

Slack, glapp, slækketid eller tidsreserve. J

Af MOGENS LINDHARD*

Fastlæggelsen af hensigtsmæssige slack (slækketider eller tidsreserver) indgår såvel i den traditionelle produktionsplanlægning som i netværksplanlægningen.

Fastlæggelsen foregår dog normalt på intuitiv basis uden forsøg på en systematisk afvejning af

omkostningerne til de tids- og lagerreserver der indlægges ved de enkelte aktiviteter i et netværk eller i en produktionsplan og

de opnåede slutserviceniveauer, d. v. s. de opnåede sandsynligheder for en rettidig færdiggørelse af projekt eller produktion.**)

Manglen på systematiske metoder vil – som det fremgår af efterfølgende artikel – føre til, at man udnytter den kapital, der er bundet i igangværende arbejde, særdeles dårligt, henholdsvis at man pådrager sig unødvendig store omkostninger til forcering.

Artiklen tager sit udgangspunkt i den traditionelle produktionsplanlægning og beskriver en model, der tillader en maksimering af sandsynligheden for den rettidige færdiggørelse af en produktion.

*) Konsulent i virksomhedsledelse, civiløkonom og civilingeniør.

***) Visse problemer omkring standardafvigelserne på tidsgennemløbet er behandlet i "Application of a Technique for Research and Development Program Evaluation" af Malcolm, D. G. Roseboom, C. E. Clark and Fazar, W. i Operations Research, Vol. 7 (1959).

The use of the compound Poisson in Pert af William H. Parks and Kenneth D. Ramsing. Management Science. Vol. 15. No. 8, April 1969.

Man kommer dog ikke ind på de økonomiske konsekvenser af større eller mindre slack eller på den påvirkning af aktiviteterne langs den kritiske vej, der hidrører fra eventuelle forsinkelser af tilstødende normalt ikke-kritiske aktiviteter.

Optimale gennemløbstider ved produktionsplanlægning.

I. Produktionsstyring og prioriteringsregler.

I det typiske montageværksted kan opståede forsinkelser som regel føres tilbage til vanskelighederne med at få alle samhørende dele til en montage frem samtidigt.

En enkelt del, der forsinkes i et foregående værksted, f. eks. på grund af kapacitetsmangel, værktøjshavari eller i et bevidst forsøg på at opnå besparelser gennem familiefremstilling, vil holde alle øvrige dele i montagen tilbage.

Bestræbelserne på at afbøde sådanne forsinkelser omfatter indførelsen af systemer til kapacitetsbelastning og detaljstyring.

I disse systemer udgør prioriteringsregler for de enkelte deloperationer et vigtigt led.

Prioriteringsreglerne kan grupperes på følgende måde:

1. *Prioriteringsregler ved planlægning af ordregennemløbet forud for ordreigangsætningen (Loading).*
 - 1.1 Regler for gennemløbstider og startterminer under forudsætning af tilstrækkelig kapacitet.
 - 1.2 Regler i forbindelse med belastningsudjævning.
 - 1.3 Regler af hensyn til familiefremstilling.
2. *Prioriteringsregler ved detailplanlægning efter ordrens igangsætning (Assignments).*
 - 2.1 Regler for forsinkede operationer og ordrer.
 - 2.2 Regler for belastningsudjævning.
 - 2.3 Regler af hensyn til familiefremstilling.

Der er i de seneste år offentliggjort en del artikler om prioriteringsregler. Det fremgår heraf, at der foregår en del forsøgs- og forskningsarbejde for at finde frem til hensigtsmæssige prioriteringsregler i både belastnings- og detailplanlægningen.

I de artikler, jeg har set, går man dog ud fra antagelsen om, at de under punkt 1.1 nævnte regler for gennemløbstider og startterminer er tilfredsstillende og iøvrigt ligger forud for arbejdet med prioriteringsreglerne. I det følgende er der set bort fra denne antagelse, og der er opstillet en model, der bestemmer gennemløbstiderne således, at man – under forudsætning af tilstrækkelig kapacitet – opnår den bedst mulige leveringsevne under anvendelse af den mindst mulige kapacitet.

