

Sikkerhedsbeholdninger og sikkerhedstider

Af Steen Eriksen*) & Mogens Lindhard**)

Mange firmaer anvender i dag avancerede lagerstyringsystemer, der fastlægger sikkerhedsbeholdningerne for råvarer og halvfabrikata, således at der på en økonomisk fordelagtig måde opnås en nærmere fastlagt grad af sikkerhed mod materiale mangler i tilknytning til forbrugssvingninger og leveringstidssvingninger.

I de samme firmaer indlægger man tillige på rent intuitiv basis sikkerhedstider i produktionsgennemløbsplanerne for at sikre de nødvendige koer af arbejde foran de enkelte arbejdsoperationer.

For sikkerhedstidernes vedkommende støtter man sig ofte på tommelfingerregler, iøvrigt uden at tage hensyn til, at sikkerhedsbeholdninger og sikkerhedstider til en vis grad er konvertible, og at en økonomisk optimal løsning vil forudsætte, at lagre og igangværende arbejde betragtes under et.

Dette indebærer, at man opnår en dårlig afstemning mellem på den ene side lagre og igangværende arbejde og på den anden side den fleksibilitet, der er påkrævet under hensyntagen til svingningerne i produktionsbudgetter, produktionskapacitet og leveringstider fra underleverandører.

En økonomisk optimal bestemmelse af sikkerhederne i en produktionsplan under hensyn til samtlige aktuelle forhold er næppe mulig. Det er imidlertid, som det fremgår af nærværende artikel i visse situationer muligt at bestemme sikkerhederne på en måde, der giver en leverings-ejne (eller en produktionsøkonomi), der er langt bedre end det, der opnås på intuitiv basis.

*) Civilingeniør, konsulent i virksomhedsledelse.

***) Civiløkonom, civilingeniør, konsulent i virksomhedsledelse.

Sikkerhedsbeholdninger og sikkerhedstider

Af Steen Eriksen*) & Mogens Lindhard**)

Mange firmaer anvender i dag avancerede lagerstyringsystemer, der fastlægger sikkerhedsbeholdningerne for råvarer og halvfabrikata, således at der på en økonomisk fordelagtig måde opnås en nærmere fastlagt grad af sikkerhed mod materialemangler i tilknytning til forbrugssvingninger og leveringstidssvingninger.

I de samme firmaer indlægger man tillige på rent intuitiv basis sikkerhedstider i produktionsgennemløbsplanerne for at sikre de nødvendige koer af arbejde foran de enkelte arbejdsoperationer.

For sikkerhedstidernes vedkommende støtter man sig ofte på tommelfingerregler, iøvrigt uden at tage hensyn til, at sikkerhedsbeholdninger og sikkerhedstider til en vis grad er konvertible, og at en økonomisk optimal løsning vil forudsætte, at lagre og igangværende arbejde betragtes under et.

Dette indebærer, at man opnår en dårlig afstemning mellem på den ene side lagre og igangværende arbejde og på den anden side den fleksibilitet, der er påkrævet under hensyntagen til svingningerne i produktionsbudgetter, produktionskapacitet og leveringstider fra underleverandører.

En økonomisk optimal bestemmelse af sikkerhederne i en produktionsplan under hensyn til samtlige aktuelle forhold er næppe mulig. Det er imidlertid, som det fremgår af nærværende artikel i visse situationer muligt at bestemme sikkerhederne på en måde, der giver en leverings-ejne (eller en produktionsøkonomi), der er langt bedre end det, der opnås på intuitiv basis.

*) Civilingeniør, konsulent i virksomhedsledelse.

***) Civiløkonom, civilingeniør, konsulent i virksomhedsledelse.

1. Fastlæggelsen af sikkerhedsbeholdninger og sikkerhedstider

En stor del af den operationsanalytiske litteratur har gennem årene beskæftiget sig med fastlæggelsen af sikkerhedsbeholdninger og ordrestørrelser.

Som et resultat heraf indeholder alle større standard-edb-systemer i dag moduler til beregning af disse størrelser.

Som en modsætning hertil står den intuitive fastlæggelse af sikkerhedstider (eller slack), der foregår i forbindelse med opstilling af produktionsplaner og netværksplaner. De traditionelle edb-systemer overlader her brugeren at skønne over

i hvilket omfang det er mere økonomisk at erstatte sikkerhedsbeholdninger med sikkerhedstider og hvor store sikkerhedstiderne i givet fald skal være.

Dette er bemærkelsesværdigt, ikke mindst fordi igangværende arbejde i en produktionsvirksomhed ofte binder langt mere kapital end beholdningerne af egentlige lagervarer (ref. 1).

Overgang fra sikkerhedsbeholdninger til sikkerhedstider

Den traditionelle anvendelse af sikkerhedsbeholdninger (eller stødpudebeholdninger) skaber mulighed for

at opfange merforbrug hidrørende fra uventede ordreforøgelse (f. eks. forårsaget af forøgelse i produktionsbudgetterne) og at klare behovet fra produktionen i tilfælde af uventede forlængelser i de planlagte leveringstider.

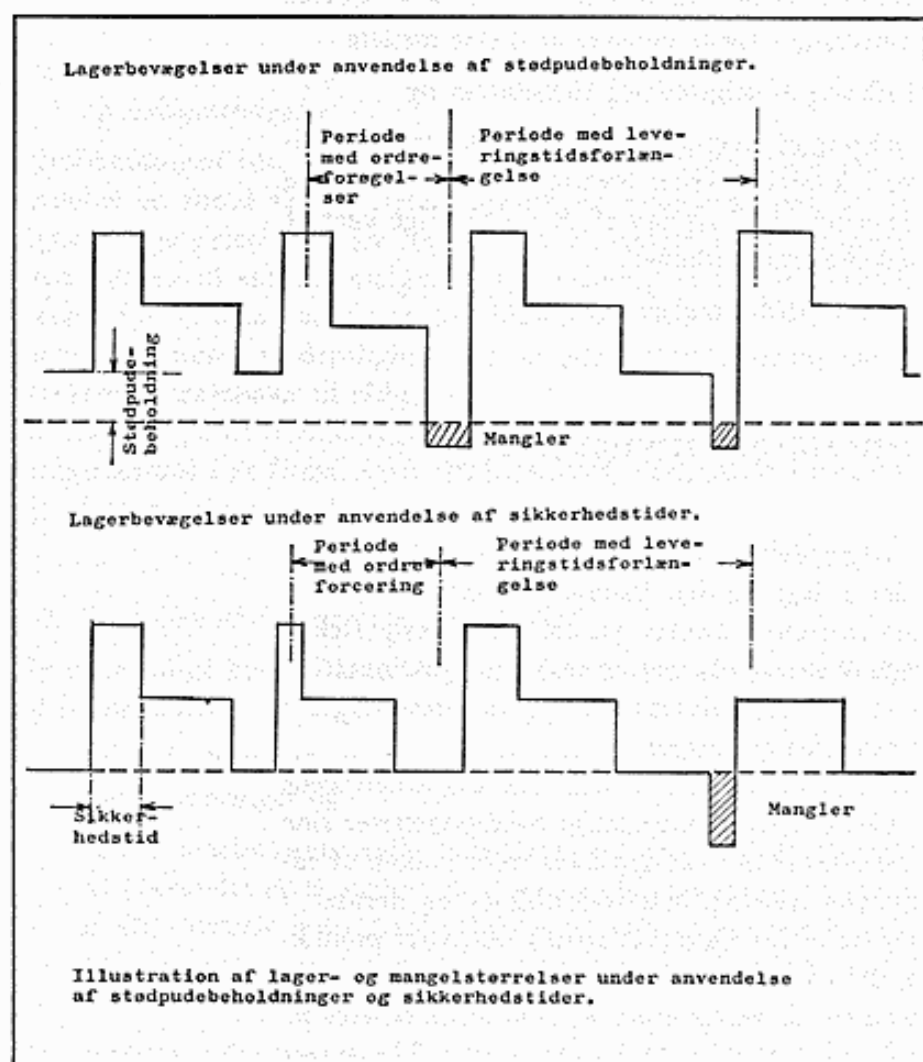
Ved overgang til anvendelsen af sikkerhedstider opnås

at en stigning i et produktionsbudget kan imødekommes gennem en forcering af produktionsordrerne, idet dette kan ske i det omfang, de løbende råvare- og halvfabrikataordrer ankommer en passende sikkerhedstid forud for det planlagte igangsættelsestidspunkt og

at forsinkelser i leverancer fra underleverandører og fra andre produktionsafdelinger kan opfanges uden at volde forstyrrelser i produktionen, i det omfang disse leverancer er planlagt at ankomme en passende sikkerhedstid forud for igangsættelsestidspunktet.

Sikkerhedstiderne kan altså (i en situation som den beskrevne) erstatte de traditionelle sikkerhedsbeholdninger.

Hertil kommer så det meget væsentlige, at anvendelsen af sikkerhedstider i en række situationer er mere fordelagtig end anvendelsen af sikkerhedsbeholdninger. (Sml. figur 1).



Figur 1.

Anvendes sikkerhedstider kan man således nøjes med at lagre »reservebeholdningerne« i sikkerhedstiden, mens en sikkerhedsbeholdning gennemsnitligt må lagres året igennem.

Anvendes sikkerhedstider har man endvidere en større sandsynlighed for, at »reservebeholdningerne« er så store, at de kan imødekomme det ønskede lagerudtræk (ved anvendelsen af sikkerhedsbeholdninger vil man ikke sjældent opleve, at der ikke er en fuld ordrestørrelse på lager).

Anvender man sikkerhedstider har man endelig mulighed for at foretage en samlet bedømmelse af de reserver, der anvendes til

sikring af produktionsmæssig fleksibilitet, til sikring af leverings-
tidsoverholdelse og til sikring af de nødvendige køer af arbejde
foran de enkelte arbejdspladser.

Overvejer man at gå igang med en systematisk indførelse af sikker-
hedstider er det hensigtsmæssigt i første omgang at skelne mellem

sikkerhedstider til sikring af salgsmæssig fleksibilitet og

sikkerhedstider til sikring af leveringstidsoverholdelse trods uund-
gåelige svingninger i leverandørernes leveringstider, i belastning
og i produktionskapacitet og til sikring af de nødvendige køer af
arbejde foran de enkelte arbejdspladser.

I det følgende skal disse to områder omtales nærmere.

3. Sikkerhedstider til sikring af salgsmæssig fleksibilitet

Det er normalt enhver salgsafdelings ønske med kort varsel at kunne
revidere de budgetter, der er lagt for den fremtidige produktion.

