



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Rapport

R43:1978

**Operationsanalys i
entreprenadföretaget**

Hans Björnsson

Byggforskningen

**TEKNISKA HOGSKOLAN I LUND
SEKTIONEN FOR VAG- OCH VATTEN
BIBLIOTEKET**

R43:1978

OPERATIONSANALYS AV ENTREPRENADFÖRETAGET
Tillämpningsområden och modell exempel

Hans Björnsson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 750480-0 från
Statens råd för byggnadsforskning till Platzer Bygg AB,
Sundbyberg.

I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskarna sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

Nyckelord:

entreprenörer
företagsledning
byggproduktion
planering
metoder
beslutsprocesser
beslutsunderlag
operationsanalys
analysmodeller
datorprogram

UDK 65.01
69.601.1

R43:1978

ISBN 91-540-2856-6

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1978 854315

FÖRORD

Operationsanalys, OA, är en förhållandevis ny vetenskap. Den kan utnyttjas för att framtaga ett systematiskt - och som regel kvantitativt - beslutsunderlag. Inom den stationära industrin har operationsanalysen fått ett allt starkare fotfäste och speciella OA-avdelningar är inte längre exklusiva inrättningar förbehållna de största företagen.

Det är uppenbart att det även inom byggnadsindustrin finns många problem för vars lösning operationsanalytiska metoder bör vara lämpade. Ändock synes sådana metoder ha rönt begränsad uppmärksamhet. Ett undantag är nätverksplaneringen som vunnit omfattande användning inom entreprenadverksamheten och ibland givit anmärkningsvärda rationaliseringsresultat.

I föreliggande rapport redovisas erfarenheterna från ett försök att introducera OA i ett entreprenadföretags, Platzer Bygg AB:s, löpande verksamhet. Initiativtagare till projektet är direktör Yngve Öberg.

För utformningen av de beskrivna modellerna och av denna rapport i sin helhet har undertecknad ensam svarat. Projektet har finansierats av Platzer Bygg AB med stöd av forskningsanslag från Statens råd för byggnadsforskning.

Stockholm, augusti 1976

Hans Björnsson

INNEHÅLL

INLEDNING.	5
SYFTE OCH OMFATTNING	6
OPERATIONSANALYS	7
Historik	7
Modeller	8
Operationsanalytisk metodik.	10
OPERATIONSANALYS I BYGGBRANSCHEN	14
Linjär-programmering	14
Dynamisk programmering	15
Simulering	15
Heuristiska metoder.	16
Beslutsteori	17
Nyttoteori	17
Regressionsteori	18
Känslighetsanalys.	18
Anbudsmodeller	18
Teori - praktik.	19
Utförda studier.	20
MATEMATISK PROGRAMMERING OCH MATERIALUPPHANDLING	22
Inledning.	22
Bakgrund och syfte	23
Materialkostnadsminimering	23
Modeller för bestämning av optimal upphandlingsstrategi.	27
Sammanfattning	49
SIMULERING AV KOSTNADSKALKYL	51
Risk	51
Tekniker för beaktande av risk	52
Skattning av risk.	54
Riskanalys vid kostnadskalkylering	56
"RISK" - en datorbaserad riskanalysmodell.	68
Problem vid riskanalys	74
Sammanfattning och slutsatser.	80
BUDGETSIMULERING	82
Inledning.	82
Modell för resultatbudgetering	83
Modeller för likviditetsbudgetering.	94
IMPLEMENTERING AV OPERATIONSANALYS	111
Implementeringsbegreppet	111
Implementeringsforskning	111
Modeller för OA-implementering	112
Praktisk organisation.	115
REFERENSER	116
BILAGOR.	119
1. DATORPROGRAM "RISK".. . . .	120
a.Språkprofil	
b.Programstruktur, subrutiner	
2. DATORPROGRAM "BDGT"	122
a.Språkprofil	
b.Programstruktur, subrutiner	

INLEDNING

Byggnadsbranschen har under det senaste decenniet undergått en stark förändring. Byggplatserna är idag utrustade med fler maskiner och anordningar än för 10-15 år sedan. Detta är uppenbart för var och en. Svårare är det att se hur administration och organisation förändrats. Planering och styrning av produktionen har blivit viktigare, och hjälpmedel som nätplanering och operationsanalys har tillkommit. Förändringsprocessen har också inneburit att allt fler tekniker behövs.