Ved sammenligning med traditionelle regler er det herefter konstateret, at modellen indebærer meget store besparelsesmuligheder.

Den udarbejdede model vil iøvrigt kunne anvendes, uanset om man råder over en fuldstændig belastningsoversigt over alle vigtigere bearbejdningsgrupper, og uanset om man anvender mere eller mindre avancerede prioriteringsregler eller ej. *)

II. Regler for gennemløbstider og startterminer under forudsætning af tilstrækkelig kapacitet.

Gennemløbstiden for en færdigvare under job shop produktion bestemmes normalt, når der ses bort fra overlap og splitting, som summen af følgende enkelttider langs den kritiske vej:

Planlægningstid (incl. papirtid).

Ventetid og køtid foran de enkelte bearbejdnings-, montage- og kontroloperationer.

Opstillingstid.

Bearbejdnings-, montage- og kontroltid.

Ventetid før videretransport.

Transporttid.

1. Ventetid og køtid.

Blandt ovenstående deltid er det især fastlæggelsen af kø- og ventetiden, der volder problemer.

1.1 Teoretisk bestemmelse.

Køtiden foran de enkelte bearbejdnings- og montageoperationer skal principielt fastlægges således, at der opnås en passende ligevægt mellem omkostninger til maskin- og operatørvæntetid på grund af mangel på arbejde og omkostninger til igangværende arbejde ventende i køen.

Ved fastlæggelsen af den nævnte ligevægt må man klare tre væsentlige problemer.

For det første må der tages hensyn til, at ikke hele mængden af igangværende arbejde i en kø foran en arbejds- eller montageoperation er klar til bearbejdning.

Køen omfatter

*) I Robert F. Williams artikel "Basic Concepts for Production Control as Applied to Job Shops" »Erhvervsøkonomisk Tidsskrift« 1964 anvendes under detailplanlægningen en prioriteringsregel, hvorigennem man søger at minimere produktet af værditilvækst og den resterende slack.

såvel dele, der må (henh. bør) afvente ankomsten af andre dele før bearbejdning eller montage påbegyndes, som dele, der er klar til bearbejdning eller montage.

For det andet må man arbejde med individuelle køtider for de dele, der skal passere den pågældende arbejds- eller montageoperation.

Køtiderne bør således kunne varieres med de lager- og mangelomkostninger, der forbundet med de enkelte deles venten i køen.

For det tredje må der i kømodellen tages hensyn til værkførernes og arbejdernes bestræbelser på at tilpasse kapaciteten til den forhåndenværende arbejds mængde.

Der tænkes her ikke blot på mulighederne for ændringer i arbejdsstyrke, overtid og omflytninger, men også på bevidste eller ubevidste forsøg på at få arbejdet til at slå til, henholdsvis at klare en akut situation, hvor forsinkelser truer.

Alt i alt er disse problemer af en sådan natur, at man er tilbøjelig til at se væk fra køteori og se sig om efter andre muligheder.

1.2 Losning gennem fjernelse af behov for kø- og ventetid?

Enkelte steder søger man at klare de nævnte problemer ved at eliminere behovet for kø -og ventetid. Dette gøres gennem udbygning af planlægning og styring.

Det er her rigtigt, at en god belastningsudjævning og en tidlige erkendelse af kritiske forsinkelser er af afgørende betydning.

Man må dog samtidigt gøre sig klart, at forsinkelser på enkeltdele og undersamlinger i høj grad hidrører fra faktorer, hvis virkninger er vanskelige at afbøde.

Det drejer sig f. eks. om

forsinkelser fra råvare- og underleverandører,
brøk og svind,
maskin- og værktøjshavarier,
ikke planlagte kapacitetssvingninger,

d. v. s. fra faktorer, hvis indflydelse kan begrænses, men ikke elimineres.

Der vil derfor stadig være behov for visse arbejdsreserver til opfangning af statistisk betingede svingninger i arbejds mængden.

1.3 Model til fastlæggelse af optimale tids- eller arbejdsreserver.

I stedet for at søge at løse det foreliggende problem ved køteori, har jeg opstillet en stokastisk lagermodel, der bestemmer de optimale sikkerheds-

tider (henh. stødpudebeholdninger) foran de enkelte bearbejdnings- og montageoperationer.

