

Langtidsproduktionsplanlægning ved hjælp af en transportmodel.

Af M. Riis*)

Grundlaget for den efterfølgende artikel er en del af forfatterens hovedopgave til diplomprøven i organisation ved Handelshøjskolen i København i 1964. Titlen på hovedopgaven var: »Giv en fremstilling af nogle få operationsanalytiske metoder og en vurdering af deres anvendelsesmuligheder på planlægningsproblemer i en virksomhed indenfor levnedsmiddelbranchen«. Kendskabet til levnedsmiddelbranchen stammer fra forfatterens ansættelse på en fiskefiletfabrik i årene 1959-62.

Da virksomheden ønsker at optræde anonym, kaldes den i det følgende for FROSTFISK.

Ved at beskrive indkøb-, produktions- og salgsmåden i ovennævnte virksomhed dannes det grundlag, som senere i artiklen benyttes til at opstille en transportmodel til at løse virksomhedens produktionsplanlægning med. Hvor gode, transportmodellens muligheder er for dette, vurderes til slut.

I. INDLEDNING

I årene umiddelbart efter den anden verdenskrig og først i halvtredserne opstod der rundt om i landets fiskerihavnebyer små virksomheder, der opkøbte rødspætter og torsk på de stedlige fiskeauktioner og skar fiskefilet'er ud af dem. Når filet'erne var skåret ud, blev de pakket i små kartoner og derefter frosset ned, idet grundlaget for disse små virksomheder var, at man havde opdaget, at fødevarer, der blev frosset ned til og opbevaret ved en temperatur på fra -20° C til -30° C, kunne holde sig friske i meget lang tid. Hvis fiskefilet'erne ikke bliver frosset ned, er holdbarheden meget begrænset. Allerede efter 12-24 timers forløb efter udskæringen er der en betydelig smagsforskel, og går der længere tid, afhængig af temperaturen og tiden, der er gået efter fiskens død, bliver filet'erne uegnede til menneskeføde.

Der var gode afsætningsmuligheder for de dybfrosne fiskefilet'er, idet prisen blev påvirket af det forhold, at medens en husmoder må kassere affaldet (ben, skind og hoved), der fremkommer ved fileteringen, kunne fiskefiletfabrikkerne sælge affaldet til de minkfarme, der var begyndt at opstå i de samme fiskerihavnebyer. I flere tilfælde voksede virksomhederne derfor eksplosionsagtigt.

Den virksomhed, FROSTFISK, Jylland, der har dannet grundlag for den model, der skal opbygges i det følgende, beskæftigede i 1948 ca. 10 medarbejdere. I 1962 beskæftigede den flere hundrede medarbejdere.

Det er klart, at produktionsplanlægningen i denne virksomhed er undergået betydelige ændringer under en sådan voldsom vækst.

*) Afdelingsingeniør, civiløkonom.

Denne artikel beskriver anvendelsen af en transportmodel til at løse virksomhedens produktionsplanlægningsproblem med, men inden man kommer nærmere ind på disse problemer, er det hensigtsmæssigt ganske kort at beskrive virksomheden. Det gøres ved først at se, hvorledes FROSTFISK fremskaffer sit råmateriale, dernæst hvorledes produktionen foregår; til slut ses på afsætningen af det færdige produkt.

Indkøb af råfisk.

Opkøb af fisk sker gennem opkøbere på forskellige fiskeauktionssteder fordelt over hele Jylland, undertiden også af opkøbere på Sjælland og Bornholm. Fiskeauktioner afholdes de pågældende steder flere gange daglig, og umiddelbart før auktionen kalder opkøberen pr. telefon indkøbsledelsen på virksomheden for at fortælle, hvor meget der er tilført auktionen, samtidig får opkøberen at vide, hvilke max. priser han må gå op til, og hvor meget fisk man er interesseret i. Hvis der sker væsentlige afvigelser fra det planlagte under auktionen, telefonerer opkøberen til indkøbsledelsen for at få nye direktiver. Efter auktionen beretter opkøberen, hvor meget han har købt og til hvilke priser.

Priserne på råfisk svinger efter tilførslerne til auktionerne og efter efterspørgslen. Der er ikke på auktionerne nogen over- eller undergrænse. Endvidere er priserne på råfisken underkastet sæsonsvingninger, der er forskellige for de forskellige fiskesorter. For at give læserne en idé om, hvilket prisvariationer, der kan forekomme, kan nævnes, at rødspættepriserne kan variere fra ca. 0,85 kr. til 3,25 kr. pr. kg. Da prisen på råvaren udgør en væsentlig del af fabrikationsprisen, er det at købe billigt muligt ind af stor betydning for FROSTFISK.

