument som prioritet 1 bygger på; det vil sikre de bedste muligheder for den senere pakning.

Vi betragter igen fig. 6B.2. De tomme søjler over dækket fik tildelt et falskt k-index, og begrundelsen herfor var, at der endnu ikke var muligheder for at laste containere på dækket uden at ødelægge nogle senere lastemuligheder. Hvis vi derfor, på et tidligere tidspunkt, havde prioriteret færdiglastning af søjlebundtet under dækket højt og havde udført denne, ville mulighederne for den nuværende lastning have været større.

Ved at prioritere en sådan færdiggørelse højt, forøges lastemulighederne på dækket.

Prioritet 2 deler hver gruppe af søjler op i to grupper.

### Prioritering 3.

Indenfor de endelig fremkomne grupper skal der nu opstilles en lasterækkefølge. Dette gøres, som nævnt, udfra en forudbestemt lasterækkefølge.

Skibet er inddelt i en række tværsnit. I hvert af disse tværsnit ønskes fortrinsvis placeret containere til én eller to destinationer. Hvilke containere der skal være i de enkelte tværsnit vælges udfra stabilitetshensyn, så men sikrer sig mod at skibets ene halvdel ikke pludselig skal tømmes eller mod lignende tilfælde.

For hver enkelt destination opstilles en rækkefølge af tværsnit (alle tværsnit skal repræsenteres). Indenfor det enkelte tværsnit kan man igen udfra stabilitetshensyn opstille en rækkefølge, så resultatet bliver en lasterækkefølge for hver destination.

Eksempler på sådanne rækkefølger er vist i kap. 7.



Lasteprocessen.

I fig 6B.3 er den endelige lasteprocess vist ved et overordnet flow mellem de anførte delprocesser.

Dette flow skulle i øvrigt tale for sig selv. Først findes antallet af celler med de forskellige k-index. Cellerne fyldes derefter i den prioriterede rækkefølge sålænge det er muligt at laste optimalt. Hele processen gentages for hver destination, og de eventuelle rester lastes til sidst (uoptimalt).

Programteksten, med de enkelte delflow angivet, er vedlagt som bilag 4.

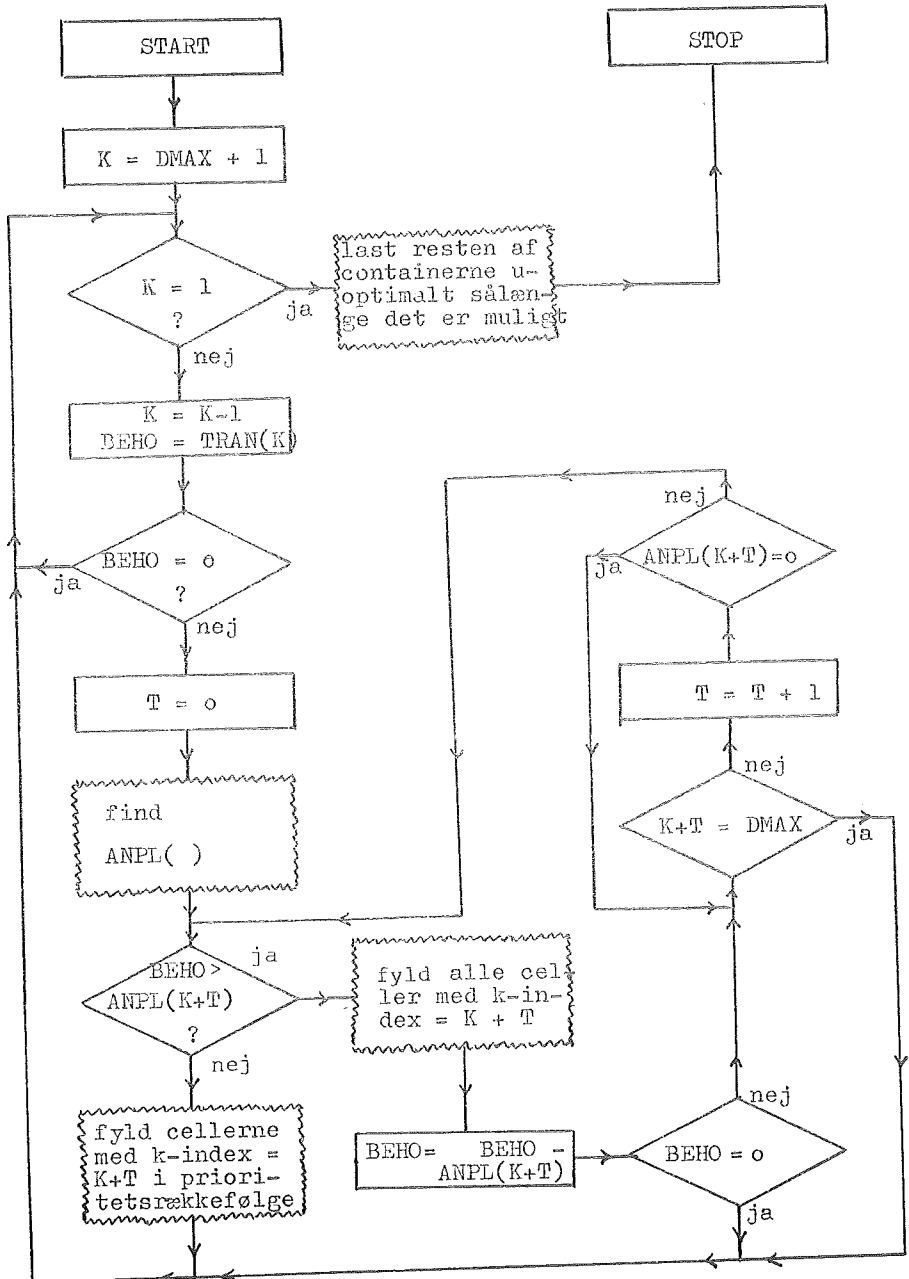


Fig. 6B.3 Flowdiagram over lasteprocessen.

Appendix 6C VÆGT.

Hovedstrukturen i løsningsmetoden bygger på en opdeling af problemet i to uafhængige dele (fig. 6.3.1). I dette appendix behandles den sidste del, der kort kan betegnes som fordelingen af containerne til hver destination i de allokerede celler.

Der opstilles først en matematisk heltalsmodel for vægtfordelingsproblemet.

Derefter fremlægges to forskellige problemløsningsmetoder og af disse vælges den mest lovende. Den praktiske konstruktion af metoden er imidlertid ikke foretaget, og der gives da heller ingen endelig konklusion.

Heltalsmodellen.

Alle de nyindlastede containere inddeles i et antal vægtklasser. Dette antal er i den foreliggende behandling valgt til 3 af praktiske og overskuelighedsmæssige grunde.

Vi har (i MAIN) tildelt et vist antal celler i hver søjle  $t$ , til destinationen  $s$ . Dette antal kaldes  $c_{s,t}$ . Vi opdeler dette antal i 3 vægtklasser, og får herved beslutningsvariablene  $z1_{s,t}$ ,  $z2_{s,t}$  (og  $c_{s,t} - z1_{s,t} - z2_{s,t}$ ).

Hver vægtklasse er givet ved en middelvægt,  $v1$ ,  $v2$  og  $v3$ . Den samlede vægt i søjlen  $t$  bliver nu

$$vz_t = vfør_t + \sum_s (z1_{st} \cdot v1 + z2_{s,t} \cdot v2 + (c_{st} - z1_{s,t} - z2_{s,t}) \cdot v3),$$

hvor  $vfør_t$  er søjlens vægt efter losning.