Sikkerhedstiderne (henh. stødpudebeholdningerne) kan opfattes som de reserver foran de enkelte arbejdsgrupper, der er nødvendige for at opfangе forsinkelser.

Med hensyn til spørgsmålet om opretholdelsen af de planlagte gennemsnitlige gennemløbstider på de enkelte niveauer, er det forudsat, at de enkelte arbejdsgruppers kapacitet kan varieres i et sådant omfang, at en forsinkelse ikke senere giver anledning til kø.

Denne forudsætning, der overflødiggør anvendelsen af køteori, må efter min mening anses for fuldt realistisk i en job shop produktionsvirksomhed, hvor der gennemføres en grovplanlægning og værkførerene har mulighed for omflytning af arbejdskraft.

1.4 Traditionel fastlæggelse af gennemløbstider.

Der kan her være grund til at minde om, at terminsætning af produktionsordrer på varer med kompliceret styklistestruktur sjældent foregår ud fra køteoretiske overvejelser. Man anvender i stedet en mere eller mindre tilfældig kombination af front load (tidligst mulig start) og back load (senest mulig start).

Ved den første metode søger man så hurtigt som muligt efter en produktionsordres modtagelse at skabe mulighed for, at samtlige indkøb og operationer, der er nødvendige for fabriksordrens færdiggørelse, kan gå igang.

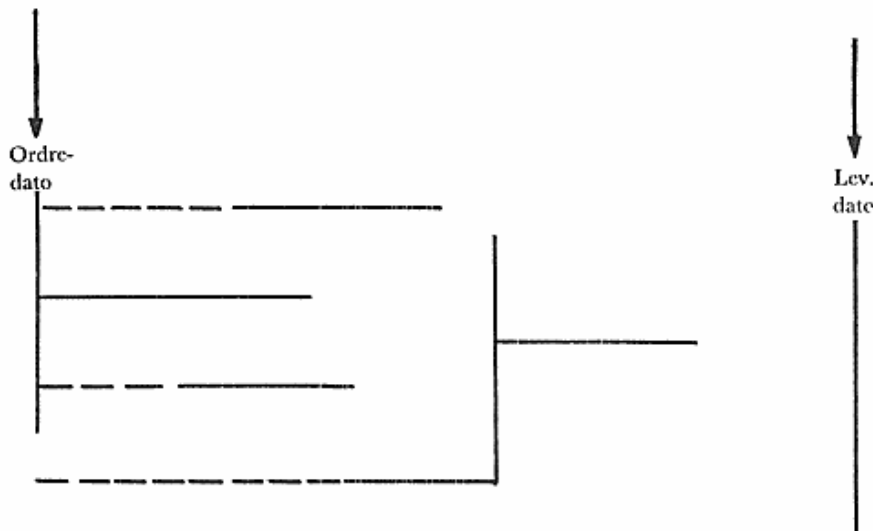


Fig. 1.

Man søger således at opnå de størst mulige tidsreserver (slack) overalt i styklistestrukturen.

Dette foregår dog ofte, uden at man går ind på en nærmere vurdering af, om samtlige dele kan nå rettidigt frem, eller om der visse steder findes negative slack, hvor en særlig indsats var nødvendig. (Sml. fig. 1).

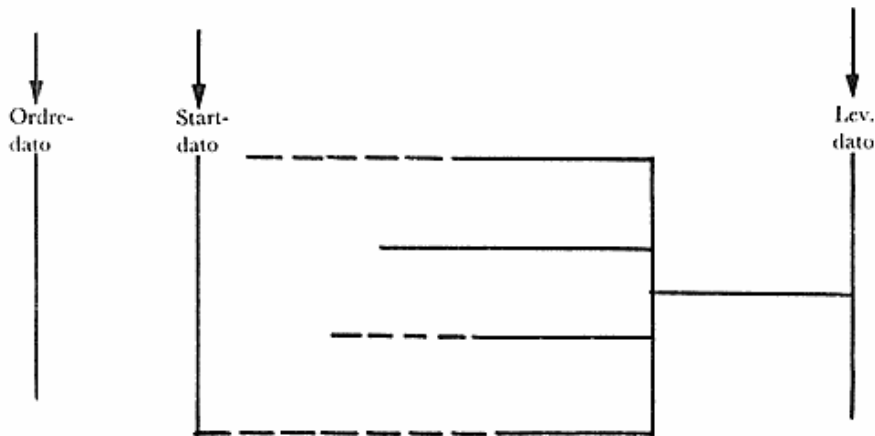


Fig. 2.