Denna utveckling kommer att fortsätta. Utveckling av administrativa processer, planeringstekniker och kontrollmetoder kommer att ställa revolutionera byggbranschen. Ännu är de flesta arbetsledare och administratörer problem- och projektorienterade. I framtiden blir de mera system- och utvecklingsorienterade.

Tidigare har användning av ADB inom byggbranschen, bortsett från ekonomiska redovisningsrutiner, först och främst varit knuten till tekniska beräkningar och elementär nätplanering. Framledes kommer ADB i stor utsträckning att dominera de administrativa processerna och databearbetningen. Mot denna bakgrund har Platzer Bygg AB beslutat genomföra ett projekt benämnt "Tillämpningspotential för operationsanalys i ett entreprenadföretag". Projektet är avsett som en pilotstudie för att skapa underlag för beslut angående framtida systemutveckling.

SYFTE OCH OMFATTNING

Syftet med föreliggande rapport är att söka identifiera en del av de systemanalytiska eller operationsanalytiska tekniker som förefaller vara användbara inom byggnadsindustrin. Vidare skall enklare applikationer genomföras och förutsättningarna för implementering studeras.

Grundläggande begrepp som modell, modellbyggande, system och systemanalys diskuteras endast översiktligt i rapporten.

Föreliggande rapport är resultatet av en ansträngning att så kortfattat som möjligt belysa några av de problemområden i ett entreprenadföretag inom vilka operationsanalysen framstår som ett potentiellt värdefullt verktyg. I skriften redovisas vidare några av de applikationer som genomförts inom projektets ram. Ett av dessa avsnitt ("Materialupphandling") avser att belysa ett vanligt förlopp av en OA-studie. I ett avslutande avsnitt diskuteras svårigheter som kan uppkomma i samband med implementering av OA i ett entreprenadföretag.

OPERATIONSANALYS

HISTORIK

Beslutsprocesser omfattar val mellan olika handlingsalternativ för att under beaktande av begränsade resurser försöka uppnå ett visst mål. I ett byggföretag föreligger sådana valsituationer såväl vid ackquisition som exekution av nya projekt. Exempel på valsituationer är

- vilka objekt skall lämnas anbud på?
- vilken är kostnaden för ett potentiellt projekt?
- vilken vinstmarginal skall man räkna med för att ha rimlig chans att vinna anbudstävlan?
- vilka byggmetoder skall användas?
- hur bör tidplan och budget se ut?
- kan tidplan och budget hållas?

I sådana valsituationer har entreprenörer i allmänhet litat till sin intuition, erfarenhet, subjektiva omdöme och på senare tid även olika "management"-tekniker. Bland dessa tekniker återfinns operationsanalysen, OA.

Operationsanalysen är förhållandevis ny. Den har sitt ursprung i andra världskriget då den engelska militärledningen tillkallade vetenskaplig expertis av olika discipliner för att studera de strategiska och taktiska problem som sammanhögde med landets luft- och markförsvaret. Målsättningen var att bestämma hur de begränsade militära resurserna bäst skulle utnyttjas. Benämningen "operations research" (eller "operational research" på brittisk engelska) härrör således från det faktum att verksamheten rörde militära operationer.

Allt sedan operationsanalysens begynnelse har den kännetecknats av utnyttjande av vetenskapliga metoder under tvärvetenskapliga former i syfte att bestämma hur man bäst skall utnyttja begränsade resurser.