Produktionen.

Når råfisken er kommet fra fiskeauktionen, tages der stilling til, om fisken skal behandles med det samme, eller om den først skal forarbejdes senere. Skal den ikke behandles med det samme, køres den ind på råvarelageret, hvor den opbevares ved en temperatur på ca. 0° C. Det er dog kun rødspætter og issing, der kan opbevares en kortere tid på råvarelageret, idet det for de andre fiskesorters vedkommende ville gå ud over kvaliteten. Derfor må disse fiskesorter behandles, så snart de kommer fra auktionen.

Produktionen starter for rødspætter, hvilling og issings vedkommende med, at de skylles og derefter vejes op i akkordkasser, før de går til håndskæring.

Efter at filet'en er skåret ud og kontrolvejret, bliver den skyllet og går så videre til pakningen, der foregår ved, at man i maskinfremstillede kartoner afvejer den bestemte mængde fisk, der skal i kartonerne. Derefter lukkes kartonerne på en kartonlukkemaskine og pakkes til slut i en maskine ind i vokspapir, der varmførsegles.

Det er ikke muligt at have noget lager mellem skæringen og pakningen, idet selv en lagring på nogle få timer går ud over fiskefilet'ens kvalitet. Produktionsforløbet mellem skæringen og pakningen er derfor flydende.

Umiddelbart efter at pakningen er foretaget, fryses filetpakningerne ved en temperatur på ca. -40° C. Efter frysningen pakkes de frosne filetpakninger i forsendeskartoner og sendes derefter til lageret, hvor de opbevares ved en temperatur på ca. $+30^{\circ}$ C.

Virksomheden fremstiller også filet'er af store torsk. Produktionsmåden for denne fiskesort er den, at de skæres på en specielt indrettet maskine. Filet'erne pakkes på

et håndpakkebord i store pakninger på ca. 6 kg, idet disse pakninger ikke går direkte til forbrugerne, men udgør et halvfabrikata.

Ved maskinskæring og håndskæring fremkommer der noget affald, der pakkes i papirsække og sælges enten direkte eller nedfryses, indtil det sælges som minkfoder.

Varesortimentet er i virkeligheden større, end det er vist i den efterfølgende tabel 1, idet mange af pakningerne findes i forskellige dekorationer, alt efter hvilket land de skal eksporteres til. Da dette er uden betydning for de problemer, der skal rides op i det følgende, er der ikke taget hensyn til dette forhold.

TABEL 1.
Varesortiment:

<i>Pakning</i>	<i>Varenummer</i>
6 kg torsk	1
450 g torsk	2
300 g torsk	3
450 g flåede rødspætter	4
300 g flåede rødspætter	5
13 oz skindrødspætter	6
7½ oz skindrødspætter	7
450 g issing	8
450 g hvilling	9

Salget.

Salget foregår i hovedsagen til to store kunder (ca. 95 %). Der vil i det følgende ikke blive taget noget hensyn til de kunder, der repræsenterer de resterende ca. 5 % af salget, idet disse menes at være uden væsentlig betydning for de problemer, der skal behandles her.

Den ene af de store kunder er bosiddende i U.S.A. og aftager kun de 6 kg halvfabrikatapakninger, medens den anden og absolut største kunde aftager både halvfabrikatapakninger og hele resten af varesortimentet. For U.S.A.-kundens vedkommende foregår salget på den måde, at det om efteråret aftales, hvor meget der skal leveres det følgende år. Der fastsættes en pris, og der aftales et minimumskvantum og et maksimumskvantum. Hvad angår leveringstiden fastsættes den til juni eller juli måned, hvor torskesæsonen er overstået.

Aftalen med den største af kunderne om næste års salg finder ligeledes sted om efteråret, men her aftales et bestemt kvantum, ligesom der aftales bestemte priser. Kvanta specificeres således, at det fremgår, hvor meget der ønskes leveret i hver af årets tolv måneder.

II. PROBLEMSTILLING

Idet man kender afsætningen pr. måned eet år frem i tiden og har et vist kendskab til sæsonsvingningerne for råvarepriserne samt kender virksomhedens kapacitet, der kan varieres indenfor et bestemt område, bliver problemet at finde frem til, hvor meget der skal produceres pr. måned for at minimere virksomhedens omkostninger.

De to eneste faktorer, der kan påvirke virksomhedens planlægningspolitik, er råvarepriserne og lageromkostningerne, og af disse to er råvarepriserne så afgjort af størst betydning.