Forekomsten af sådanne revisioner kræver produktionsmæssig fleksi-
bilitet. En sådan fleksibilitet kan opnås ved, at man i produktionsafde-
lingen opbygger lagre af råvarer, halvfabrikata og undersamlinger i
overensstemmelse med hidtidige erfaringer.

Fleksibiliteten kan også fremkomme ved, at man fra salgsafdelingens
side i første fase mere eller mindre skønmæssigt overbudgetterer sine
krav til produktionen (således at der gennemføres store indkøb af rå-
varer og startes en betydelig halvfabrikatafremstilling) og dernæst i
anden fase (umiddelbart forud for slutmontagerne) nedsætter produk-
tionsbudgetterne til det, der anses for nødvendigt.

Den første metode indebærer, at beregningen af reserverne baseres på
produktionstal, der måske er 6–8 måneder gamle og slet ikke svarer
til de nu opstillede budgetter, der skal dække salget f. eks. 12–16 må-
neder frem. Der må derfor arbejdes med meget store sikkerhedsbe-
holdninger uden, at der sikres en tilsvarende grad af fleksibilitet.

Den anden metode fører i de tilfælde, hvor man i salgsafdelingen
mangler en løbende registrering af størrelsen af hidtidige budgetæn-
dringer til en hel tilfældig fordeling af reserverne.

Hertil kommer, at man for fællesvarer opnår en betydelig overbudget-
tering med mindre, der anvendes en særlig beregningsteknik.

En økonomisk hensigtsmæssig imødekommeelse af ønskerne om salgsmæssig fleksibilitet kan imidlertid opnås

gennem anvendelse af særlige budgetterings- og registreringsprin-
cipper,

gennem en formel fastlæggelse af størrelsen af den ønskede fleksibilitet og

gennem en særlig nettobehovsberegningsteknik.

3.1. *Principper for registrering af produktionsbudgetter og budgetafvigelse*

Forudsætningen for, at man på en økonomisk rimelig måde kan opretholde en forud fastlagt leveringsevne, er tilstedeværelsen af hensigtsmæssige principper for registrering af budgetter og budgetfejl. Hensyntagen til aktuelle budgetter og budgetfejl er således forudsætningen for, at man ved materialeinddækningen kan sikre en vis nærmere specificeret sandsynlighed for, at produktionen netop har tilstrækkelige materialer til rådighed.

Et eksempel på en tilrettelæggelse af arbejdet med budgetopstilling og budgetkontrol i et firma, hvor færdigvarer er beslægtede i materiale- og salgsmæssig henseende, er omtalt i appendix a.

3.2. *Størrelsen af den ønskede fleksibilitet*

De nødvendige krav til lager- og produktionsstyringen må fastlægges ud fra kendskabet

dels til størrelsen af de gennemsnitlige salgsforskydninger og budgetændringer og

dels til ledelsens generelle målsætning for den ønskede fleksibilitet (herunder såvel ønsker om at kunne opfange en vis procentdel af alle normale kortsigtede svingninger som ønsker om at kunne opfange visse mere langsigtede svingninger i forbindelse med en konjunkturopgang).

Denne fastlæggelse kan ske ved hjælp af simulation, idet ledelsen herigennem får mulighed for at bedømme de lagermæssige og servicemæssige konsekvenser af større eller mindre servicemæssige krav.

Ønskerne til leveringsevnen vil herefter resultere i en række specifikke krav til de anvendte sikkerhedsfaktorer.

3.3. *Indlægning af sikkerhedstider i nettobehovsberegningen*

Ønsker man at imødekomme en række specifikke krav om salgsmæssig fleksibilitet på en måde, der er økonomisk rimelig, må nettobehovsberegningen foregå ved hjælp af en særlig beregningsmetodik.

Denne beregningsmetodik må sikre, at ordreplaceringen og styklistenedbrydningen foregår således, at de til sikkerhedsfaktorerne svarende

sikkerhedstider indlægges i gennemløbsplaner under hensyntagen dels til størelsen af salgsforskydninger og budgetændringer og dels til den resterende gennemløbstid.

(sml. appendix a).

De nødvendige reserver fremkommer altså ved, at der altid disponeres halvfabrikata og råvarer så tidligt, at der senere er mulighed for forcering af færdigvareordrer og halvfabrikataordrer.

4. Sikkerhedstider til sikring af produktionens leveringstidsoverholdelse

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

Bestræbelserne på at afbøde sådanne forsinkelser omfatter ud over indførelsen af systemer til kapacitetsbelastning og detalstyring også regler til fastlæggelsen af gennemløbstider i produktionen (bl. a. gennem indlægning af vente- og køtider foran de enkelte arbejdspladser).

4.1. *Gennemløbstidens bestanddele*

Gennemløbstiden for en færdigvare under job shop produktion bestemmes normalt i overvejende grad af ventetid og køtid foran de enkelte bearbejdnings-, montage- og kontroloperationer.

Ventetiderne kan her opfattes som de tider, hvor samhørende komponenter gennemsnitlig vil vente på hinanden for at man med den ønskede grad af sikkerhed og på en økonomisk måde kan regne med, at hele sættet er til stede ved det planlagte produktionstidspunkt.

Køtiden kan opfattes som tidsrummet forud for det planlagte produktionstidspunkt, hvor hele komponentsættet i gennemsnit er til stede, og hvor arbejdet kan påbegyndes.

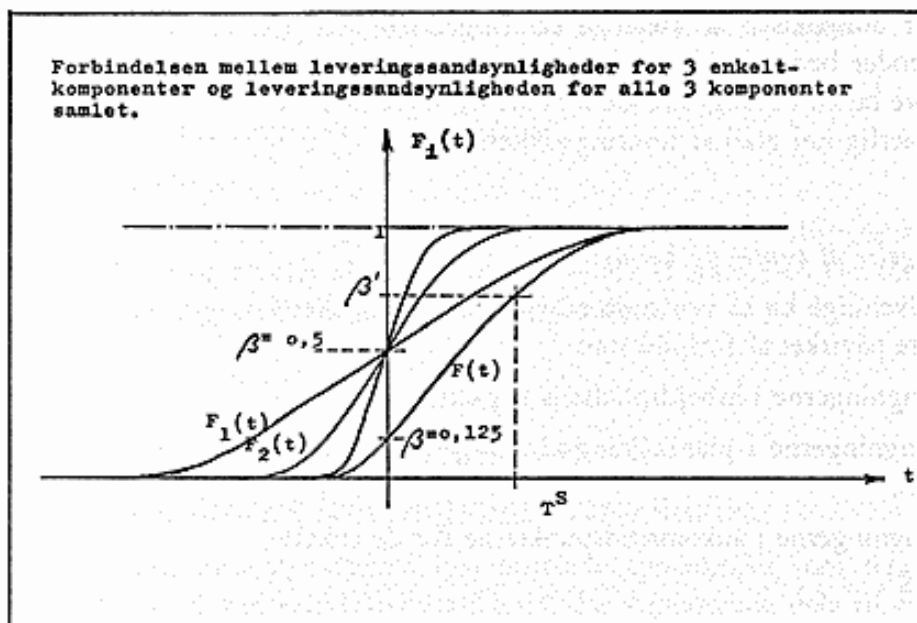
Køtiderne skal sikre, at mængden af operationsklart arbejde er af en sådan størrelse, at der er en passende ligevægt mellem

omkostninger til maskin- og operatørvæntetid på grund af mangel på arbejde og

lageromkostninger på grund af arbejde ventende i køen.

4.2. *Traditionel fastlæggelse af vente- og køtider*

Fastlæggelsen af vente- og køtider foregår i praksis sædvanligvis ud fra en vis kombination af »tidligst mulig start« og »senest mulige start«.



Figur 2.

Antager vi, at $F_i(t)$ er en normalfordeling, og at der ikke anvendes sikkerhedstider, så gælder at serviceniveauet β (= sandsynligheden for at montagen kan starte rettidigt) er lig med

$$\beta = F(0) = F_1(0) \cdot F_2(0) \cdot F_3(0) = 0,5 \cdot 0,5 \cdot 0,5 = 0,125$$

Vi vil altså kun kunne starte $12\frac{1}{2}\%$ af monteringerne rettidigt.

Ønsker vi et serviceniveau af størrelsen β^1 , så ses af figuren, at dette kan opnås, hvis det planlægges, at samtlige komponenter i gennemsnit leveres T^S uger før montagen skal starte. Der skal altså anvendes sikkerhedstiden T^S for samtlige komponenter.

Det er imidlertid uøkonomisk at anvende de samme sikkerhedstider for såvel de dyre som de billige komponenter, da de jo skal lagres i sikkerhedstiden.

Sikkerhedstiderne bestemmes derfor individuelt, således at lageromkostningerne minimeres samtidig med, at det ønskede serviceniveau opnås.

De lageromkostninger, der skal medregnes, omfatter summen af

de lageromkostninger, der er forbundet med opretholdelsen af sikkerhedsbeholdningerne for de komponenter der indgår i montagen og

de ekstraomkostninger, der opstår i tilfælde af forsinkelser, f. eks. i form af ekstra lageromkostninger for de komponenter, der må vente.

Anses det ikke for muligt direkte at bestemme størrelsen af ekstraomkostningerne i forbindelse med forsinkelser, kan målsætningen formuleres på den måde, at det gælder om at fordele den til rådighed

stående lagerkapital på en sådan måde, at der opnås en maksimal sandsynlighed for, at den eller de montage(r), hvori de enkelte komponenter skal indgå, kan påbegyndes uden forsinkelser hidrørende fra lagermangler.

Dette kan udtrykkes matematisk på følgende måde:

Den i lageret af komponenter bundne kapital

$$K = \sum_{x=1}^n k_x \text{ skal være konstant} \quad (1)$$

hvor

k_x er den kapital, der er bundet i lagre af komponent nr. x .

Sandsynligheden for at montagen kan starte uden forsinkelser

$$\beta_T = \prod \beta_x \text{ skal være maksimum} \quad (2)$$

hvor

β_x er sandsynligheden for at komponent nr. x vil være til stede, således at montagen kan begynde.

En korrekt løsning på dette problem er vist i appendix b.

Den viste løsning kræver dog en iterativ bestemmelse. Ønsker man at anvende en hurtigere metode, kan man som vist i (ref. 2) gennem en simpel mangelomkostningsmetode opnå resultater, der ligger rimelig nær det optimale.

b) Sikkerhedstider for komponenter i serie

For to komponenter i serie kunne man overveje at fastlægge sikkerhedstiderne således, at omkostningerne ved lagringen minimeres, samtidigt med, at der opnås en bestemt sandsynlighed for rettidig færdiggørelse.