I momentberegningerne indgår kun søjlens vægt og ikke vægtenes fordeling i de enkelte celler (hvilket dog kun er korrekt sålænge skibet ligger nogenlunde lige i vandet)

Vi kan derfor, med givne koordinater fra skibets midtpunkt

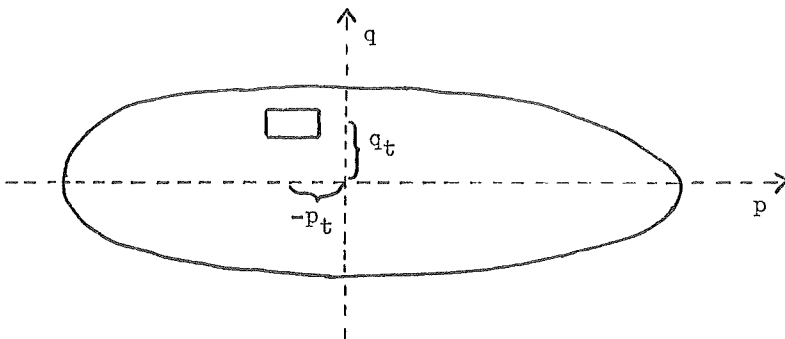


Fig. 6C.1 En søjles koordinater fra skibets midtpunkt.

til søjle (p,q, se fig. 6C.1), præcisere modelformuleringen 6.4.5-10 til

$$\begin{array}{llll}
 6C.1 & \min \{c_1 x_1 + c_2 x_2\} & & \\
 & \text{b.a.} & & \\
 6C.2 & \sum_t v z_t \cdot p_t - x_1 & \leq & 0 \\
 6C.3 & -(\sum_t v z_t \cdot p_t) - x_1 & \leq & 0 \\
 6C.4 & x_1 & \leq & m_{1\max} \\
 6C.5 & \sum_t v z_t \cdot q_t - x_2 & \leq & 0 \\
 6C.6 & -(\sum_t v z_t \cdot q_t) - x_2 & \leq & 0 \\
 6C.7 & x_2 & \leq & m_{t\max} \\
 6C.8 & \sum_{t \in tv_i} v z_t \cdot q_t & \leq & m_{t_i\max} \quad i=1, \text{bama} \\
 6C.9 & -(\sum_{t \in tv_i} v z_t \cdot q_t) & \leq & m_{t_i\max} \quad i=1, \text{bama} \\
 6C.10 & \sum_{i=1}^j (\sum_{t \in tv_i} v z_t \cdot q_t) & \leq & m_{t_i\max 1} \quad j=2, \text{bama-1} \\
 6C.11 & -(\sum_{i=1}^j (\sum_{t \in tv_i} v z_t \cdot q_t)) & \leq & m_{t_i\max 1} \quad j=2, \text{bama-1} \\
 6C.12 & \sum_t z^1_{s,t} & = & c^1_s \quad s=1, d\max \\
 6C.13 & \sum_t z^2_{s,t} & = & c^2_s \quad s=1, d\max \\
 6C.14 & z^1_{s,t} + z^2_{s,t} & \leq & c_{s,t} \quad s=1, d\max, t=1, \text{sojm} \\
 6C.15 & z^1_{s,t}, z^2_{s,t} \text{ er heltal} & \geq & 0 \quad s=1, d\max, t=1, \text{sojm} \\
 & x_1, x_2 \text{ er kontinuerte} & \geq & 0
 \end{array}$$

I modellen skal  $v z_{s,t}$  indsættes. De resterende størrelser er alle kendte konstanter.  $tv_i$  er det  $i$ -te tværsnit.

Begrænsning 6C.12 og 13 sørger for at det virkelige antal containere i hver vægtklasse og for hver destination også bliver anvendt.

Begrænsning 6C.14 sikrer at den implicit givne variabel ikke bliver negativ.

Løvrigt er begrænsningerne forklaret i kap. 6.4.

### Modelløsning 1.

Det første forslag til modelløsning er anvendelse af heltalsprogrammering under én eller anden form.

Modellen vil for et almindeligt problem være kendetegnet ved følgende anslåede størrelser:

1 - ca. 100-500 heltalsvariable,

2 - 2 kontinuerte variable,

3 - ca. 50-300 begrænsninger.

Et sådant problem vil sandsynligvis kunne løses uden store besværligheder, men beregningstiden vil dog være anseelig.

Løsningen vil give en fordeling af containere i de forskellige vægtgrupper til hver søjle. En fordeling af containerne indenfor de enkelte vægtgrupper er derimod ikke foretaget.

Indenfor de enkelte søjler skal containerne af stabilitetsmæssige årsager lastes med den tungeste nederst.

Metoden er dog ikke forsøgt anvendt.

Modelløsning 2.

Denne løsningsmetode er skitseret i kap. 6.4. I stedet for at finde vægten for hver søjle v.h.a. førnævnte heltalsvariable, tildeles nu hver celle med en nylastet container i en kontinuert variabel, der angiver vægten af containeren i cellen. På denne måde findes søjlens vægt igen, og de samme begrænsninger og den samme kriteriefunktion kan anvendes.

Hvis vi samtidig giver vægtvariablen en øvre og en nedre grænse, der afhænger af de virkelige containere, sikrer vi, at de i den kontinuerte løsning tildelte vægte ligger i det rigtige interval. På samme måde kan vi sikre, at summen af variablene for hver destination bliver lig med den virkelige sum af containervægte.

Løsningen foretages efter flowdiagrammet i fig. 6.4.5.

Den kontinuerte løsningsmetode i praksis.

Vi har valgt at anvende modelløsning 2 i praksis. Metoden er ikke endelig indbygget i modellen, så denne behandling omfatter kun de første to trin af flowdiagrammet i fig. 6.4.5.

Programpakken MPSX benyttes til den kontinuerte løsning. Hertil er opstillet et datagenereringsprogram, der resulterer i inddata til MPSX-problemet. Dette program er vedlagt som bilag 6.

Løsningen af problemet foregår herefter på normal måde.

Den fremkomne løsning kan med rette betegnes som en ønskværdig vægtfordeling. Som tidligere nævnt vil vi forsøge at opfylde denne vægtfordeling under tildelingen af de rigtige vægte.





RESULTATER OG SAMMENLIGNINGER





## 7 RESULTATER OG SAMMENLIGNINGER.

I kap. 6 er den valgte løsningsmetode præsenteret, og vi skal nu vurdere dens anvendelighed.

Den bedste vurdering ville fremkomme, hvis vi anvendte løsningsmetoden på et helt realistisk problem og sammenlignede resultaterne heraf med resultaterne fra den "løsning", der foregår nu.

Det er imidlertid umuligt at anvende metoden på et helt realistisk problem. Der er derfor opstillet et pseudorealistisk problem, der opfylder de stillede forudsætninger, og samtidig bygger på et realistisk problem.

Først gennemgås problemet med data og facts om skibet, ruten og transportbehovet.

Løsningsmetoden er herefter anvendt, og de fremkomne resultater præsenteres og sammenlignes (så godt som muligt) med resultater fra virkeligheden.

Udfra dette vurderes metodens anvendelighed.