Ved den anden metode planlægger man starten af de enkelte indkøb og de enkelte operationer til tidspunkter, der ligger den normale gennemløbstid forud for det ønskede leveringstidspunkt for produktionsordren. (Fig. 2).

Den første metode vil normalt føre til store mængder af igangværende arbejde og kan – dersom der ikke indføres komplicerede prioriteringsregler – føre til lange gennemløbstider.

Metoden giver dog, hvis den kombineres med en effektiv belastningskontrol og produktionsstyring, de største muligheder for, at montererne kan forløbe planmæssigt.

Den anden metode fører til en ofte uacceptabel sårbarhed over for svingninger i leverandørernes leveringstider samt over for svingninger i produktionskapaciteten, f. eks. på grund af maskin- og værktøjshavarier, sygdom, brok o. l.

Resultatet er, at man i praksis på mere eller mindre intuitiv basis indlægger tidsreserver og stødpuder i gennemløbsplanen og herigennem søger at kombinere fordelene ved de to metoder, altså således at man søger at opnå en høj leveringsevne på basis af begrænsede investeringer i igangværende arbejde og lagre.

Det er dog normalt ikke muligt gennem sådanne på intuitiv basis fastlagte metoder at finde frem til en optimal ligevægt.

Resultatet vil derfor være, at der ofte bindes alt for store beløb i igangværende arbejde og lagre, henholdsvis at den anvendte lagerkapital udnyttes dårligt.

Den omtalte model til fastlæggelse af optimale tids- eller arbejdsreserver kan altså ses som en systematisering af de traditionelle principper.

2. Endelig terminsætning og produktionsplanlægning.

Efter at kø- og ventetider er fastlagt gennem den omtalte model, kan de endelige gennemløbstider og startterminer fastlægges og produktionsplanlægningen foregå.

III. Den opstillede model.

I den beskrevne version af optimeringsmodellen er det forudsat, at den mest hensigtsmæssige produktionstid for de forskellige aktiviteter er kendt, samt at mulighederne for at gennemføre forceringer til indhentning af opståede forsinkelser er begrænsede, henholdsvis at ekstraomkostningerne til den forcering, der kan foretages, ikke er væsentlige i sammenligning med lageromkostningerne.

En udvidelse af modellen, således at den kan tage hensyn til de større eller mindre muligheder for forcering og med en kendt maksimal gennemløbstid kan sikre en minimering af forceringsomkostningerne, er dog uden videre mulig.

Den opstillede model er baseret på en kombineret anvendelse af et antal specielle formler og betragtninger.

Af særlig interesse er følgende:

1. Fastlæggelsen af optimale sikkerhedstider for ordrevarer og optimale stødpuder for lagerevarer.

Der er for ordrevarer opstillet en formel, der tillader bestemmelsen af den sikkerhedstid, hvor summen af

de årlige lageromkostninger i de uger den pågældende vare venter på bearbejdningens start på grund af for tidlig ankomst og

de årlige mangelomkostninger i de uger bearbejdningens start må udskydes på grund af varens for sene ankomst,

er minimum.

Beregningen, der tager hensyn til, at der ofte anvendes ordrestørrelser, der er større end det øjeblikkelige behov, er baseret på de fastlagte lager- og mangelomkostninger.

En tilsvarende formel er anvendt for lagervarer.

2. Grundlag til bestemmelse af mangelomkostninger.

Der er her anvendt det grundlag jeg har beskrevet i min artikel »Fastlæggelse af serviceniveauer for lagerførte komponenter« i Erhvervsøkonomisk Tidsskrift i 1967.