Som vist i appendix c vil en sådan fastlæggelse medføre, at sikkerhedstiderne og dermed mængden af igangværende arbejde koncentrerer på det øverste niveau.

En sådan løsning vil dog ikke være tilfredsstillende ved jobshop og serieproduktion. Her må man af hensyn til uundgåelige svingninger i produktionskapaciteten og i periodebelastningen opretholde en kø af arbejde foran de enkelte arbejdspladser af en bestemt størrelse. Denne størrelse bestemmes principielt således, at der opnås en økonomisk balance mellem

grænseomkostningerne ved at have større eller mindre mængder af arbejde liggende i køen (og ved at anvende tilsvarende længere eller kortere genanskaffelsestider) og

grænseomkostninger ved mere eller mindre tabstid, fordi der ventes på arbejde eller fordi arbejdet bevidst strækkes, hvis køen bliver for lille.

En optimal bestemmelse af sikkerhedstider pr. komponent og førleveringstider pr. komponentsæt bør derfor foregå således, at

arbejds mængden i køen kan yde den ønskede service overfor maskingruppen,

der opnås det ønskede serviceniveau for færdigvaren og

at der bliver tale om minimum af lageromkostninger.

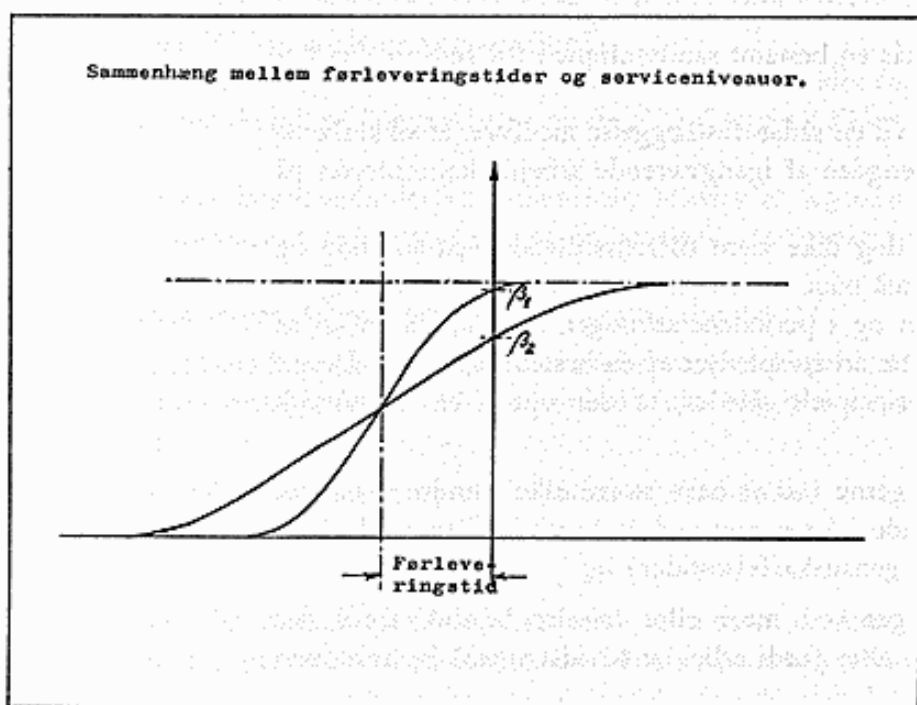
Dette kræver beregningsoperationer, der er uigennemførlige i praksis. Den fundne løsning, der tilsigter at samle sikkerhedstiderne på øverste niveau, kan imidlertid lede os frem til en økonomisk hensigtsmæssig fordeling af sikkerhedstiderne i et produktionsnetværk.

En hensigtsmæssig løsning vil således kunne nås ved at sikre

at sikkerhedstiderne på alle niveauer under topniveauet fastlægges således, at den gennemsnitlige mængde af ventende arbejde netop tilfredsstiller behovet til stødpude, foran den enkelte arbejdsplads og

at et evt. tillægskrav om en vis minimumssandsynlighed for leveringstidsoverholdelsen til færdigvarelageret opfyldes ved at øge sikkerhedstiderne på øverste niveau i produktionsnetværket.

Denne fastlæggelse af sikkerhedstiderne kunne evt. ske ved at anvende sådanne mangelomkostninger, at der opnås samme gennemsnitlige førleveringstid for alle arbejder, der tilgår en arbejdsplads.



Figur 3.

Som det vil ses af foranstående figur, giver dette højst uensartede serviceniveauer, d.v.s. der bliver tale om betydelige svingninger i køens størrelse.

En jævn ordretilgang med heraf følgende begrænsninger i kravene til køen af ventende arbejde, nås derfor bedre ved at forlange samme sandsynlighed for rettidig ankomst (samme serviceniveau).

Sikkerhedstiderne bør derfor alt i alt fastlægges ud fra følgende kriterier:

Der anvendes samme mangelomkostning for samtlige komponenter i et komponentsæt.

Mangelomkostningerne, der anvendes på niveauerne under topniveauet fastlægges uafhængigt for hver maskingruppe således, at de enkelte komponentsæt får samme sandsynlighed for leveringstidsoverholdelse (samme serviceniveau) og således, at den gennemsnitlige mængde af ventende arbejde netop tilfredsstiller behovet for stødpude foran den enkelte arbejdsplads.

Mangelomkostningen på øverste niveau fastlægges således, at den ønskede minimumssandsynlighed for leveringstidsoverholdelse sikres.

5. Eksempel

En økonomisk optimal bestemmelse af samtlige sikkerhedstider i en produktionsplan under hensyn til samtlige aktuelle forhold er næppe mulig.

Det er imidlertid muligt at bestemme sikkerhedstiderne på en måde, der giver en leveringsevne, der er langt bedre end det, der kan opnås på basis af intuitivt fastlagte sikkerhedstider.

Efterfølgende eksempel fra en større dansk virksomhed illustrerer dette forhold.

Resultatet er opnået gennem anvendelsen af simuleringmodellen SI-SIT, der giver mulighed for at sammenligne de servicemæssige og de økonomiske konsekvenser af alternative metoder til fastlæggelse af stødpudebeholdninger og sikkerhedstider under forudsætning af, at den salgsmæssige fleksibilitet placeres alene på færdigvarelageret.

Antal komponenter i færdigvare	Hidtidige metode			Ny metode		
	Årlige omkostn. til i-gangværende arbejde + sikkerhedstider	Service-niveau for færdiggørelse af færdigvare	Samlet genanskaffelsestid incl. sikkerhedstider	Årlige omkostn. til i-gangværende arbejde + sikkerhedstider	Service-niveau for færdiggørelse af færdigvare	Samlet genanskaffelsestid incl. sikkerhedstider
100	65.647	0,78	47 uger	65.647 57.245	0,96 0,78	45 uger 44 uger

Som det vil ses af oversigten kan der opnås

enten en forøgelse af sandsynligheden for rettidig færdiggørelse af færdigvareorderne på 23 % ved uændret investering i igangværende arbejde og i sikkerhedstider,

eller en reduktion af omkostningerne til igangværende arbejde og sikkerhedstider på ca. 13 % ved uændret sandsynlighed for rettidig færdiggørelse,

eller en vis mindre forøgelse i serviceniveauer sammen med en vis mindre lagerreduktion.

Herudover vil der kunne opnås en reduktion af genanskaffelsestiden. Eksempler med endnu større besparelser er vist i (ref. 2).

De fordele, der kan opnås ved anvendelsen af modulet til fastlæggelsen af optimale sikkerhedstider kan resumeres således:

- 1) Der åbnes mulighed for med en uændret investering i igangværende arbejde at opnå en kraftig forbedring i mulighederne for at kunne starte rettidigt på operationer og montager og for at blive rettidigt færdig.
- 2) Der åbnes mulighed for en automatisk kontrol af, hvor store forsinkelser, der uden særlige foranstaltninger kan forventes opfanget af de sikkerhedstider, der er indlagt i styklistestrukturerens enkelte grene. Dette indebærer, at mængden af alarmer, specialundersøgelser og særaktioner, f. eks. i forbindelse med leveringstidsforlængelser fra leverandørerne kan begrænses til de steder, der virkelig bliver kritiske.
- 3) Der åbnes mulighed for en automatisk udarbejdelse af gennemløbsplaner for færdigvarer og mellemprodukter, således at det f. eks. kan bestemmes, hvilke varer, der evt. bør lagerføres, for at gennemløbstiderne kan reduceres et vist antal uger.
- 4) Der åbnes mulighed for at anvende prioriteringsreglen: »Mindst slack først«. Denne regel indebærer, at der gives prioritet til de grene i produktionsnetværket, hvori de samlede sikkerhedstider frem til leveringsterminen er mindst. Dette svarer til en maksimering af leveringssikkerheden for færdigvarerne.

Indførelsen af sikkerhedstider må iøvrigt betragtes som et værdifuldt (ja næsten nødvendigt) supplement til et detailplanlægningssystem (f. eks. IBM's CLASS system), idet en belastningsudjævning, hvorved en produktionsordre flyttes frem, principielt kun er mulig, hvis der findes de nødvendige tidsreserver for de indgående materialer.

Det skal bemærkes, at anvendelsen af sikkerhedstider udmærket lader sig kombinere med tilstedeværelsen af mindre stødpudebeholdninger til opfangelse af f. eks. brok, svind og reservedelssalg.

Litteratur:

1. Oddvar Eikeri: »Gennemløbstiden« fra Produksjonsteknisk Forskningsinstitut. 1970.
2. Mogens Lindhard: »Slack, glapp, slækketid eller tidsreserve.« Erhvervsøkonomisk Tidsskrift nr. 1, 1970.

1. Registrering af produktionsbudgetter og budgetfejl

I et firma, hvor færdigvarerne er beslægtede såvel i materiale-, produktions- som salgmæssig henseende kan registreringen af produktionsbudgetter og budgetafvigelser foregå som vist i det følgende.

a) *Budgetopstilling og budgetrevision*

Færdigvareudførelser, der er beslægtet i materiale-, produktions- og salgmæssig henseende samles i færdigvaretyper, der igen indgår i færdigvaregrupper.

Der opstilles og vedligeholdes langsigtede forbudgetter for hver færdigvaregruppe, mellembudgetter for hver færdigvaretype, og kortsigtede slutbudgetter for hver færdigvareudførelse.