Vægtfordelingen, VÆGT, er, som nævnt i appendix 6C, ikke indbygget fuldt ud i metoden. Der er da heller ikke forsøgt løst med andet end tilfældigt genererede data, og vurderingen af VÆGT må betragtes udfra dette forhold.

## 7.1 Grundlæggende data.

### 7.1.1 Skibet.

Metoden er afprøvet på et skib, der trods de gjorte og respekterede forudsætninger ligner de virkelige skibe godt (se fig. 2.3.5).

Testskibet kan karakteriseres ved:

- 1 - 10 tværsnit
- 2 - 22 dæksluger
- 3 - 142 søjler, heraf 88 søjler over dækket
- 4 - 534 søjler, heraf 352 celler over dækket

Der er 3 forskellige tværsnitstyper, se fig. 7.1.1, og disse tværsnit er placeret i skibet som vist på fig. 7.1.2. I disse figurer er også vist koordinaterne for skibets centrum.

### 7.1.2 Ruten.

Den rute skibet besejler er den samme som er vist på fig. 2.3.3.

Ruten består af 13 havne, hvoraf de to er gengangere. Havnene med kodenavne og -tal er:

Singapore	-	SIN	-	8
Hong Kong	-	HK2	-	9
Keelung	-	KEE	-	10
Kobe	-	KOB	-	11
Tokyo	-	TOY	-	12
Long Beach	-	LG2	-	13
New York	-	NYC	-	1
Philadelphia	-	PHI	-	2
Baltimore	-	BAL	-	3
Charleston	-	CHS	-	4
Long Beach	-	LG1	-	5
Oakland	-	OAK	-	6
Hong Kong	-	HK1	-	7

### 7.1.3 Containerne.

Der er kun én slags containere, og de er alle forudsat at skulle have den samme behandling. D.v.s, at man ikke kan placere specielle containere på forhånd.

Enhver container, der skal transporteres, skal have en forud bestemt destination.

### 7.1.4 Transporterne.

Fra en vilkårlig havn på ruten, kan der transporteres containere til alle andre havne.

Metoden er testet for en række forskellige transportbehov. Disse er alle valgt med relation til de ønskelige transporter (se appendix 2A).

Routinen SUBOPT kræver kendskab til de tidligere transporter.

Vi har valgt at anvende de sidste lo transporter, der er medtaget i statistikken (appendix 2A). Disse tal skal dog omregnes til antal 40' containere, og resultatet ses af fig. 7.1.3. De ikke angivne værdier er alle 0.

#### 7.1.5 Prioriteringen.

Under prioriteringen anvendes en forudbestemt rækkefølge af søjlerne for hver destination. Den anvendte rækkefølge ses af fig. 7.1.4.

#### 7.1.6 Vægtene.

Vægtene tildelt til de enkelte containere er tilfældige, og der må derfor ikke lægges nogen stor værdi i stabilitetsberegningerne.

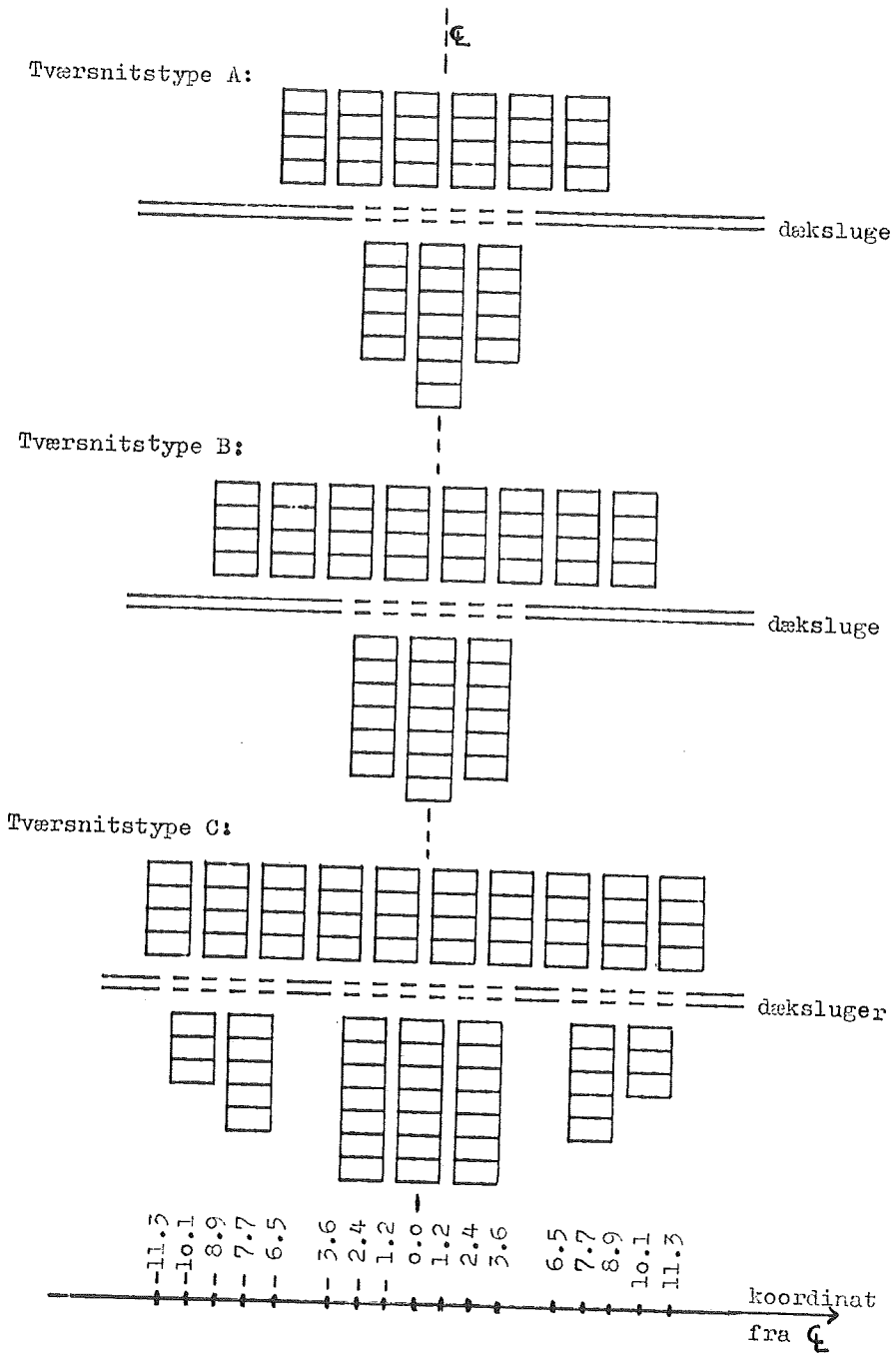


Fig. 7.1.1 Tværsnitstyper i det afprøvede skib.