De framgångar som militären haft med sina OA-studier gjorde företagsledare intresserade av att försöka lösa sina problem som blivit mera komplicerade sedan den funktionella specialiseringen

gjort sitt intåg i organisationerna. Trots att specialiserade funktioner etablerades för att först och främst stödja en hel organisations målsättning var det inte säkert att dessa funktioners individuella mål var konsistenta med hela organisationens. Detta resulterade i komplexa beslutsproblem som tvingade företagen att utnyttja moderna verktyg som systemanalys och operationsanalys. Det var främst i USA som operationsanalysen först anammades och utvecklades inom den civila sektorn.

Den smått otroliga utvecklingen av operationsanalytiska tekniker hade inte varit möjlig utan den parallella utvecklingen av datorn och dess enorma kapacitet vad gäller snabbhet i beräkningar och möjlighet att lagra information.

MODELLER

En OA-studie består väsentligen i att man söker avbilda verkligheten i en modell, en matematisk abstraktion, som kan hanteras med standardiserade OA-metoder. Matematiska symboler användes sålunda för att representera variabler som sedan relateras med hjälp av lämpliga matematiska funktioner som beskriver det avbildade systemets beteende.

Man kan urskilja tre slag av matematiska modeller som kommer till användning inom operationsanalysen, nämligen

- rena matematiska modeller
- simuleringsmodeller
- heuristiska modeller

De rena matematiska modellerna kan lösas med matematiskt-analytiska metoder, vilket vanligen gör det möjligt att finna en bästa lösning, ett optimum. Det är därför naturligt att dessa typer av OA-modeller främst har intresserat vetenskapsmännen. Utvecklingen har nått långt och en rad så kallade matematiska programmeringstekniker har utvecklats för lösning av rena matematiska modeller. Exempel härpå är linjär programmering och dyna-

misk programmering. Rena matematiska modeller omfattar tre grundläggande komponenter,

1. Beslutsvariabler och parametrar. Beslutsvariablerna är de obekanta storheter som skall bestämmas. Parametrarna representerar systemets kontrollerade variabler. Dessa kan vara såväl deterministiska som stokastiska.
2. Restriktioner. Dessa bestämmer beslutsvariablernas möjliga utfallsrum och uttryckes vanligen som matematiska funktioner.
3. Objektsfunktion eller målfunktion. Denna definierar det studerade systemets "effektivitet" och uttryckes som en matematisk funktion av beslutsvariablerna.

En ren matematisk modell kan således sammanfattas på följande sätt. Det gäller att bestämma värden på beslutsvariablerna x_i , $i = 1, 2, \dots, n$, som optimerar objektsfunktionen

$$Z = f(x_1, \dots, x_n)$$

under restriktionerna

$$\begin{aligned} g_j(x_1, \dots, x_n) &\leq b_j, \quad j=1, 2, \dots, m \\ x_i &\geq 0, \quad i=1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

Simuleringsmodeller "imiterar" ett systems beteende under en viss tidsperiod. Detta åstadkommes genom att man specificerar ett antal händelser eller tidpunkter vid vilka viktig information om systemets beteende kan insamlas. Då dessa händelser har definierats behöver man endast studera systemet vid dessa. Den information som insamlas om systemet ackumuleras som statistiska observationer och uppdateras vid varje händelse.

Simuleringsmodeller kräver inga explicita matematiska funktioner för att relatera variabler. Det är därför möjligt att med hjälp av sådana modeller studera komplexa system som svårigen låter sig avbildas i rena matematiska modeller. En nackdel med simuleringsmodellen är att den analys som utföres med dess hjälp är likvärdig med experimentella försök och är således föremål för experimentella fel. Dessa svårigheter består i att statistiskt utforma experimentet, samla observationer och utföra nödvändiga statistiska inferenstester. Simuleringsmodeller ger således inte,

som den rena matematiska modellen, en entydig lösning till problemet.