Der foretages manuelt en rullende budgetrevision af forbudgetter, mellembudgetter og slutbudgetter samtidig med, at der på de fastlagte overgangstidspunkter foretages en opdeling af forbudgetterne i mellembudgetter og af mellembudgetterne i slutbudgetter.

Baggrunden for denne budgetteringsform er dels ønsket om at begrænse omfanget af det arbejde, der pålægges salgsafdelingen og dels erfaringerne med, at en salgsafdelingen ved opstilling af mere langsigtede prognoser vil arbejde sikrere jo flere salgmæssigt beslægtede varenumre, der kan betragtes samlet. (sml. figur 4).

b) *Kontrol med sammensætningen af salget pr. færdigvaretype og -gruppe*

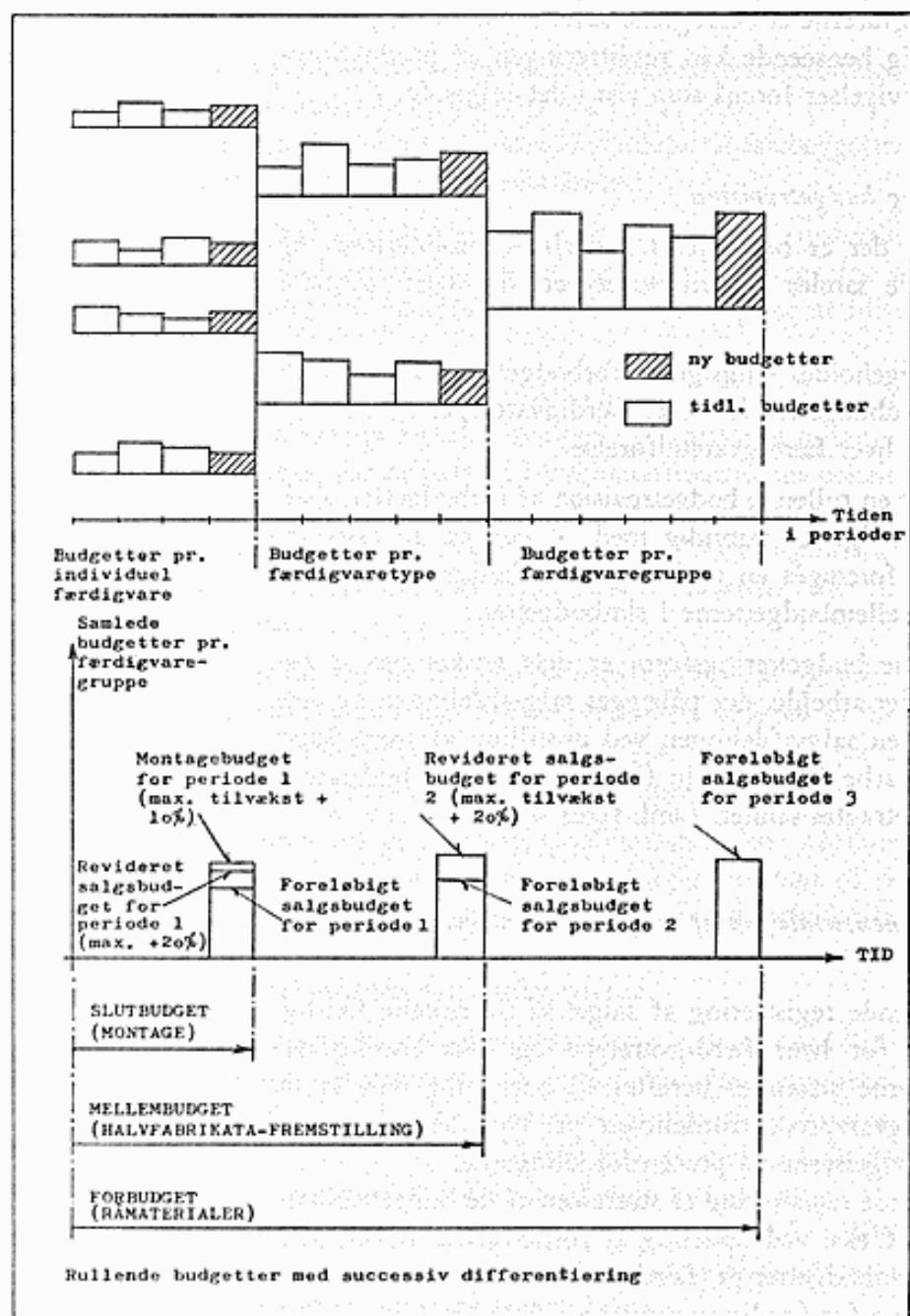
Der foretages en løbende registrering af salget af de enkelte færdigvareudførelser inden for hver færdigvaretype og hver færdigvaregruppe. Registreringerne anvendes herefter til beregning dels af de gennemsnitlige færdigvareprocentfordelinger pr. type og pr. gruppe og dels af standardafvigelserne på procentfordelingerne.

Der foretages en løbende registrering af størrelsen af de budgetændringer, der forekommer f. eks. ved opdeling af forbudgetter for en færdigvaregruppe i mellembudgetter pr. færdigvaretype og senere ved opdelingen af budgetterne for færdigvaretyperne i slutbudgetter pr. færdigvareudførelse.

digvareudførelse. Registreringerne anvendes herefter til beregning af standardafvigelserne på budgetændringerne.

2. Størrelsen af den ønskede fleksibilitet

Ledelsens ønsker om salgsmæssig fleksibilitet kan (efter gennemførelsen af visse simulationsberegninger, hvor de økonomiske konsekvenser



Figur 4.

af forskellige krav kan bedømmes) resultere i fastlæggelsen af krav af følgende karakter:

Produktionen skal (i perioder hvor der ikke er tale om generelle konjunkturstigninger) ved overgang fra forbudgetter til mellembudgetter umiddelbart kunne opfange budgetændringer og procentforskydninger i 98 % af alle tilfælde, dog min. 20 %.

Produktionen skal ved overgang fra mellembudgetterne til slutbudgetter på tilsvarende vis umiddelbart kunne opfange budgetændringer og procentforskydninger i 98 % af alle tilfælde, dog min. 10 %.

Produktionen skal kunne opfange generelle produktionsstigninger svarende til max 15 % af forbrug i genanskaffelsestiden.

Der indlægges endelig visse nærmere specificerede sikkerhedsbeholdninger, der tillader visse udtræk, f. eks. til reservedelssalg eller til fremstilling af specialudførelser.

De skitserede krav er operationelle og vil direkte kunne anvendes i den firmaet anvendte materiale- og produktionsstyringsmodel.

3. Indlægning af sikkerhedstider i nettobehovsberegningen

For at sikre en korrekt indlægning af sikkerhedstider i nettobehovsberegningen tilrettelægges denne således

at for-, mellem- og slutbudgetter konverteres til totalbudgetter for hver færdigvareudførelse dækkende hele genanskaffelsestiden periode for periode,

at de opstillede budgetter konverteres til færdigvareordrer,

at der for hver færdigvareordre fastlægges en sikkerhedstid baseret på de akkumulerede værdier for standardafvigelse på periodeforbruget ud til ordretidspunktet og på den ønskede sikkerhedsfaktor (henholdsvis på de stillede minimumskrav til produktionsstigning for så vidt dette krav kræver en større sikkerhedstid),

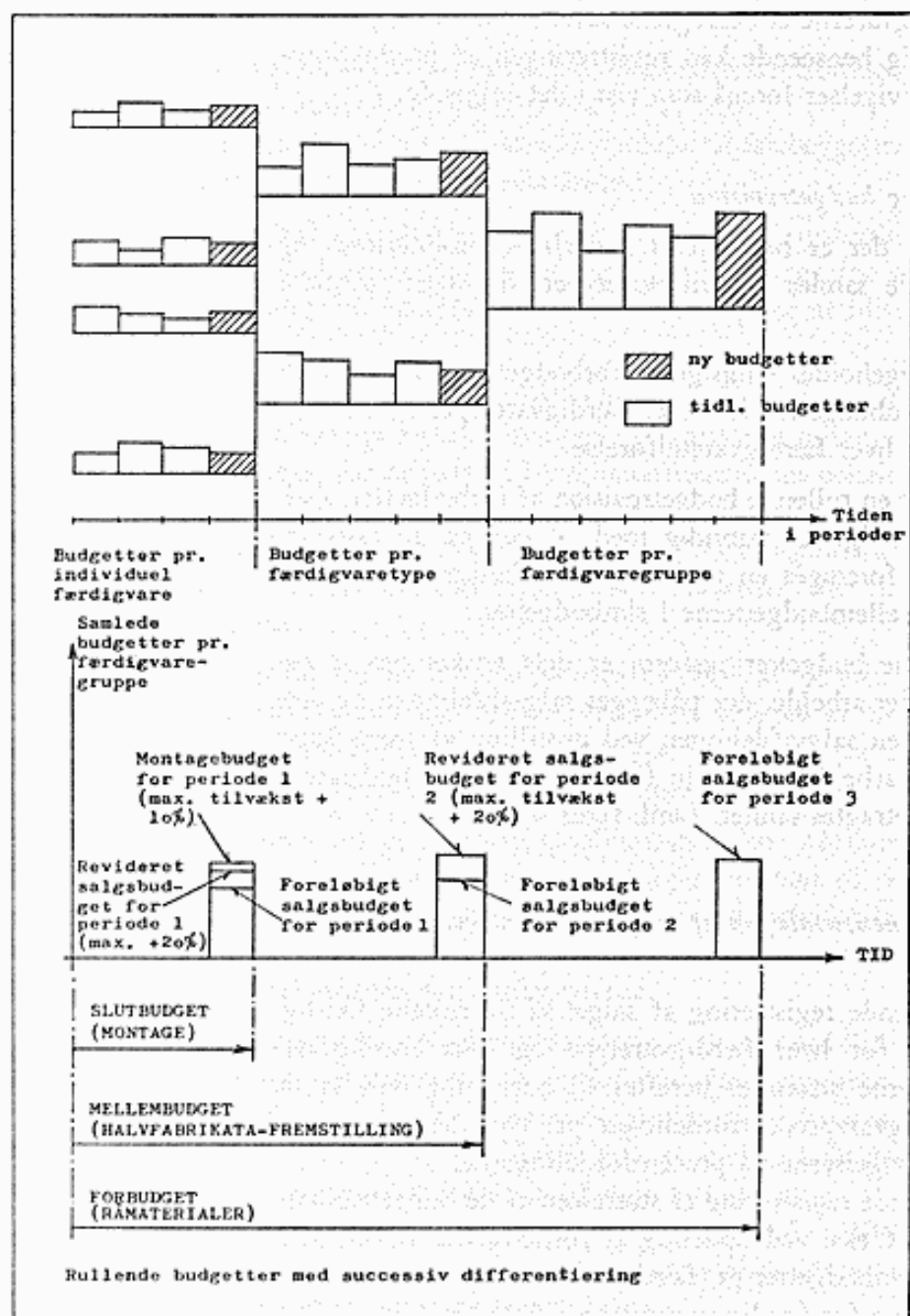
at de således periode for periode nyplacerede færdigvareordrer anvendes som grundlag for en disponering, der er baseret på en total nedbrydning for hver periode (og på en løbende sletning af alle ordrer uden for genanskaffelsestiden).