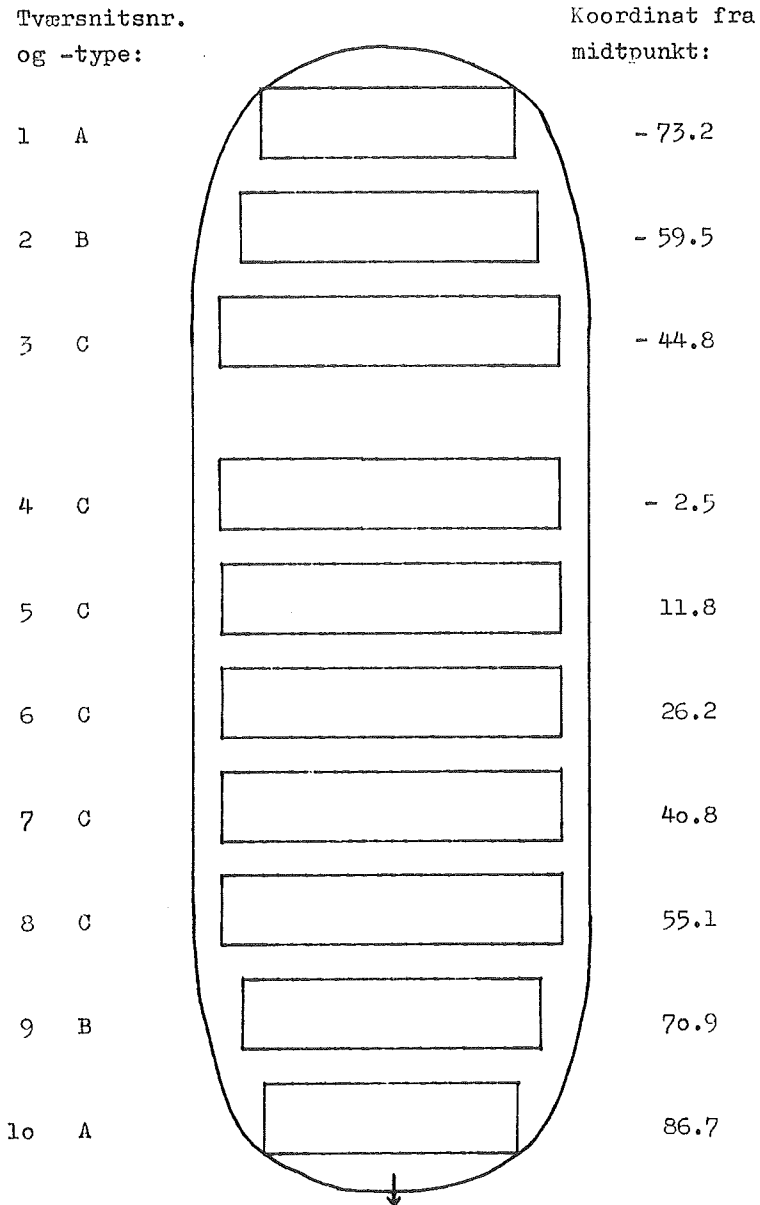


Fig. 7.1.2 Tværsnitsplacering i det afprøvede skib.



havn

fratil		tidligere udfald											
1	7	63	46	27	54	37	50	38	37	27	24	32	
1	8	90	46	35	58	39	53	24	25	42	25	43	
2	7	9	6	7	4	5	16	7	12	15	11	12	
2	8	13	6	8	7	19	12	7	18	7	11	7	
3	7	10	9	32	22	44	11	16	18	11	12	13	
3	8	18	12	7	21	34	16	18	23	22	12	12	
4	7	8	8	6	5	8	10	8	7	17	5	13	
4	8	10	3	23	6	4	4	2	5	7	8	8	
5	6	16	19	13	9	11	16	21	17	6	8	18	
5	7	27	39	53	58	38	19	50	64	74	27	41	
5	8	56	81	57	34	36	42	48	45	57	37	98	
6	7	27	25	27	43	25	30	8	29	20	58	44	
6	8	56	39	56	52	60	28	24	25	55	68	57	
7	8	15	7	14	20	16	12	11	10	9	7	7	
8	9	8	5	10	15	14	13	12	11	11	10	17	
8	10	8	5	5	5	5	4	3	1	2	3	2	
8	11	10	10	14	18	15	12	11	9	16	22	15	
8	12	2	0	2	4	5	6	5	4	5	6	7	
8	13	34	13	22	30	31	33	29	24	30	36	60	
8	1	64	71	75	78	77	75	78	81	86	92	49	
8	2	9	13	9	5	7	11	10	10	11	12	11	
8	3	11	27	20	12	10	8	15	21	25	29	3	
8	4	6	1	4	7	7	8	8	8	10	11	7	
9	10	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9	11	4	1	2	2	4	5	3	0	1	2	2	
9	12	3	0	1	1	1	0	0	0	1	1	4	
9	13	44	16	15	22	31	23	21	10	34	12	17	
9	1	62	16	39	46	31	37	39	42	62	24	44	
9	2	12	7	5	7	3	6	5	5	11	3	6	
9	3	8	7	12	15	2	1	2	1	6	3	9	
9	4	3	2	9	0	7	4	6	1	7	4	5	
10	11	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10	12	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	
10	13	28	36	26	15	21	27	33	39	37	34	42	
10	1	34	29	26	23	39	54	66	77	53	28	41	
10	2	5	6	4	2	3	5	7	8	6	4	9	
10	3	5	14	10	6	8	9	12	15	15	15	6	
10	4	4	4	2	0	0	0	9	18	1	10	2	
11	13	24	26	24	22	25	28	39	49	30	11	22	
11	1	58	79	65	50	58	66	45	23	25	27	93	
11	2	9	12	11	14	11	8	6	4	6	8	18	
11	3	12	35	32	28	26	24	27	30	21	11	38	
11	4	8	8	8	7	5	3	12	20	13	5	6	
12	13	29	46	30	15	33	51	45	39	39	39	59	
12	1	44	41	45	71	34	28	19	36	23	47	58	
12	2	7	5	6	15	23	7	1	11	4	10	12	
12	3	9	6	13	31	12	5	9	38	9	23	17	
12	4	7	4	0	21	14	2	3	0	0	3	1	

Fig. 7.1.3 Tidligere containertransporter.

## Containere til New York:

17	16	18	83	84	82	85	19	20	86	87	88	15	14	81	80	79
2	1	3	57	58	56	59	55	60								
24	23	25	93	94	92	95	22	21	91	90	89	26	27	96	97	98
45	46	44	124	123	125	122	47	48	126	127	128	43	42	121	120	119
50	49	51	132	133	131	134	130	135	129	136						
10	9	11	73	74	72	75	8	7	71	70	69	12	13	76	77	78
5	4	6	64	65	63	66	62	67	61	68						
31	32	30	104	103	105	102	33	34	106	107	108	29	28	101	100	99
38	37	39	113	114	112	115	36	35	111	110	109	40	41	116	117	118
53	54	52	140	139	141	138	142	137								

## Containere til Philadelphia:

5	4	6	64	65	63	66	62	67	61	68						
50	49	51	132	133	131	134	130	135	129	136						
2	1	3	57	58	56	59	55	60								
17	16	18	83	84	82	85	19	20	86	87	88	15	14	81	80	79
31	32	30	104	103	105	102	33	34	106	107	108	29	28	101	100	99
24	23	25	93	94	92	95	22	21	91	90	89	26	27	96	97	98
45	46	44	124	123	125	122	47	48	126	127	128	43	42	121	120	119
10	9	11	73	74	72	75	8	7	71	70	69	12	13	76	77	78
38	37	39	113	114	112	115	36	35	111	110	109	40	41	116	117	118
53	54	52	140	139	141	138	142	137								