Hvis virksomheden på de tidspunkter, hvor råvarepriserne var meget lave, havde

ubegrænsede mængder af arbejdskraft, indfrysningkapacitet o. s. v. til rådighed, er der ingen tvivl om, at den økonomisk bedste løsning var at producere løs i disse tider, uanset hvor længe varen skulle opbevares på lageret. Dette kunne maksimalt blive eet år, idet priserne svinger sæsonmæssigt indenfor eet år. Nu har virksomheden ikke disse ubegrænsede ressourcer og må derfor økonomisere.

Inden der gås over til at vise en løsningsmåde på disse problemer, beskrives en generel transportmodel kort.

III. TRANSPORTMODELLER

Transportmodellerne er karakteriseret ved, at man har (m) oprindelsessteder, hvor hvert oprindelsessted (i) er i besiddelse af (a_i) dele og (n) bestemmelsessteder, hvor (m) kan være forskellig fra (n). Hvert bestemmelsessted (j) kræver b_j dele. Idet det forudsættes, at $\sum a_i = \sum b_j$, og idet man får omkostningerne, der er forbundet med at flytte een del fra hvert oprindelsessted til hvert bestemmelsessted opgivet, spørges om det minimale sæt omkostninger, der er forbundet med denne transport.

Problemet kan formuleres som følger, idet der er givet en m -gange- n firkant bestående af reelle tal, c_{ij} , såvel som to sæt positive tal (a_1, a_2, \dots, a_m) og (b_1, b_2, \dots, b_n) med

$$(1) \quad \sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j \text{ for hvert } j$$

såvel som:

$$(2) \quad \sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i \text{ for hvert } i$$

den række (x_{ij}) for hvilken totalen:

$$(3) \quad \sum_{i,j} x_{ij} c_{ij}$$

har sin minimumsværdi.

Her repræsenterer c_{ij} omkostningen, der er forbundet med at flytte een del fra oprindelsesstedet (i) til bestemmelsesstedet (j), og x_{ij} repræsenterer det antal, der overflyttes fra oprindelsesstedet (i) til bestemmelsesstedet (j).

For at belyse hvad transportmodellerne normalt benyttes til, skal her gives problemstillingen i en sådan model.

Forudsæt at der i en lille by opstår et behov for et antal ekstra busser. Der kræves 3 busser til bestemmelsesstedet A, 3 til B, 4 til C og 5 busser til D. Disse 15 busser må komme fra garagerne G_1 , G_2 og G_3 , hvor der står henholdsvis 2, 6 og 7 busser klar til sådanne formål. Lederen af busstationen ønsker at fordele busserne på en sådan måde, at det totale antal busminutter fra garagerne til bestemmelsesstederne bliver mindst mulig. Tiden i minutter, det tager at køre fra hver garage til hvert bestemmelsessted, er kendt.

IV. LØSNING

Der skal i dette afsnit vurderes, om transportmodellen kan anvendes ved løsning af virksomhedens langtidsproduktionsplanlægningsproblem. Der gås frem på den måde, at man først gør nogle forudsætninger, hvorefter problemet formuleres matematisk,

og der anvises en løsningsmetode. Til slut tages forudsætningerne op til debat for at undersøge metodens praktiske anvendelighed.

Der må gøres følgende forudsætninger:

1. at virksomheden kender den mængde af hver vareart, der skal produceres i planlægningsperioden (1 år).
2. at virksomheden kender råvarepriserne måned for måned 1 år frem i tiden.
3. at virksomheden kender det antal damer, den råder over i hver måned 1 år frem.
4. at virksomheden ikke har andre produktionsmæssige begrænsninger end arbejdskraften.

Virksomhedens planlægningsproblem kan formuleres som ønsket om at minimere

$$(4) \quad \sum_{i,j} p_{ij} x_{ij}$$

for hvilke restriktionerne (5), (6) og (7) gælder (se længere fremme), og hvor p_{ij} er råvareprisen plus de variable fremstillingsomkostninger for varen (i) pr. enhed i måneden (j), og x_{ij} er det antal timer, der skal anvendes til at producere varen (i) i måneden (j). Der er valgt at benytte timer i stedet for antal kg af varen, der skal produceres i den pågældende måned, da dette letter de efterfølgende beregninger. Dette kan gøres, idet man i en matrix, som den der er vist ovenfor, kan gange og dividere med en konstant, uden at placeringen af det minimale værdisæt forrykkes.