De nødvendige reserver fremkommer altså ved, at der altid disponeres halvfabrikata og råvarer så tidligt, at der senere er mulighed for forcering af færdigvareordrer og halvfabrikataordrer. (sml. figur 5 og 6).

digvareudførelse. Registreringerne anvendes herefter til beregning af standardafvigelserne på budgetændringerne.

2. Størrelsen af den ønskede fleksibilitet

Ledelsens ønsker om salgsmæssig fleksibilitet kan (efter gennemførelsen af visse simulationsberegninger, hvor de økonomiske konsekvenser



af forskellige krav kan bedømmes) resultere i fastlæggelsen af krav af følgende karakter:

Produktionen skal (i perioder hvor der ikke er tale om generelle konjunkturstigninger) ved overgang fra forbudgetter til mellembudgetter umiddelbart kunne opfange budgetændringer og procentforskydninger i 98 % af alle tilfælde, dog min. 20 %.

Produktionen skal ved overgang fra mellembudgetterne til slutbudgetter på tilsvarende vis umiddelbart kunne opfange budgetændringer og procentforskydninger i 98 % af alle tilfælde, dog min. 10 %.

Produktionen skal kunne opfange generelle produktionsstigninger svarende til max 15 % af forbrug i genanskaffelsestiden.

Der indlægges endelig visse nærmere specificerede sikkerhedsbeholdninger, der tillader visse udtræk, f. eks. til reservedelssalg eller til fremstilling af specialudførelser.

De skitserede krav er operationelle og vil direkte kunne anvendes i den firmaet anvendte materiale- og produktionsstyringsmodel.

3. Indlægning af sikkerhedstider i nettobehovsberegningen

For at sikre en korrekt indlægning af sikkerhedstider i nettobehovsberegningen tilrettelægges denne således

at for-, mellem- og slutbudgetter konverteres til totalbudgetter for hver færdigvareudførelse dækkende hele genanskaffelsestiden periode for periode,

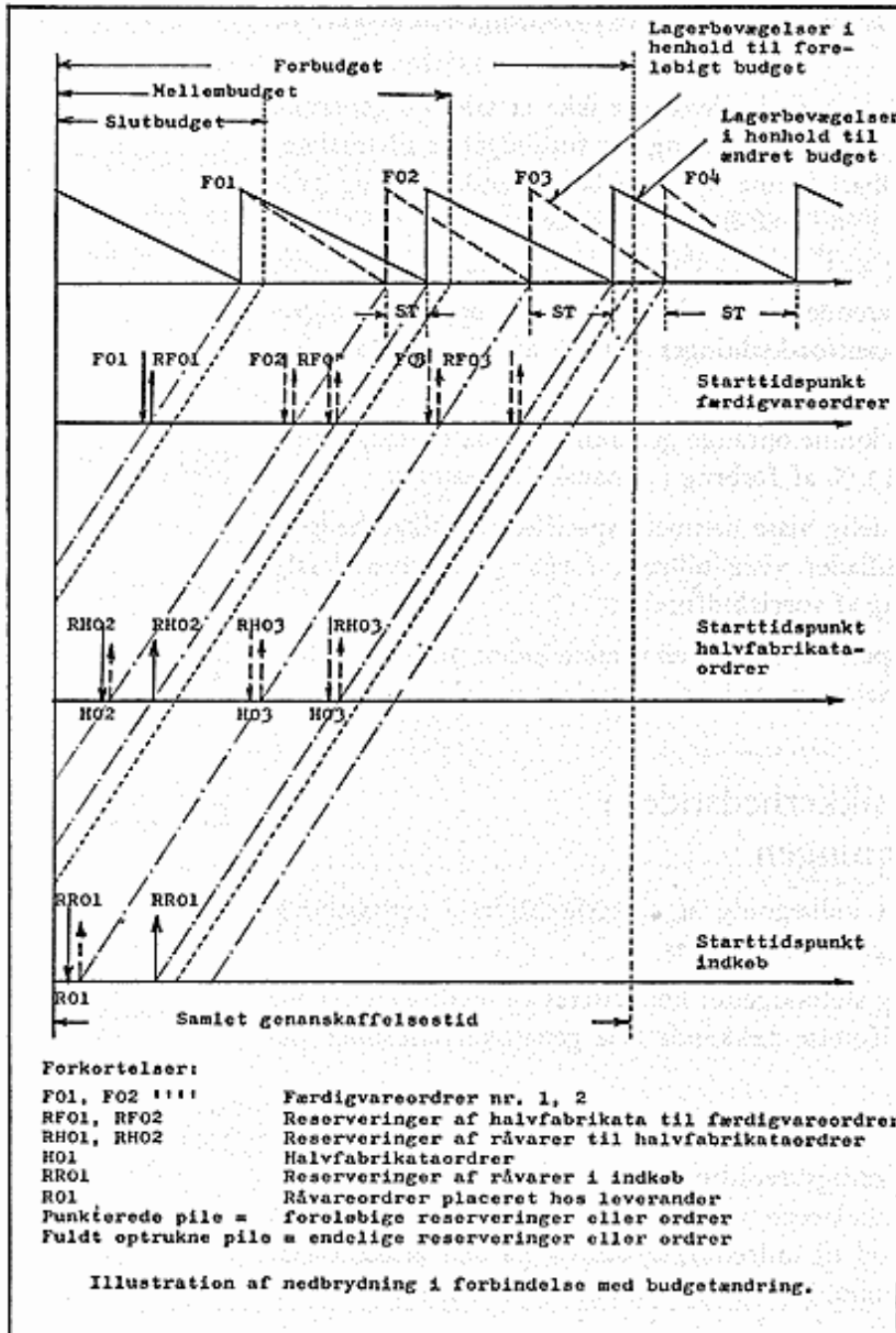
at de opstillede budgetter konverteres til færdigvareordrer,

at der for hver færdigvareordre fastlægges en sikkerhedstid baseret på de akkumulerede værdier for standardafvigelserne på periodeforbruget ud til ordretidspunktet og på den ønskede sikkerhedsfaktor (henholdsvis på de stillede minimumskrav til produktionsstigning for så vidt dette krav kræver en større sikkerhedstid),

at de således periode for periode nyplacerede færdigvareordrer anvendes som grundlag for en disponering, der er baseret på en total nedbrydning for hver periode (og på en løbende sletning af alle ordrer uden for genanskaffelsestiden).

De nødvendige reserver fremkommer altså ved, at der altid disponeres halvfabrikata og råvarer så tidligt, at der senere er mulighed for forcering af færdigvareordrer og halvfabrikataordrer. (sml. figur 5 og 6).

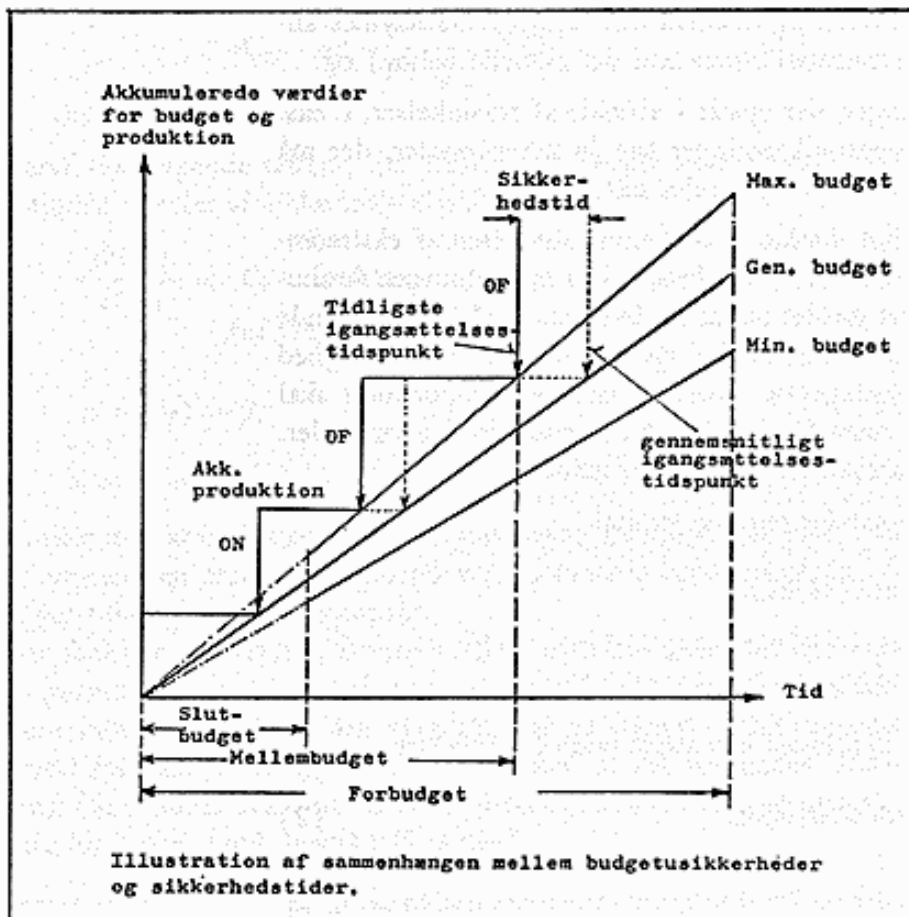
Figur 5.



Ønsker man at undgå, at der for de mest gængse fællesvarer opbygges store unødvendige reserver på grund af overlappning, kan dette ske ved for disse varer at indlægge stødpudebeholdninger.