De opstillede formler gør det muligt at fordele den til rådighed stående kapital (K) således, at der opnås en maksimal reliability ved montagen af færdigvaren.

$$K = \sum_{i=1}^n K_i$$

skal altså være konstant samtidig med, at man for hver delmontage opnår at

$$\beta_j = \pi \sum_{i=1}^n \beta_i$$

er max.

3. Bestemmelse af standardafvigelsen på genanskaffelsestiden for et helt sæt montagedele.

Standardafvigelsen på genanskaffelsestiden for en enkelt artikel vil blive afdæmpet i det omfang, der efter det planlagte gennemsnitlige leverings- eller færdiggørelsestidspunkt og før det videre produktionsforløb, er indskudt en sikkerhedstid.

På tilsvarende vis vil standardafvigelsen på genanskaffelsestiden for en undersamling blive afdæmpet i det omfang, der forekommer tidsreserver

fordi samtlige montagedele er til stede før det planlagte starttidspunkt for montagen og/eller

fordi der udover den gennemsnitlige montagetid er indskudt en tidsreserve.

4. Sammenhæng mellem serviceniveau og sikkerhedstid.

En leverance af en udgangsartikel, der i gennemsnit kommer rettidigt frem, vil have et serviceniveau på 0,50. Med en standardafvigelse på genskaffelsestiden på σ , en sikkerhedstid på $\lambda \cdot \sigma$, en leveranceordrestørrelse på $Q\emptyset S$ og en forbrugsordrestørrelse på $Q\emptyset F$ bliver det gennemsnitlige serviceniveau bestemt som

$$\beta_i = 1 - \frac{Q\emptyset F}{Q\emptyset S} \int_{\lambda}^{\infty} \varphi(\lambda) d\lambda$$

Forudsættes der normalfordeling, har man

$$\beta_i = 1 - \frac{Q\emptyset F}{Q\emptyset S} (1 - \Phi(\lambda))$$

For et komplet sæt montagedele (bestående af n dele) bliver serviceniveauet for delenes rettidige tilstedeværelse

$$\beta_f = \prod_{i=1}^n \beta_i$$

Dette serviceniveau bestemmer sammen med standardafvigelsen på genskaffelsestiden (σ_T) den gennemsnitlige før-leveringstid ($F\emptyset R$) for hele montagesættet:

$$F\emptyset R = \sigma_T \lambda_o$$

Analoge udtryk er opstillet for lagervarer.

5. Lageromkostninger.

Lageromkostningerne er bestemt således, at de dækker omkostningerne ved de anvendte sikkerhedstider og stødpudebeholdninger,

omkostninger ved ordrestørrelser større end de øjeblikkelige forbrug,

omkostninger ved varer under arbejde, herunder dels omkostninger under normal gennemløbstid og dels omkostninger mens varen venter fordi een eller flere dele til en montage ikke når frem til det planlagte starttidspunkt (se fig. 3).

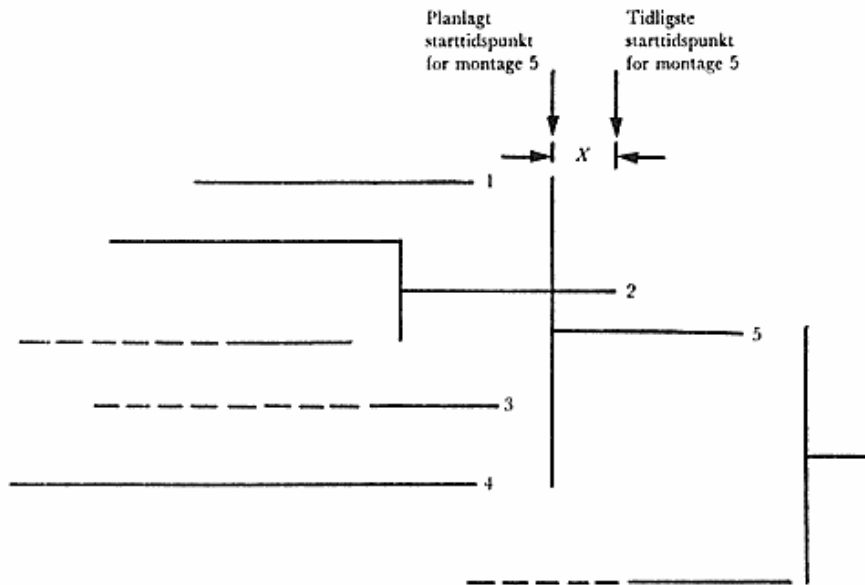


Fig. 3.