## Containere til Baltimore:

17	16	18	83	84	82	85	19	20	86	87	88	15	14	81	80	79
53	54	52	140	139	141	138	142	137								
5	4	6	64	65	63	66	62	67	61	68						
24	23	25	93	94	92	95	22	21	91	90	89	26	27	96	97	98
38	37	39	113	114	112	115	36	35	111	110	109	40	41	116	117	118
10	9	11	73	74	72	75	8	7	71	70	69	12	13	76	77	78
50	49	51	132	133	131	134	130	135	129	136						
2	1	3	57	58	56	59	55	60								
31	32	30	104	103	105	102	33	34	106	107	108	29	28	101	100	99
45	46	44	124	123	125	122	47	48	126	127	128	43	42	121	120	119

## Containere til Charleston:

53	54	52	140	139	141	138	142	137								
5	4	6	64	65	63	66	62	67	61	68						
50	49	51	132	133	131	134	130	135	129	136						
2	1	3	57	58	56	59	55	60								
45	46	44	124	123	125	122	47	48	126	127	128	43	42	121	120	119
38	37	39	113	114	112	115	36	35	111	110	109	40	41	116	117	118
31	32	30	104	103	105	102	33	34	106	107	108	29	28	101	100	99
24	23	25	93	94	92	95	22	21	91	90	89	26	27	96	97	98
10	9	11	73	74	72	75	8	7	71	70	69	12	13	76	77	78
17	16	18	83	84	82	85	19	20	86	87	88	15	14	81	80	79

Fig. 7.1.4 Prioriteringsrekkefølge for :

fortsættes →

## Containere til Long Beach 1:

5	4	6	64	65	63	66	62	67	61	68									
53	54	52	140	139	141	138	142	137											
10	9	11	73	74	72	75	8	7	71	70	69	12	13	76	77	78			
17	16	18	83	84	82	85	19	20	86	87	88	15	14	81	80	79			
38	37	39	113	114	112	115	36	35	111	110	109	40	41	116	117	118			
24	23	25	93	94	92	95	22	21	91	90	89	26	27	96	97	98			
50	49	51	132	133	131	134	130	135	129	136									
45	46	44	124	123	125	122	47	48	126	127	128	43	42	121	120	119			
31	32	30	104	103	105	102	33	34	106	107	108	29	28	101	100	99			
2	1	3	57	58	56	59	55	60											

## Containere til Oakland:

45	46	44	124	123	125	122	47	48	126	127	128	43	42	121	120	119			
2	1	3	57	58	56	59	55	60											
38	37	39	113	114	112	115	36	35	111	110	109	40	41	116	117	118			
53	54	52	140	139	141	138	142	137											
5	4	6	64	65	63	66	62	67	61	68									
24	23	25	93	94	92	95	22	21	91	90	89	26	27	96	97	98			
10	9	11	73	74	72	75	8	7	71	70	69	12	13	76	77	78			
31	32	30	104	103	105	102	33	34	106	107	108	29	28	101	100	99			
17	16	18	83	84	82	85	19	20	86	87	88	15	14	81	80	79			
50	49	51	132	133	131	134	130	135	129	136									

## Containere til Hong Kong 1:

31	32	30	104	103	105	102	33	34	106	107	108	29	28	101	100	99			
17	16	18	83	84	82	85	19	20	86	87	88	15	14	81	80	79			
50	49	51	132	133	131	134	130	135	129	136									
45	46	44	124	123	125	122	47	48	126	127	128	43	42	121	120	119			
53	54	52	140	139	141	138	142	137											
24	23	25	93	94	92	95	22	21	91	90	89	26	27	96	97	98			
10	9	11	73	74	72	75	8	7	71	70	69	12	13	76	77	78			
2	1	3	57	58	56	59	55	60											
5	4	6	64	65	63	66	62	67	61	68									
38	37	39	113	114	112	115	36	35	111	110	109	40	41	116	117	118			

## Containere til Singapore:

2	1	3	57	58	56	59	55	60											
38	37	39	113	114	112	115	36	35	111	110	109	40	41	116	117	118			
31	32	30	104	103	105	102	33	34	106	107	108	29	28	101	100	99			
53	54	52	140	139	141	138	142	137											
45	46	44	124	123	125	122	47	48	126	127	128	43	42	121	120	119			
24	23	25	93	94	92	95	22	21	91	90	89	26	27	96	97	98			
50	49	51	132	133	131	134	130	135	129	136									
10	9	11	73	74	72	75	8	7	71	70	69	12	13	76	77	78			
17	16	18	83	84	82	85	19	20	86	87	88	15	14	81	80	79			
5	4	6	64	65	63	66	62	67	61	68									

Fig. 7.1.4 Prioriteringsrækkefølge for:

← fortsat, fortsættes →

## Containere til Hong Kong 2:

10	9	11	73	74	72	75	8	7	71	70	69	12	13	76	77	78
5	4	6	64	65	63	66	62	67	61	68						
50	49	51	132	133	131	134	130	135	129	136						
38	37	39	113	114	112	115	36	35	111	110	109	40	41	116	117	118
31	32	30	104	103	105	102	33	34	106	107	108	29	28	101	100	99
2	1	3	57	58	56	59	55	60								
53	54	52	140	139	141	138	142	137								
17	16	18	83	84	82	85	19	20	86	87	88	15	14	81	80	79
24	23	25	93	94	92	95	22	21	91	90	89	26	27	96	97	98
45	46	44	124	123	125	122	47	48	126	127	128	43	42	121	120	119

## Containere til Keelung:

50	49	51	132	133	131	134	130	135	129	136						
45	46	44	124	123	125	122	47	48	126	127	128	43	42	121	120	119
38	37	39	113	114	112	115	36	35	111	110	109	40	41	116	117	118
31	32	30	104	103	105	102	33	34	106	107	108	29	28	101	100	99
24	23	25	93	94	92	95	22	21	91	90	89	26	27	96	97	98
10	9	11	73	74	72	75	8	7	71	70	69	12	13	76	77	78
17	16	18	83	84	82	85	19	20	86	87	88	15	14	81	80	79
2	1	3	57	58	56	59	55	60								
5	4	6	64	65	63	66	62	67	61	68						
53	54	52	140	139	141	138	142	137								

## Containere til Kobe:

38	37	39	113	114	112	115	36	35	111	110	109	40	41	116	117	118
2	1	3	57	58	56	59	55	60								
5	4	6	64	65	63	66	62	67	61	68						
10	9	11	73	74	72	75	8	7	71	70	69	12	13	76	77	78
17	16	18	83	84	82	85	19	20	86	87	88	15	14	81	80	79
50	49	51	132	133	131	134	130	135	129	136						
53	54	52	140	139	141	138	142	137								
45	46	44	124	123	125	122	47	48	126	127	128	43	42	121	120	119
24	23	25	93	94	92	95	22	21	91	90	89	26	27	96	97	98
31	32	30	104	103	105	102	33	34	106	107	108	29	28	101	100	99

## Containere til Tokyo:

50	49	51	132	133	131	134	130	135	129	136						
38	37	39	113	114	112	115	36	35	111	110	109	40	41	116	117	118
31	32	30	104	103	105	102	33	34	106	107	108	29	28	101	100	99
17	16	18	83	84	82	85	19	20	86	87	88	15	14	81	80	79
2	1	3	57	58	56	59	55	60								
24	23	25	93	94	92	95	22	21	91	90	89	26	27	96	97	98
10	9	11	73	74	72	75	8	7	71	70	69	12	13	76	77	78
5	4	6	64	65	63	66	62	67	61	68						
45	46	44	124	123	125	122	47	48	126	127	128	43	42	121	120	119
53	54	52	140	139	141	138	142	137								