Størrelsen af disse stødpudebeholdninger kan – for så vidt der er tale om varer, der er fælles for en hel færdigvaregruppe – fastlægges gennem en specialberegning. Denne specialberegning, der er baseret på nedbrydningen af en gennemsnitsvare i færdigvaregruppen, sikrer, at

Figur 6.



man kun dækker sig ind for de relativt mindre budgetsvingninger, der konstateres (eller kræves imødekommet) for færdigvaregrupperne. Principielt kan man også for fællesvarernes vedkommende anvende sikkerhedstider, idet man kan undgå de store unødvendige reserver gennem forskydning af ordrene i tilfælde af overlappning. En sådan metode kræver dog dels en specialnedbrydning, hvor de konstaterede svingninger tages med og dels et betydeligt regnearbejde.

Sikkerhedstider for parallelle komponenter

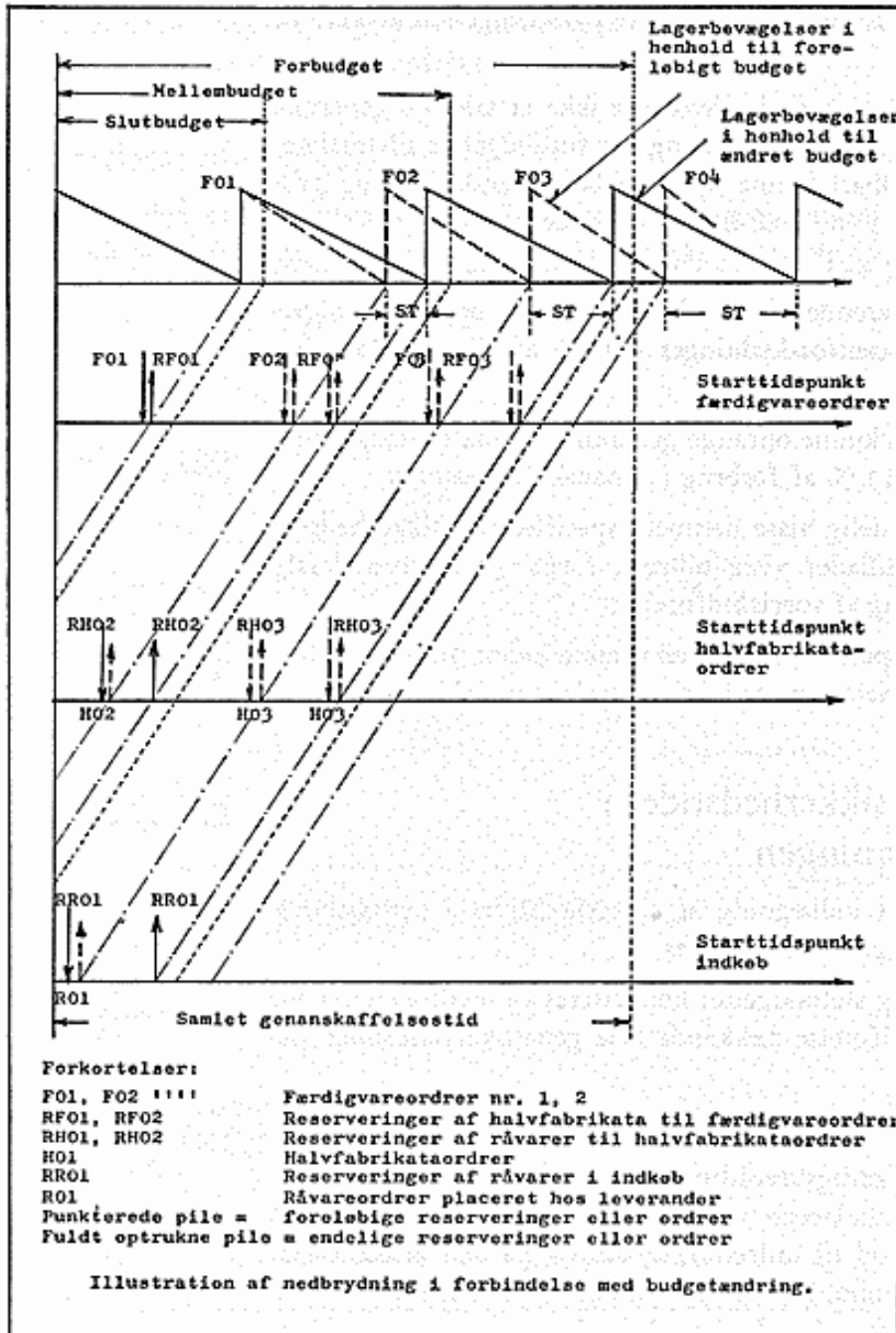
Appendix b

Sikkerhedstiderne for en gruppe komponenter, der skal indgå samtidigt i en montage, bør principielt bestemmes således, at lageromkostningerne minimeres samtidigt med at den ønskede sandsynlighed for rettidig start (det ønskede serviceniveau) netop opnås.

De lageromkostninger, der skal medregnes, omfatter

- de egentlige lageromkostninger, der er forbundet med opretholdelsen af sikkerhedsbeholdningerne for de komponenter, der indgår i montagen. (Disse lageromkostninger hidrører dels fra lag-

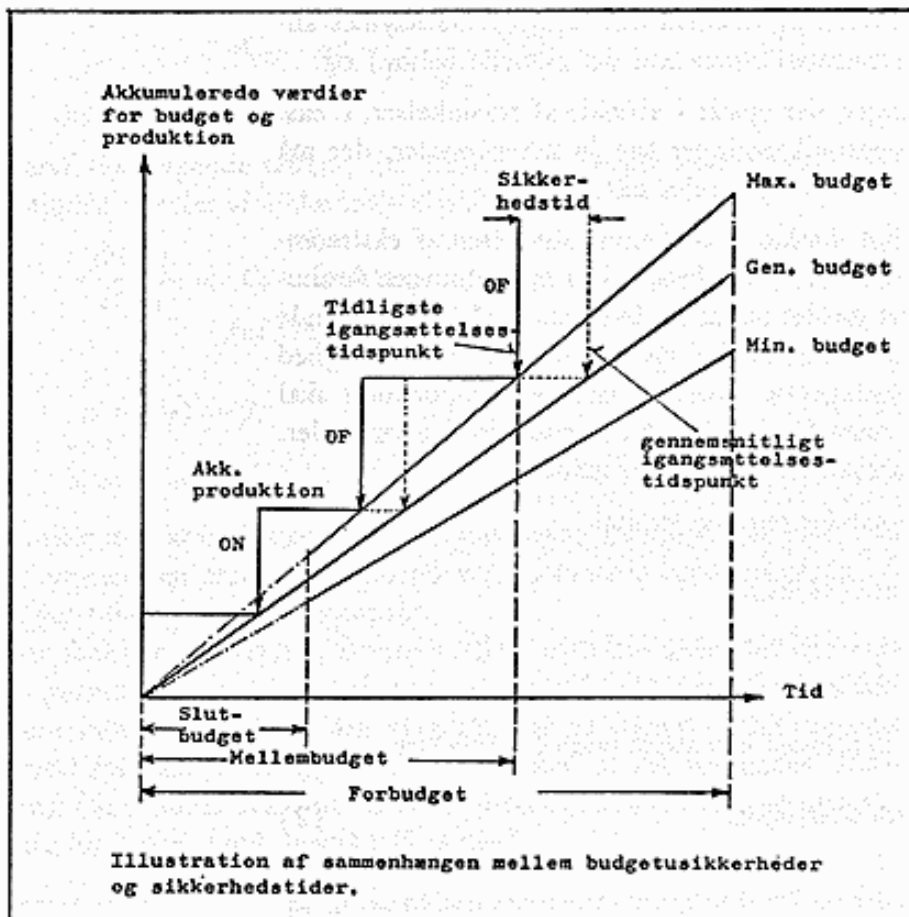
Figur 5.



Ønsker man at undgå, at der for de mest gængse fællesvarer opbygges store unødvendige reserver på grund af overlappning, kan dette ske ved for disse varer at indlægge stødpudebeholdninger.

Størrelsen af disse stødpudebeholdninger kan – for så vidt der er tale om varer, der er fælles for en hel færdigvaregruppe – fastlægges gennem en specialberegning. Denne specialberegning, der er baseret på nedbrydningen af en gennemsnitsvare i færdigvaregruppen, sikrer, at

Figur 6.



man kun dækker sig ind for de relativt mindre budgetsvingninger, der konstateres (eller kræves imødekommet) for færdigvaregrupperne. Principielt kan man også for fællesvarernes vedkommende anvende sikkerhedstider, idet man kan undgå de store unødvendige reserver gennem forskydning af ordrene i tilfælde af overlappning. En sådan metode kræver dog dels en specialnedbrydning, hvor de konstaterede svingninger tages med og dels et betydeligt regnearbejde.

Sikkerhedstider for parallelle komponenter

Appendix b

Sikkerhedstiderne for en gruppe komponenter, der skal indgå samtidigt i en montage, bør principielt bestemmes således, at lageromkostningerne minimeres samtidigt med at den ønskede sandsynlighed for rettidig start (det ønskede serviceniveau) netop opnås.

De lageromkostninger, der skal medregnes, omfatter

- de egentlige lageromkostninger, der er forbundet med opretholdelsen af sikkerhedsbeholdningerne for de komponenter, der indgår i montagen. (Disse lageromkostninger hidrører dels fra lag-

ringen i sikkerhedstiden og dels fra den lagring, der skyldes anvendelsen af ordrestørrelser større end det aktuelle behov) og de ekstraomkostninger, der opstår i tilfælde af forsinkelser, f. eks. i form af ekstra lageromkostninger for de komponenter, der må vente til de forsinkede komponenter når frem.

Anses det ikke for muligt direkte at bestemme størrelsen af ekstraomkostningerne i forbindelse med forsinkelser, kan målsætningen formuleres på den måde, at det gælder om at fordele den til rådighed stående lagerkapital på en sådan måde, at der opnås maksimal sandsynlighed for, at den eller de montage(r), hvori de enkelte komponenter skal indgå, kan påbegyndes uden forsinkelser hidrørende fra lagermangler. Dette kan udtrykkes matematisk på følgende måde:

Den i lageret af komponenter bundne kapital

$$K = \sum_{i=1}^n k_i \text{ skal være konstant} \quad (1)$$

hvor

k_i er den kapital, der er bundet i lagre af komponent nr. i .

Sandsynligheden for at montagen kan starte uden forsinkelser

$$\beta = \prod_{i=1}^n \beta_i \text{ skal være maksimum} \quad (2)$$

hvor

β_i er sandsynligheden for at komponent nr. i vil være til stede, således at montagen kan begynde.