Problemet behandles som et transportproblem, idet det drejer sig om at bestemme minimumsomkostningerne ved at overføre nogle varer fra et oprindelsessted (auktionen) til et bestemmelsessted (færdigvarelageret), hvor råvareprisen plus de variable fremstillingsomkostninger er prisen for denne overførsel.

I tabel 2 er vist råvarepriserne plus de variable fremstillingsomkostninger for de enkelte varenumre i hver af årets tolv måneder.

TABEL 2				
varenummer	måned 1	måned 2	...	måned 12
1	$p_{1,1}$	$p_{1,2}$	...	$p_{1,12}$
2	$p_{2,1}$	$p_{2,2}$	...	$p_{2,12}$
3	$p_{3,1}$	$p_{3,2}$	...	$p_{3,12}$
.
.
.
9	$p_{9,1}$	$p_{9,2}$	...	$p_{9,12}$

Da der ikke kan være noget lager mellem auktionen og færdigvarelageret, må følgende gælde:

$$(5) \quad \sum_{j=1}^{12} b_j = \sum_{i=1}^9 a_i$$

hvor b_j er det antal timer, der er til rådighed i hver måned, og hvor a_i er det antal timer, der kræves for at producere den mængde af hvert varenummer, der går på færdigvarelageret i planlægningsperioden (1 år).

I nedennævnte tabel 3 bestemmes de (x_{ij}) værdier, som tilfredsstill

$$(6) \quad \sum_{i=1}^9 x_{ij} = b_j \text{ for hvert } j$$

og

$$(7) \quad \sum_{j=1}^{12} x_{ij} = a_i \text{ for hvert } i$$

Varenummer	TABEL 3					sum
	måned 1	måned 2	...	måned 12		
1	$x_{1,1}$	$x_{1,2}$	...	$x_{1,12}$	a_1
2	$x_{2,1}$	$x_{2,2}$	...	$x_{2,12}$	a_2
3	$x_{3,1}$	$x_{3,2}$	...	$x_{3,12}$	a_3
.	
.	
.	
9	$x_{9,1}$	$x_{9,2}$	...	$x_{9,12}$	a_9
sum	b_1	b_2	...	b_{12}		

således at (4) minimeres.

I tabel 3 er alle a 'erne og b 'erne kendte størrelser, idet virksomheden som forudsat har kendskab til, hvor meget der skal afsættes det næste år af hver af varenumrene udtrykt i timer (a 'erne), ligesom virksomheden har kendskab til, hvor mange timer den råder over i hver måned 1 år frem i tiden (b 'erne).

Der skal ikke her komme nærmere ind på, hvorledes ovennævnte transportproblem løses, idet der kan henvises til følgende litteratur:

Dano, Sven: Linear Programming in Industry, Theory and Applications, Wien, 1960 (side 85).

Sasieni, Maurice, Arthur Yaspán & Lawrence Freedman: Operations Research, Methods and Problems, New York, 1959 (side 202).

Vajda, S.: Readings in Linear Programming, London, 1958 (side 5).

Når problemet er beregnet, fås en tabel i lighed med tabel 3, hvor der står angivet det antal timer, der i den bestemte måned skal anvendes på det bestemte varenummer.

V. DISKUSSION

Ved indledningen af foregående afsnit måtte opstilles fire forudsætninger. Efter at have løst problemet ses nu på disse forudsætnings relevans.

Forudsætning 1: at virksomheden kender afsætningen.

Som det har været anført i det foregående, kender virksomheden afsætningen i det kommende år, og den kender sit lager ved planlægningsperiodens start og kan således beregne, hvor meget der skal produceres i det kommende år. Fra aftagerne underrettes virksomheden om, hvor meget der skal leveres af hver enkelt vareart i hver enkelt måned. Dette er der ikke taget hensyn til i de udførte beregninger, så de må først gennemføres, og derefter må det konstateres, om disse leveringstider kan overholdes. Kan de ikke det, må beregningerne revideres på en sådan måde, at omlaceringen finder sted til den billigste pris. Selvom dette kan gøres, kan det vanskeliggøre beregningerne en hel del.

Forudsætning 2: at virksomheden kender råvarepriserne.

Denne forudsætning synes ved første øjekast at være temmelig urealistisk, men da det, som det vil fremgå af beregningerne, ikke så meget er råvareprisens absolutte størrelse det drejer sig om, men den procentuelle størrelse i forhold til de omliggende måneder og i forhold til de andre fiskesorter, er det ikke så urealistisk endda at gøre denne forudsætning.

Forudsætning 3: at virksomheden kender arbejdskraftkapaciteten.