Rena matematiska modeller kan ibland vara alltför komplexa för att medge en exakt lösning med rimligt beräkningsarbete. I sådana fall kan ibland heuristik användas för att erhålla approximativa lösningar. Heuristiska lösningsmetoder bygger på intuitiva eller empiriska regler som, utgående från en given lösning, medger bestämning av en förbättrad lösning. Heuristiska metoder kan karakteriseras som intelligenta sökmetoder. Användandet av datorbaserade heuristiska modeller kallas ibland artificiell intelligens.

I föreliggande rapport skall i senare avsnitt användandet av rena matematiska modeller och simuleringmodeller illustreras.

OPERATIONSANALYTISK METODIK

En OA-studie genomföres som regel inte av en ensam operationsanalytiker. Denne kan vara expert på modellkonstruktion och olika lösningsförfaranden men kan omöjligt behärska alla de problemområden inom vilka OA-problem uppstår. En OA-studie är därför ett lagarbete och laget bör omfatta personer i organisationen som är ansvariga för de funktioner som problemet rör liksom också ansvariga för implementering av OA-studiens resultat. Detta skall utförligare diskuteras i ett senare avsnitt.

I en OA-studie kan ett antal faser urskiljas som kan sägas äga generell giltighet. Dessa skall här endast kortfattat beröras.

1. Problem- och målformulering

Beslutsfattaren beskriver sitt beslutsproblem och tillsammans med operationsanalytikerna formuleras en operationell målsättning. Den operationella målformuleringen omfattar tre moment

- a) en exakt beskrivning av studiens mål. Denna måste korrekt återge systemets övergripande intresse så att suboptime-

- ring undvikas
- b) identifikation av systemets beslutsalternativ
- c) identifikation av systemets restriktioner

I systemanalytiska termer kan sägas att fasen syftar till att åstadkomma ett slutet system. I det fortsatta arbetet tas hänsyn endast till de faktorer som listats i fas 1, trots att ytterligare andra faktorer alltid har en viss - om än ringa - inverkan på systemet.

2. Modellkonstruktion

Beroende på problemformuleringen väljs eller konstrueras en modell som representerar systemet. I modellen specificeras kvantitativa uttryck för problemets mål och restriktioner som funktioner av beslutsvariablerna. Den resulterande modellen kan ibland ta formen av en känd matematisk modell (t.ex. linjär-programmeringsmodell) varvid lösning kan erhållas med standardiserade metoder. Om de matematiska relationerna är mycket komplexa kan en simuleringsmetod vara mera lämpad. I andra fall kan krävas en kombination av matematiska, simulerings- och heuristiska modeller.

3. Datasamling

Källorna till den information som den konstruerade modellen kräver kartlägges och testdata insamlas. På basis av denna information testas modellen och korrigeringar görs för att säkerställa att modellens informationskrav kan tillgodoses.

4. Modellösning

Om modellen är av typen ren matematisk modell innebär detta att väldefinierade optimeringstekniker utnyttjas för att erhålla ett optimalt resultat. I andra fall är begreppet optimalitet inte lika väldefinierat och lösningen syftar då till approximativa utvärderingar av systemet.

I allmänhet är man intresserad inte endast av ett optimalt värde utan också av hur resultatet beror av systemets parametrar. Denna information erhålles genom känslighetsanalys. Känslighetsanalys är av särskild vikt i sådana fall där systemets parametrar inte kan bestämmas med säkerhet.

5. Modellvalidering

En modell är valid om den, trots ofullkomligheten i att exakt representera systemet, kan ge en korrekt förutsägelse om systemets beteende. En vanlig metod för att testa en modells validitet är att, där så är möjligt, jämföra dess resultat med det verkliga systemets resultat under utnyttjande av historiska data. Man kan emellertid aldrig vara säker på att ett systems beteende kommer att upprepa sig i framtiden. Modellvalidering är föremål för mycket forskning och många teorier har framställts. Det ligger utanför ramen för denna framställning att närmare diskutera detta problem.