(1) og (2) kan omformes på følgende måde

$$K_L = \sum_{i=1}^n \sigma_i \lambda_i C_i \quad (1a)$$

hvor

σ_i er standardafvigelsen på leveringstiden for komponent nr. i ,
 λ_i er den optimale lagersikkerhedsfaktor for komponent nr. i og
 C_i er omkostningerne ved at lagre 1 eksemplar af komponent nr. i i 1 tidsenhed.

$$\beta = \prod_{i=1}^n \Phi(\lambda_i) \quad (2a)$$

hvor

$\Phi(\lambda_i)$ er værdien af normerede sumfunktion for leveringstids-svingningerne ved værdien λ_i .

Minimering af K_L ved konstant β foretages nu ved hjælp af Lagrange's multiplikator metode.

$$\frac{\delta K_L}{\delta \lambda_i} - \alpha \frac{\delta \beta}{\delta \lambda_i} = 0 \quad i = 1 \dots n$$

$$\sigma C_i - \alpha \beta \frac{\varphi(\lambda_i)}{\Phi(\lambda_i)} = 0 \quad i = 1, \dots, n$$

hvor α er konstant.

Heraf fås følgende udtryk, der tillader en iterativ bestemmelse af de optimale værdier af sikkerhedstiderne S_i

$$\frac{\Phi(\lambda_i)}{\varphi(\lambda_i)} \sigma_i \cdot C_i = \text{konstant} \quad (3)$$

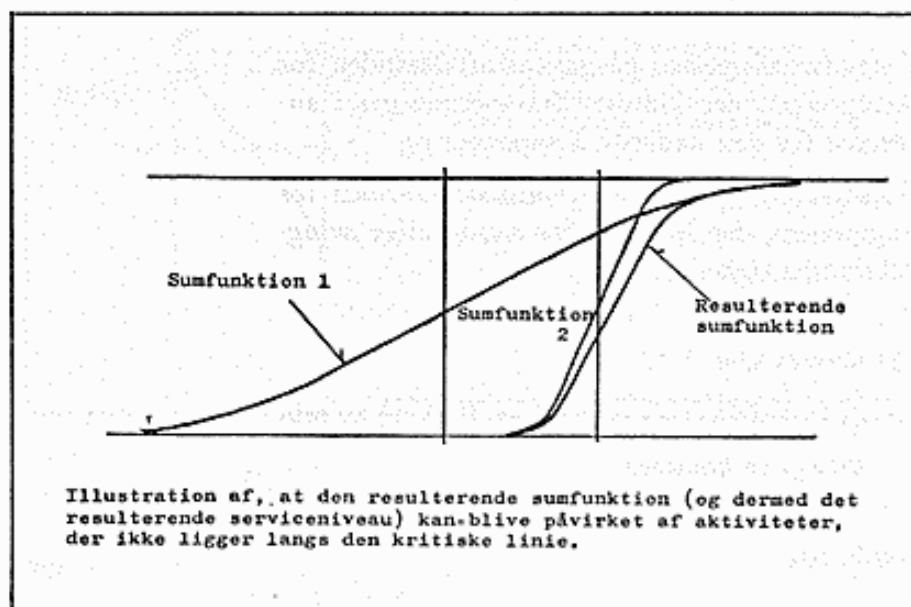
for $i = 1, 2, \dots, n$

$$\sum_{i=1}^n \Phi(\lambda_i) = \beta t \quad (4)$$

$$S_i = \lambda_i \sigma_i \quad (5)$$

Ønsker man at undgå en iterativ bestemmelse, kan man som vist i (ref. 2) gennem en simpel mangelomkostningsmetode opnå resultater, der ligger rimeligt nær det optimale.

Der skal her mindes om, at man i PERT-metoden anvender den regel, at gennemsnitligt tidsforbrug og spredning ved parallelle aktiviteter alene bestemmes ud fra den aktivitet, der er længst. PERT-metodens stærkt forenklede fremgangsmåde medfører, at det beregnede tidsforbrug (t_{hk}) bliver for kort, så snart produktionsaktiviteterne »overlapper« hinanden. (sml. hosstående skitse).



Figur 7.

Sikkerhedstider for komponenter i serie

Appendix c

For to komponenter i serie kan man overveje, at fastlægge sikkerhedstiderne således, at omkostningerne ved lagringen minimeres samtidigt

med, at der opnås en bestemt sandsynlighed for rettidig færdiggørelse (forudsat at f. eks. produktionskapaciteten og periodebelastningen er konstant).

Disse krav er opfyldt, når

Omkostninger for komponenternes lagring i sikkerhedstiden:

$$\sigma_1 \lambda_1 C_1 + \sigma_2 \lambda_2 C_2 = \min \quad (1)$$

Serviceniveau for øverste komponent:

$$\Phi(\lambda_2) = \text{konstant} \quad (2)$$

σ_1 (henh. σ_2) er standardafvigelsen på genanskaffelsestiden for den underste (henh. den øverste) komponent,

λ_1 (λ_2) er den anvendte sikkerhedsfaktor for den nederste (henh. den øverste) komponent,

C_1 (henh. C_2) er omkostningerne ved at lagre den nederste (henh. den øverste) komponent i en periode.

(sml. figur 8).

Det forudsættes her, at

$$\sigma_2 = \sqrt{\sigma_{12}^2 + \sigma_{20}^2}$$

hvor

σ_{12} er den del af standardafvigelsen på genanskaffelsestiden for den øverste komponent, der hidrører fra svingninger i ankomsttidspunkterne for den underste komponent og

σ_{20} er den del af standardafvigelsen på genanskaffelsestiden for den øverste komponent, der hidrører fra uundgåelige svingninger i produktionshastigheden.

Herefter kan (1) og (2) skrives som

$$\sigma_1 \lambda_1 C_1 + \lambda_2 C_2 \sqrt{\sigma_{20}^2 + \sigma_1^2 (1 - \Phi(\lambda_1) - \lambda_1 f(\lambda_1) - f^2(\lambda_1))} = \min$$

$$\Phi(\lambda_2) = \text{konstant.}$$

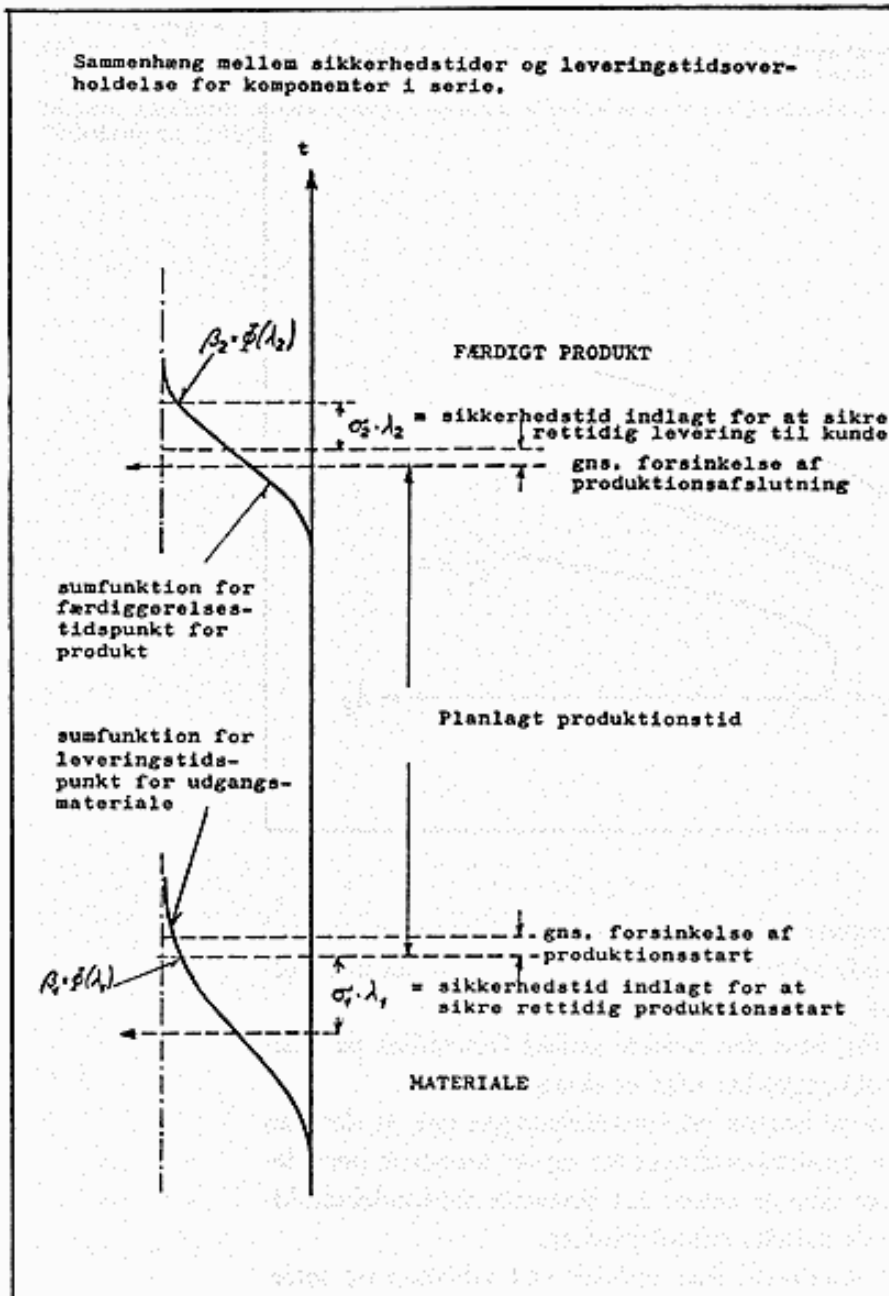
Disse betingelser er opfyldt, når

$$\frac{f(\lambda_1) \Phi(\lambda_1)}{\sqrt{\sigma_{20}^2 + \sigma_1^2 (1 - \Phi(\lambda_1) - \lambda_1 f(\lambda_1) - f^2(\lambda_1))}} = \frac{C_1}{\lambda_2 \cdot C_2 \cdot \sigma_1}$$

Hvis

$$\sigma_{20} = 0 \text{ fås}$$

Figur 8.