6. Faktorer der kan fastlægges gennem modellen.

Rent praktisk vil det gennem modellen være muligt at fastlægge bl. a.

- Størrelsen af de optimale sikkerhedstider for ordrevarer og optimale stødpudebeholdninger for lagervarer under hensyntagen til de forventede svingninger i genanskaffelsestider og forbrugstidspunkter samt den til rådighed stående kapital.
- Disponerings- og starttidspunkter for samtlige artikler og montager såvel ved normalt gennemløb (d. v. s. incl. optimale sikkerhedstider) som ved forceret gennemløb.
- Konsekvenserne af ændringer i de hidtidige grænser mellem lagervarer og ordrevarer.
- Konsekvenserne af ændringer i de hidtil anvendte ordrestørrelser.

IV. Sammenligning med hidtidig praksis.

Med henblik på at kunne sammenligne hidtidig og foreslået metode, blev der opstillet en model til beregning af serviceniveau, lagerromkostninger m. v. ud fra de i firmaet anvendte principper.

Disse principper svarede i store træk til den i mange produktionsfirmaer anvendte praksis, hvorefter der til den rene produktionstid tillægges en fast kø- og transporttid pr. operation og pr. afdeling.

Med henblik på sammenligningen blev der i begge modeller regnet med, at værkførere og planlæggere øver en indsats, der indebærer, at de på de enkelte niveauer beregnede teoretiske forsinkelser reduceres med en vis faktor, inden arbejdet på næste niveau skal igangsættes.

Den pågældende faktor blev fastlagt således, at de gennem modellen for den hidtidige metode beregnede værdier for igangværende arbejde og lagre kom til at svare til de fra praksis kendte forhold.

Resultatet af 2 kørsler er vist nedenfor. Kørslerne blev foretaget dels på et IBM 1130 anlæg og dels på et Burroughs B 3500 anlæg. Sproget var FORTRAN.

| Færdigvare | Antal komponenter | Hidtidig metode | | Foreslået metode | |
|------------|-------------------|-----------------|---------------|------------------|---------------|
| | | Service-niveau | Lageromkostn. | Service-niveau | Lageromkostn. |
| 1 | 450 | 10 % | 130.000 | 35 % | 50.000 |
| 2 | 600 | 2 % | 250.000 | 35 % | 150.000 |

Umiddelbart kan størrelsen af de beregnede forbedringer virke forbavsende. Det kan derfor være rimeligt at vise en række konstaterede resultater fra anvendelsen af en beslægtet lagermodel, der dog kun omfattede lagerførte artikler.

I det pågældende firma førte man ca. 25.000 varer på lager, og man anså et årligt antal skyldsedler på ca. 3.600 for rimeligt.

| Årstal | Arbejderstyrke | Antal skyldsedler på lager | Lagerstørrelse i mill. kr. |
|----------------------------|----------------|----------------------------|----------------------------|
| 1962 | 2900 | 3600 | 48 |
| ny metode indføres 1963 | 2300 | 2000 | 35 |
| ny metode indført 1964 | 2800 | 3900 | 33 |

(At lageret sank helt ned til 33 mill. kr. var ikke tilsigtet, men skyldtes alene den stærke aktivitet, hvor produktionen ikke kunne følge med).

V. Indførelse.

Den foran omtalte model kan indføres og anvendes, når blot man råder over de nødvendige artikel- og styklistedata, f. eks. opsamlet i et stykliste- og et artikelregister. Man behøver altså ikke – som ved den egentlige produktionsstyring ved hjælp af EDB – at afvente afslutningen af en ofte langsom og langsom opbygning af et operationsregister.

Indførelsen, der forudsætter gennemførelsen af en række foranalyser og opsamlingen af eventuelle manglende oplysninger, kan foregå successivt, og besparelser i form af reduktion i mængden af igangværende arbejde og forbedret leveringsevne kan realiseres efter relativt få måneder.