## Containere til Long Beach 2:

24	23	25	93	94	92	95	22	21	91	90	89	26	27	96	97	98
17	16	18	83	84	82	85	19	20	86	87	88	15	14	81	80	79
45	46	44	124	123	125	122	47	48	126	127	128	43	42	121	120	119
10	9	11	73	74	72	75	8	7	71	70	69	12	13	76	77	78
31	32	30	104	103	105	102	33	34	106	107	108	29	28	101	100	99
53	54	52	140	139	141	138	142	137								
50	49	51	132	133	131	134	130	135	129	136						
38	37	39	113	114	112	115	36	35	111	110	109	40	41	116	117	118
5	4	6	64	65	63	66	62	67	61	68						
2	1	3	57	58	56	59	55	60								

Fig. 7.1.4 Prioriteringsrækkefølge for:

forsat.  
←

## 7.2 Resultater.

Metoden er anvendt på 4 forskellige udfald af transportbehovene. I dette kapitel beskrives for hvert af disse de resultater, der har betydning for vurderingen af metoden.

For det første skal vi undersøge målsætningens opfyldelse. I hver havn er der foretaget et vist antal shiftings, og disses antal er angivet.

For det andet skal antallet af shiftings måles på baggrund af fyldningsgraden af skibet. Jo større fyldningsgraden er, des sværere bliver det at pakke skibet "pønt".

For det tredje må vi vurdere resultaterne ud fra transportbehovenes overensstemmelse med de anvendte tidligere transportbehov.

Endelig er det af betydning, om metoden fungerer nogenlunde hurtigt. Beregningstiden anføres derfor for hvert resultat-sæt.

De viste losse/laste-planer skal læses med følgende forhold taget i betragtning:

- 1 - Den relative nummerering af havnene. Den nuværende havn er lig havn 0.
- 2 - I hver celle er vist destinationen og vægten af containeren i cellen.
- 3 - Vægten tildes først efter udskriften. Herved får nyindlasede containere en vægt = 0, og de kan således kendes.

### 7.2.1 Resultater 1.

Se resultaterne, fig. 7.2.1, og losse/laste-planerne, bilag 5, nr. 1. Denne transportmatrice er omstillet ud fra MCL's forventninger til de forskellige transportere. Der er ikke medtaget tomme containere, så transportmønstret bliver lidt forenklet.

Den største fyldningsgrad har skibet mellem Japan og USA på ca. 85%.

Skibet medtager alt det, der ønskes, uden at indføre shiftings overhovedet, så alle containere er pakket optimalt.

Transportmatricens elementer er gennemgående lidt større end de anvendte tidligere transportere.

### 7.2.2 Resultater 2.

Se resultaterne, fig. 7.2.2, og losse/laste-planerne, bilag 5, nr. 2.

Problem 7.2.1 var forenklet, da der manglede de tomme containere. Disse er medtaget her. Der foregår meget få transportere af tomme containere fra det fjerne østen til USA (se fig. 2.3.4). Derimod er der en del transport fra USA. På grundlag af en ligevægtsbetragtning for containertrafikken over Stillehavet er skibet lastet med tomme containere mod det fjerne østen, så der opnås næsten den samme fyldningsgrad hver vej.

Selv med denne belastning af skibet kan der planlægges losse/laste-planer, der ikke medfører shiftings.

### 7.2.3 Resultater 3.

Se resultaterne, fig. 7.2.3, og losse/laste-planerne, bilag 5, nr. 3.

Indtil videre har vi ikke overbelastet skibet. Metoden er her forsøgt anvendt på et transportbehov, der er ca.  $1\frac{1}{2}$  gang så stort, som det tidligere mønster. Dette medfører, at skibet ikke kan dække de behov, der er opstået.

Skibets fyldningsgrad er på 100% på vej mod USA, og der afvises i Tokyo havn 27 containere.

I Tokyo havn har vi måttet foretage 1 shifting. Det er en container til Long Beach 2, der er losset ud af søjle nr. 45 i tværsnit nr. 8. Hvis man betragter skibet efter Kobe havn, kan man se, at denne container (når containeren til havn 1 = Tokyo er losset) umuliggør optimal lastning af andre containere i resten af søjlen og i søjlerne over dækslugen (122, 123, 124 og 125), i alt 22 celler. Og da der i øvrigt forventes at være nok celler med k-index = 1 i Tokyo, er denne shifting velbegrundet. At vi må afvise et antal containere til Long Beach 2 influerer ikke på begrundelsen, da dette antal er mindre end 22.

#### 7.2.4 Resultater 4.

Se resultaterne, fig. 7.2.4, og losse/laste-planerne, bilag 5. nr. 4.

I det sidste eksempel anvendes metoden på en transportmatrice med elementer, der næsten er dobbelt så store som de tidligere udfald af transporterne. Vi må da også allerede i Kobe havn afvise de fleste containere.

I Kobe havn foretages der 12 shiftings. Disse 12 containere skulle alle til Tokyo, men de er med i det afviste behov. De ekstra udlossede containere befandt sig i søjlerne 7 og 8 (tværsnit 3) og i søjlerne 45 og 46 (i tværsnit 8).

I tværsnit 3 skaffer man derved 15 nye celler med k-index = 2 (til Long Beach 2) og 3 nye celler med k-index = 12

(helt fri søjle). Da vi overhovedet ikke forventer at skulle bruge flere celler til Tokyo, og da vi har god brug for celler til de resterende havne, forventer vi at spare 12 senere shiftings (én for hver celle på dækket) ved at foretage de 6 shiftings i tværsnit 3. Om vi afviser containere til havn 2 eller til havn 3 har vi forudsat indifferens over for.

I tværsnit 8 gør noget lignende sig gældende. Ved at fjerne de 6 containere til Tokyo havn skaffer vi os 18 nye celler med k-index = 2 og 7 nye celler med k-index = 12, og vi sparer herved 21 senere shiftings.

I Tokyo havn må alle containere afvises, da vi ikke lossrer noget ud.



## Transportmatricen:

fra havn:		SIN	HK2	KEE	KOB	TOY	LG2	NYC	PHI	BAL	CHS	LG1	OAK	HK1	
til	hav:	HK2	8												
		KEE	8	6											
		KOB	10	4	2										
		TOY	2	3	1	0									
		LG2	34	44	28	24	29								
		NYC	64	62	34	58	44	0							
		PHI	9	12	5	9	7	0	0						
		BAL	11	8	5	12	9	0	0	0					
		CHS	6	3	4	8	7	0	0	0	0				
		LG1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
		OAK	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16		
		HK1	0	0	0	0	0	0	63	9	10	8	27	27	
		SIN	4	0	0	0	0	0	90	13	18	10	56	56	15

## Rutestatistik:

i havn:	SIN	HK2	KEE	KOB	TOY	LG2	NYC	PHI	BAL	CHS	LG1	OAK	HK1
fyldningsgrad %	24	45	55	70	85	59	42	39	36	35	50	66	41
antal shiftings	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
afviste containere	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Total beregningstid: 35.03 sec.

Fig. 7.2.1 Resultater 1.