$$H(\lambda_1) = \frac{C_1}{\lambda_2 C_2} \quad (3)$$

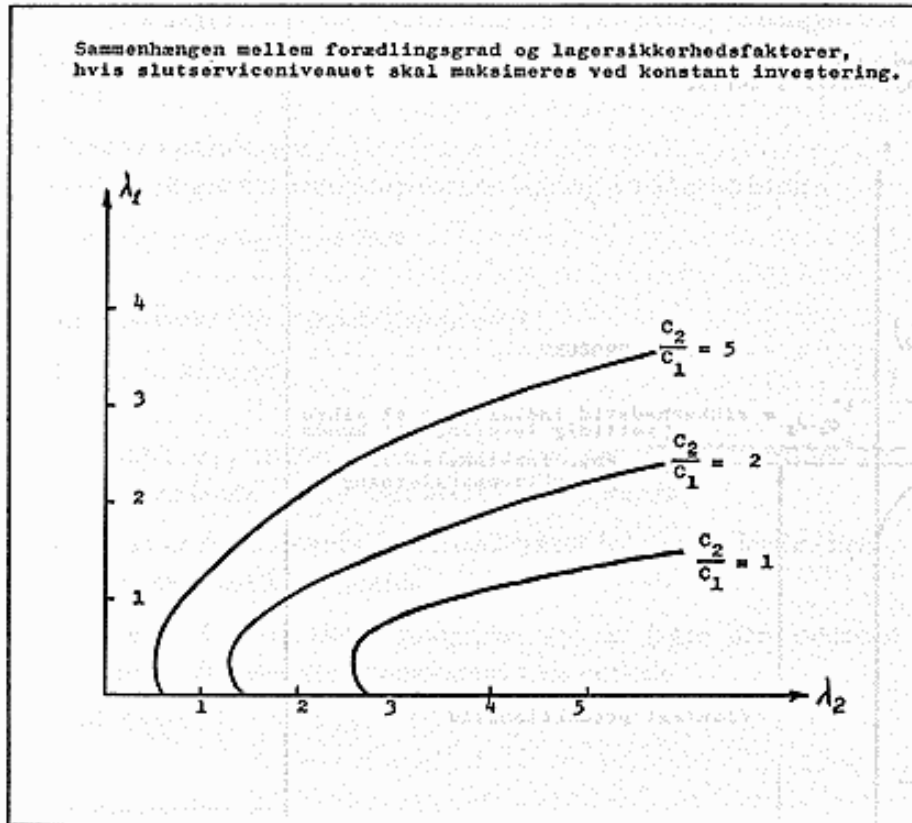
hvor

$$H(\lambda_1) = \frac{f(\lambda_1) \Phi(\lambda_1)}{\sqrt{1 - \Phi(\lambda_1) - \lambda_1 f(\lambda_1) - f^2(\lambda_1)}}$$

Dette udtryk er afbildet på figur 9.

Af figuren ses, at λ_2 i så godt som alle tilfælde bør være væsentligt større end λ_1 .

Figur 9.



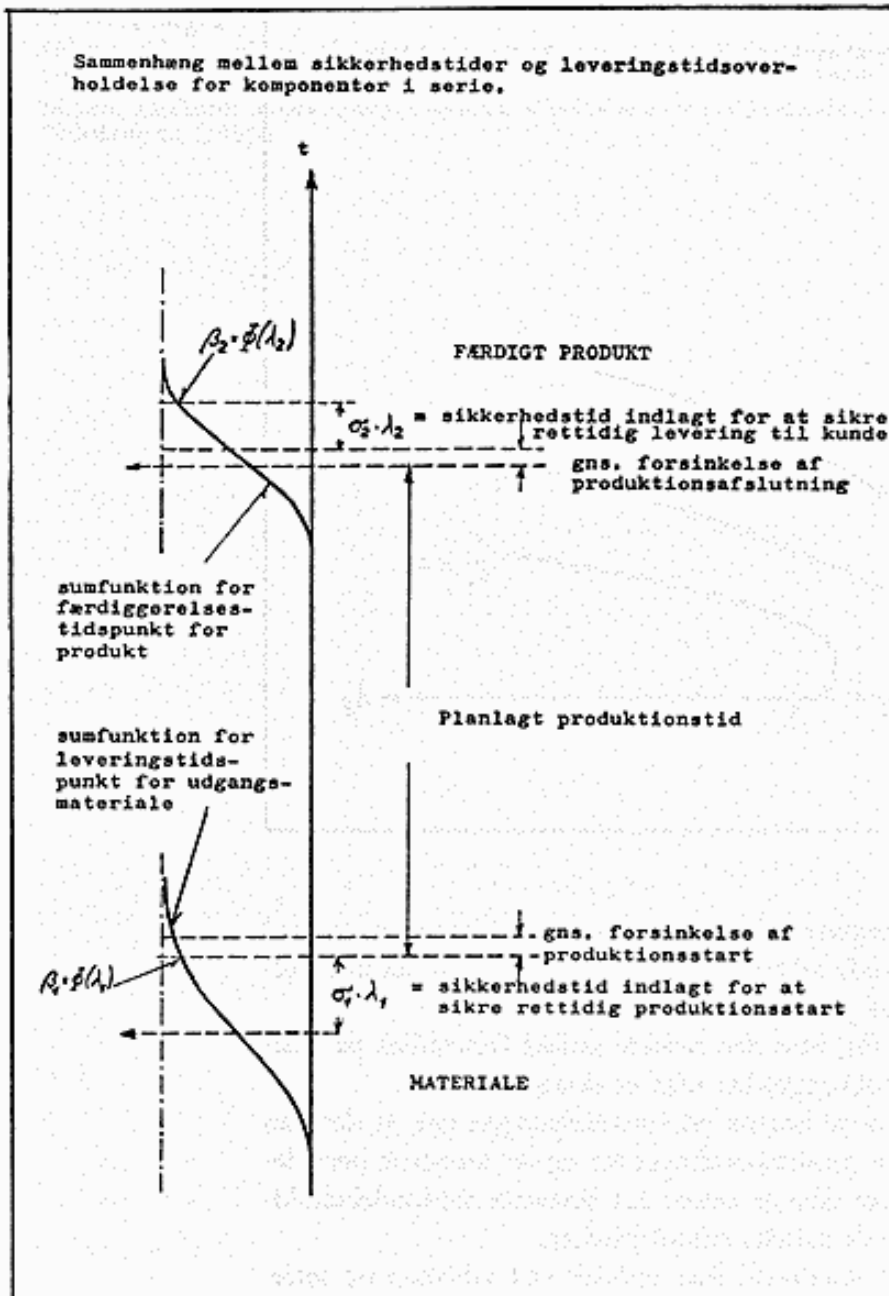
Den fundne løsning angiver således, at sikkerhedstiderne og dermed mængden af igangværende arbejde under den givne forudsætning fortrinsvis bør koncentreres på det øverste niveau.

En tilsvarende løsning fås, hvis den øverste artikel fremstilles på basis af flere sønner og forædlingsgraden ikke er ekstrem høj.

Dette resultat er som nævnt baseret på forudsætningen om, at der kan regnes med en konstant produktionskapacitet og en konstant periodebelastning, således at der ikke er behov for bestemte stødpudebeholdninger af arbejde foran de enkelte arbejdspladser.

Denne forudsætning er imidlertid ikke opfyldt ved job-shop og serieproduktion.

Figur 8.



$$H(\lambda_1) = \frac{C_1}{\lambda_2 C_2} \quad (3)$$

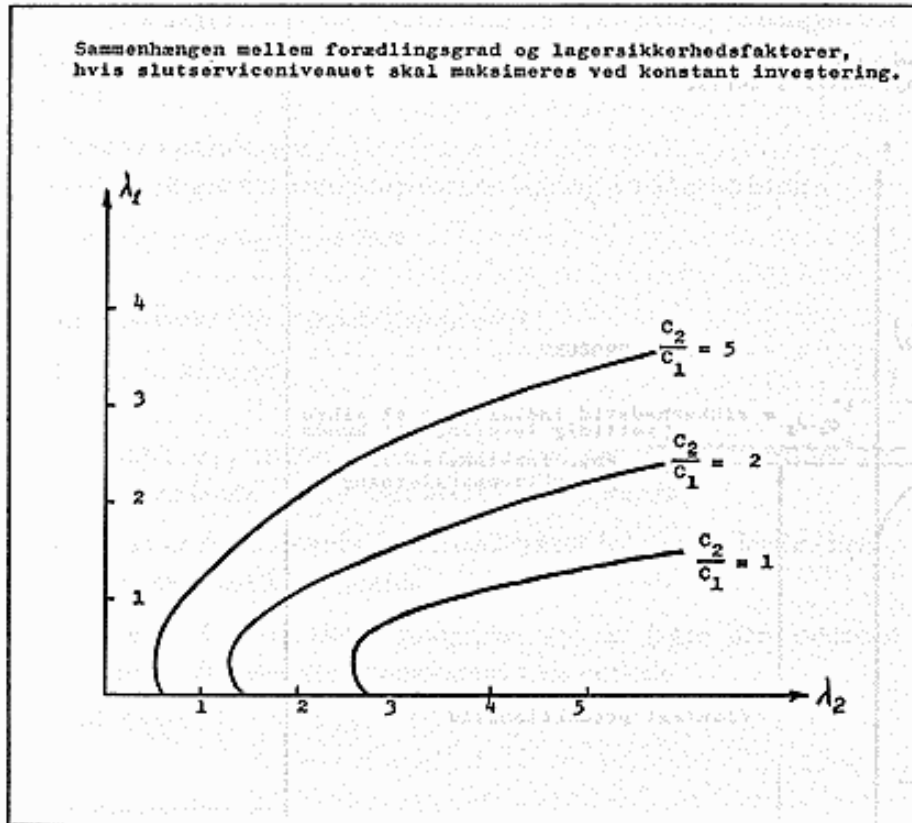
hvor

$$H(\lambda_1) = \frac{f(\lambda_1) \phi(\lambda_1)}{\sqrt{1 - \phi(\lambda_1) - \lambda_1 f(\lambda_1) - f^2(\lambda_1)}}$$

Dette udtryk er afbildet på figur 9.

Af figuren ses, at λ_2 i så godt som alle tilfælde bør være væsentligt større end λ_1 .

Figur 9.



Den fundne løsning angiver således, at sikkerhedstiderne og dermed mængden af igangværende arbejde under den givne forudsætning fortrinsvis bør koncentreres på det øverste niveau.

En tilsvarende løsning fås, hvis den øverste artikel fremstilles på basis af flere sønner og forædlingsgraden ikke er ekstrem høj.

Dette resultat er som nævnt baseret på forudsætningen om, at der kan regnes med en konstant produktionskapacitet og en konstant periodebelastning, således at der ikke er behov for bestemte stødpudebeholdninger af arbejde foran de enkelte arbejdspladser.

Denne forudsætning er imidlertid ikke opfyldt ved job-shop og serieproduktion.