Forudsættes jævn beskæftigelse året rundt, lægges en begrænsning på modellen, som måske kan være dyr. Hvor dyr kan man få et billede af ved at gennemregne modeller med forskelligt antal damer og dermed forskellige timeydelser i de enkelte måneder.

Der er ikke tale om ydre begrænsninger, idet virksomheden kan skaffe den arbejdskraft, den har brug for, bl. a. ved at hente den med rutebil fra »arbejdsløshedsoer«, der er i området.

Den bedste måde at finde frem til det optimale antal damer i hver måned i det foreliggende tilfælde er uden tvivl, at man på grundlag af den samlede produktion først finder frem til, hvor mange damer man gennemsnitlig har brug for pr. måned for at klare den planlagte årsproduktion. Dernæst finder man, f. eks. grafisk, frem til den tid, det tager at oplære evt. nye damer, evt. overgang til to-skift o. s. v.

Der udføres nu yderligere to fordelinger af antallet af damer pr. måned for planlægningsperioden. Produktionsfordelingen gennemregnes nu for alle tre arbejdskraftfordelinger, og man ser, om disse beregninger peger på, at en bedre fordeling er mulig, ligesom de praktiske konsekvenser af en sådan ændret fordeling vurderes.

Forudsætning 4: at virksomheden ikke har andre produktionskapacitetsbegrænsninger end arbejdskraften.

Denne forudsætning er kun realistisk, når antallet af arbejdere er meget lille. Jo mere produktionsapparatet udnyttes, desto flere restriktioner fremkommer der.

Når antallet af arbejdere stiger, vil der fremkomme begrænsninger både for håndskære- og maskinskærekapaciteten. Der vil også fremkomme begrænsninger ved pakkeprocessen både af arbejdsmæssig og maskinmæssig art, ligesom der vil fremkomme begrænsninger af personaleoplæringsart.

Når fordelingen af arbejdskraften for de enkelte måneder foretages, kan der tages hensyn til de begrænsninger, der består indenfor personaleoplægningen, ligesom der kan tages hensyn til de begrænsninger, der er af håndskærekapacitetsmæssig og pakkekapacitetsmæssig art. Mindre kapacitetsbegrænsning kan overvindes ved hjælp af overarbejde.

VI. KONKLUSION

Selvom det har været nødvendigt at gøre nogle ikke helt realistiske forudsætninger for at opstille denne model, vil modellen med relevante forudsætninger og et godt kendskab til virksomheden sikkert kunne gøre god fyldest.

For at vurdere modellens billede af virksomheden kunne man bruge den til at vurdere tidligere års planlægning, idet man kunne planlægge ud fra modellen for et år, man kender produktionsresultatet for, og se, om differencen mellem det faktisk opnåede resultat og det resultat, modellen ville have givet, berettiger en fremtidig anvendelse af modellen.

Modellens fordel ligger i, at den er forholdsvis let at beregne, således at man hurtigt finder frem til et resultat og kan vurdere sandsynligheden af det. Modellen er også overskuelig, således at man kan se og beregne, hvad der sker, hvis dette eller hint forhold ændres.

VII. AFSLUTNING

Det foreliggende problem vil også kunne løses ved hjælp af en lineær programmeringsmodel. Men da denne metode kræver anvendelse af en elektronisk regnemaskine og er betydelig mere omkostningskrævende end den foran viste, vil det sikkert være en fordel at starte med transportmodellen, så, hvis det skulle vise sig, at en nøjagtigere metode var påkrævet og at det vil være økonomisk forsvarligt at anvende den, at gå over til den lineære programmeringsmodel.

Der er ingen tvivl om, at også andre virksomheder end den i artiklen nævnte vil kunne anvende transportmodellen med fordel som planlægningsmodel.

Betingelserne for at kunne anvende modellen er, at råvareindkøbet udgør en væsentlig del af salgsprisen, og at råvarepriserne er underkastet sæsonsvingninger. Det må ligeledes kræves, at virksomheden har kendskab til sin afsætning.

Det vil sige, at også andre fiskefiletfabrikker vil kunne anvende den beskrevne transportmodel som hjælp ved planlægningen. Da de fleste andre filetfabrikker her i landet er betydelig mindre end den beskrevne, vil det måske gøre, at netop disse virksomheder med særlig fordel vil kunne anvende denne planlægningsmetode.

Der vil sikkert også blandt grøntkonservesfabrikkerne og andre levnedsmiddelfabrikker findes nogle, der vil kunne anvende den beskrevne metode med fordel.