## Transportmatricen:

fra havn:		SIN	HK2	KEE	KOB	TOY	LG2	NYC	PHI	BAL	CHS	LG1	OAK	HK1
til	hav:	HK2	8											
		KEE	8	6										
		KOB	10	4	2									
		TOY	2	3	1	0								
		LG2	34	44	28	24	29							
		NYC	64	62	34	58	44	0						
		PHI	9	12	5	9	7	0	0					
		BAL	11	8	5	12	9	0	0	0				
		CHS	6	3	4	8	7	0	0	0	0			
		LG1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		OAK	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	
		HK1	0	0	0	0	0	0	90	20	10	40	40	27
		SIN	0	0	0	0	0	0	112	25	16	10	75	56
														15

## Rutestatistik:

i havn:	SIN	HK2	KEE	KOB	TOY	LG2	NYC	PHI	BAL	CHS	LG1	OAK	HK1
fyldningsgrad %	24	45	53	70	85	59	50	50	55	59	80	90	57
antal shiftings	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
afviste containere	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Total beregningstid: 35.52 sec

Fig 7.2.2 Resultater 2.

## Transportmatricen:

fra havn:		SIN	HK2	KEE	KOB	TOY	LG2	NYC	PHI	BAL	CHS	LG1	OAK	HK1
til	havn:	HK2	12											
		KEE	5	1										
		KOB	16	5	1									
		TOY	8	1	0	0								
		LG2	37	25	39	38	35							
		NYC	81	56	40	60	60	0						
		PHI	11	8	6	11	11	0	0					
		BAL	20	11	12	35	27	0	0	0				
		CHS	9	6	6	12	5	0	0	0	0			
		LG1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		OAK	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	
		HK1	0	0	0	0	0	0	95	16	30	10	43	30
		SIN	0	0	0	0	0	0	87	9	22	7	55	67
			%	0	0	0	0	0	87	9	22	7	55	67

## Rutestatistik:

i havn:	SIN	HK2	KEE	KOB	TOY	LG2	NYC	PHI	BAL	CHS	LG1	OAK	HK1
fyldningsgrad %	32	47	63	84	100	74	59	55	47	44	62	74	41
antal skiftings	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
afviste containere	0	0	0	0	27	0	0	0	0	0	0	0	0

Total beregningstid: ca. 36 sec.

Fig. 7.2.3 Resultater 3.

## Transportmatricen:

fra havn:		SIN	HK2	KEE	KOB	TOY	LG2	NYC	PHI	BAL	CHS	LG1	OAK	HK1
til	hav:	HK2	19											
		KEE	11	2										
		KOB	33	9	1									
		TOY	6	6	0	3								
		LG2	55	39	66	40	35							
		NYC	104	84	28	69	60	0	0					
		PHI	2	21	21	22	11	0	0	0				
		BAL	43	9	41	33	27	0	0	0	0			
		CHS	21	18	0	15	5	0	0	0	0	0		
		LG1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		OAK	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	
		HK1	0	0	0	0	0	0	95	16	30	10	43	30
		SIN	7	0	0	0	0	0	87	9	22	7	55	67
														19

## Rutestatistik:

i havn:	SIN	HK2	KEE	KOB	TOY	LG2	NYC	PHI	BAL	CHS	LG1	OAK	HK1
fyld-													
nings-	47	74	97	100	100	69	64	61	49	44	62	74	42
grad %													
antal													
shif-	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0
tings													
afviste													
contai-	0	0	0	112	138	0	0	0	0	0	0	0	0
nerne													

Totale beregningstid: ca. 35 sec.

Fig. 7.2.4 Resultater 4.

## 7.3 Sammenligninger.

### 7.3.1 Målsætningens opfyldelse.

Vi vil p.g.a. manglende resultater fra vægtfordelingen kun sammenligne metodens og virkelighedens opfyldelse af den primære målsætning (kap. 3.2).

Den primære målsætnings opfyldelse kan måles ved antallet af shiftings (= ekstra losninger/lastninger). I appendix 2A fandt vi udfra et vist antal havneanløb et gennemsnitlig antal shiftings pr. ruteomløb på 273,3 TEU-shiftings. Denne størrelse skal ændres, så den bliver anvendelig til sammenligning. Det i metoden anvendte skib medtager 40' containere, og det er i alt på 1068 TEU mod 1300 TEU i praksis. Såfremt antallet af shiftings i gennemsnit er proportionalt med skibets størrelse, svarer ovennævnte størrelse til godt 100 40'-shiftings pr. ruteomløb.

I de 4 kørsler, der er vedlagt som bilag 5, er antallet af shiftings i gennemsnit på 3 40'- shiftings pr. ruteomløb.

Et umiddelbart resultat er derfor en kraftig besparelse.

For at begrunde denne vurdering nærmere kan nævnes, at MCL-fyldningsgrad under dataindsamlingsperioden i gennemsnit var under den lavest testede fyldningsgrad.

Imod en direkte sammenligning taler dog, at skibenes størrelse og kompleksitet i virkeligheden vil medføre et noget mere end proportionalt antal shiftings. Specielt forudsætningen om én slags containere gør håndteringen og fordelingen af containerne noget lettere, og antallet af shiftings vil da også påvirkes heraf.

I virkeligheden sker de fleste shiftings i de samme havne som modelløsningen angiver. Det er nemlig i de havne skibet er mest fyldt. Men også i andre havne, hvor skibet har en lille fyldningsgrad, foretages der i virkeligheden mange shiftings. Disse undgås helt ved anvendelse af løsningsmetoden.

### 7.3.2 Losse/laste-planerne.

En direkte sammenligning mellem den stuvning af containere, der foregår i virkeligheden, og den, modellen angiver, vil ikke kunne praktiseres.

Dette skyldes ikke blot forskellen mellem de virkelige og de i metoden afprøvede skibe, men også mangel på sammenhængende data. MCL har ikke planer over skibene på et vilkårligt tidspunkt liggende centralt i København. Der findes dog planer fra alle skibene hver gang de passerer Stillehavet.

En mulig sammenligningsmetode vil være at betragte hvormeget planerne "blander" containere til de forskellige destinationer. Dette afhænger selvfølgelig af den valgte tildeling af søjler til destinationer (kap. 2.2).

Skibet er næsten altid mest fyldt på ture mellem Tokyo og Long Beach. På dette sted er op mod 95% af søjlerne i de 4 angivne løsninger fyldt med containere til kun én destination, og det samme gælder for over halvdelen af søjlebundterne.

Denne ikke særlig komplicerede pakning gør sig i næsten samme grad gældende i virkeligheden. Her blandes de forskellige destinationer dog lidt mere, og der er bl.a. dette, der medfører det større antal shiftings. Hvis destinationerne blandes meget medfører det en øget kranflytning.

En sammenligning mellem resultaterne (bilag 5) og virkeligheden for pakkeplanerne vil i hvert fald ikke falde dårligt ud for løsningsmetoden. Den producerer pakkeplaner af samme ensartethed.

#### 7.4 Vurdering af løsningsmetoden.

Med den indskrænkning den manglende færdiggørelse af vægtfordelingsprocessen betyder in mente, skal der nu gives en generel vurdering af løsningsmetoden.

Målsætningens opfyldelse er med løsningsmetodens anvendelse sikret i lang højere grad end i virkeligheden. Dette forhold kan ydermere begrundes med, at det faktisk har været en opgave i sig selv at finde udfald af transportmatricen, der både var realistisk og gav shiftings.

Det må derfor konstateres, at løsningsmetodens anvendelse medfører opfyldelse af den primære målsætning (kap 3.2) i tilfredsstillende grad.

Et forsigtigt skøn udfra resultaterne vil angive en faktor 10 i besparelsen af shiftings.

Løsningsmetoden producerer endvidere enkle og fornuftige løse/laste-planer. Også her er der en (omend svagere) forbedring i forhold til virkeligheden.

Alt i alt må løsningsmetoden siges at være effektiv.

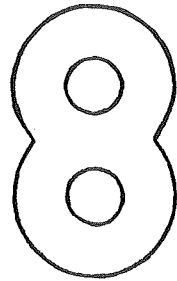
Denne vurdering bygger dog klart på en forudsætning om, at vægtfordelingen i øvrigt ikke volder problemer.

Metoden er forholdsvis hurtig i anvendelse. På IBM370/165

vil planlægningen for én havn tage ca. 3 sec. Dette inkluderer også datagenereringsprogrammet i VÆGT, men ikke MPSX-løsningen.



KONKLUSION OG AFSLUTNING





## 8 KONKLUSION OG AFSLUTNING.

### 8.1 Generel konklusion.

Formålet med projektet har, som nævnt i kap. 1, været at finde/konstruere en metode ved hjælp af hvilken, man kan danne optimale/acceptable losse/laste-planer,

Der er konstrueret en løsningsmetode, der netop finder de optimale losse/laste-planer, hvor ordet optimal dog må tages med et vist forbehold. Som godtgjort i kapitlerne 6 og 7 sikrer løsningsmetoden en god opfyldelse af den for problemet opstillede primære målsætning.

Metoden er ikke endeligt færdigbygget. Vægtproblemet er endnu ikke løst i praksis, så de nævnte konklusioner forudsætter at dette problem er muligt at løse. Denne forudsætning er dog med stor sandsynlighed opfyldt.

Hovedkonklusionen bliver derfor, at projektet har resulteret

en opfyldelse af den for projektet opstillede målsætning med ovennævnte modifikation taget i betragtning.

Under et sådant praktisk projekt vil det være meget svært at undgå vildspor. Et af disse har resulteret i en effektiv løsningsmetode for den succesive losning/lastning af én søjle. Denne løsningsmetode kan tænkes at have værdi for analoge problemstillinger, og er derfor et resultat af projektet, der egentlig falder uden for målsætningen.

## 8.2 Ønskede udvidelser af løsningsmetoden.

Løsningsmetoden bygger på en række afgrænsninger af det virkelige system (kap. 3.3). Hvis de væsentlige af disse afgrænsninger ikke på én eller anden måde kan gøres unødvendige ved at indbygge dem i metoden, vil den endelige værdi af denne være ringe.

Det er klart, at forudsætningen om én slags containere er meget urealistisk. Foruden de to hovedgrupper på 20' og 40' containere er der en række specialcontainere, der skal placeres bestemte steder i skibet.

Den matematiske model vil, ved tilstrækkelige udvidelser, kunne medtage flere containere. Men på grund af dens i forvejen praktiske uanvendelighed synes dette ikke at være nogen lovende måde.

Derimod vil den heuristiske proces lettere kunne medtage dette forhold. De specielle containere vil man kunne prioritere højest, og derved muliggøre en korrekt placering. Og at behandle to slags containere kan tænkes gjort ved at foretage en sammenkobling af 2 20' containere (se kap. 3.3) og/eller ved

at anvende prioriteringen (først placere 40' containere, der har færrest placeringsmuligheder).

Hermed være dog ikke sagt, at en sådan udvidelse vil være let at foretage.

Af andre gjorte forudsætninger er det kun den på fig. 3.3.1 viste, der i praksis indskrænker systemet. I de virkelige skibe står mange containersøjler over dækket på to dæksluger. Denne forudsætning vil imidlertid let kunne fjernes, idet alle disse søjlers beskrivende index kan gives afhængighed af begge de underliggende søjlebundter.

Endelig vil det, hvis vægtfordelingen ikke fungerer godt nok, være et ønske at kunne medtage vægtproblemet i prioriteringen, og der er i princippet intet til hindring herfor.

### 8.3 Implementering af løsningsmetoden.

Når (hvis) den endelige løsningsmetode skal implementeres i praksis, kan datakommunikationen tænkes at have et udseende, som vist på fig. 8.3.1.

Det er nødvendigt enten at foretage losse/laste-planlægningen centralt eller at have et meget kraftig dataflow, og bl.a. på grund af den foreslåede lineære programmeringsløsning er den centrale planlægning foreslået.

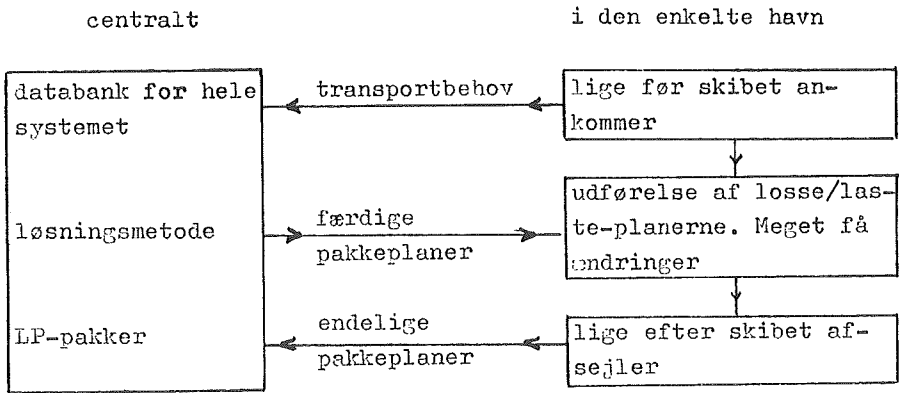


Fig. 8.3.1 Foreslået datakommunikation

LITTERATUR.

- |                  |        |   |
|------------------|--------|---|
| AEG-TELEFUNKEN   | (1974) | Container handling, A System Study            |
| Jensson, Pål     | (1974) | Stokastisk Programmering                      |
| Kessel, Ole      | (1976) | Kursusrapport i OR-Case studies (upubliceret) |
| Madsen, Ole G.M. | (1973) | Dekomposition og Matematisk programmering     |
| Rath, Eric       | (1973) | Container Systems                             |

## Tidsskrifter:

- |           |                                |
|-----------|--------------------------------|
| (1970-76) | Containerization International |
| (1970-75) | Cargo Handling                 |

EKSAMENSPROJEKTER SOMMEREN 1976

- 'Diagnosticering af akutte mavelidelser' af Tue Hauge Bertelsen.
- 'Ruteplanlægning i forbindelse med stykgodstransport' af Marianne Bundgaard.
- 'Stuvning af containerskibe v.h.a. EDB' af Ole Kessel.
- 'Analyse af flytrafik i Grønland - en simulationsmodel' af Jens Kjærgaard og Paul Rasmussen.
- 'Budgetsimulering i en entreprenørvirksomhed' af Jens Permin.
- 'Optimal styring af satelliter' af Karl Johan Simonsen.
- 'Vedligeholdelsesplanlægning hos et luftfartsselskab' af Peter Stig-Nielsen.
- 'Planlægningsmodel for en landbrugsenhed' af Henrik Thygesen.