6. Implementering

Detta är kanske den svåraste fasen av en OA-studie. Det ställs här stora krav på kommunikationen mellan operationsanalytikerna och de verkställande personerna i organisationerna. Detta förhållande är föremål för diskussion i ett senare avsnitt av denna framställning.

Den operationsanalytiska metodiken såsom den beskrivits ovan sammanfattas i FIG 1. Av denna figur framgår det för metodiken karakteristiska iterativa förloppet. Vidare framgår hur felaktigt det kan vara att, såsom ofta görs, sätta likhetstecken mellan optimerings-/simuleringstekniker och OA. Sådana tekniker representeras i FIG 1 av en enda "box", nämligen "modellösning".

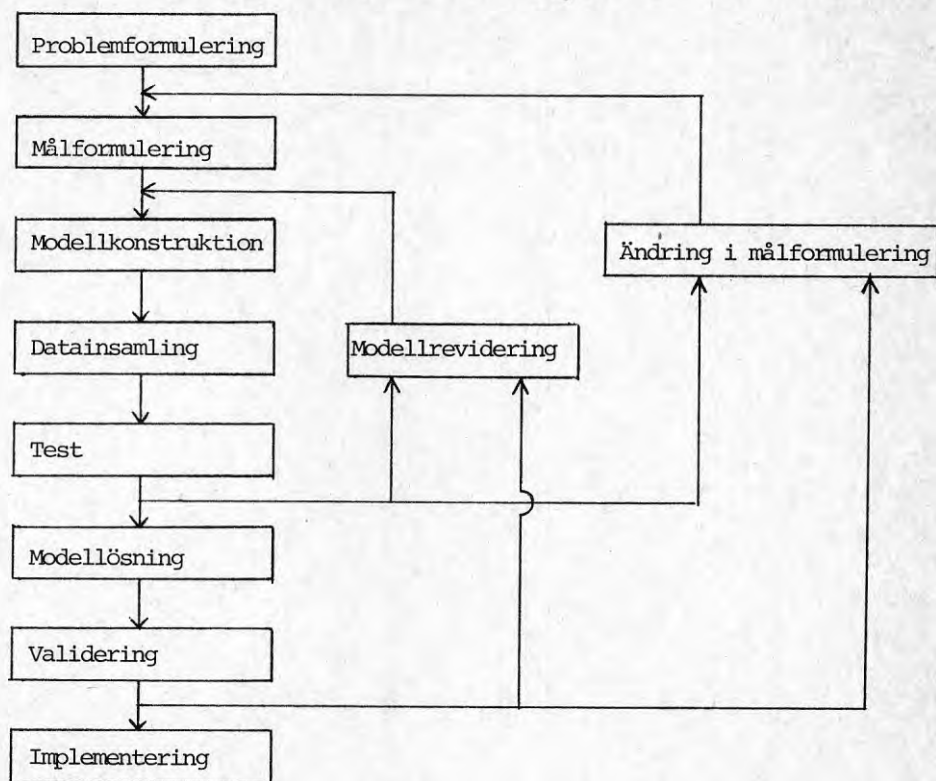


FIG 1. Operationsanalytisk metodik

OPERATIONSANALYS I BYGGBRANSCHEN

I detta avsnitt redovisas kortfattat olika tekniker som står till buds i en OA-studie och exemplifieras potentiella användningsområden inom byggbranschen. Framställningen gör inte anspråk på att vara fullständig. Det skall också påpekas att det i litteraturen råder delade meningar om vilka tekniker som skall klassificeras som OA-tekniker, varför mer eller mindre berättigade invändningar kan göras mot redovisningen.

LINJÄR-PROGRAMMERING

Linjär-programmering är den vanligaste formen av matematisk programmering som är en systematisk metod för att analysera relationerna mellan flera av varandra beroende variabler med målsättningen att finna ett optimum. Modellen är av typen ren matematisk modell och objektfunktionen ger som regel uttryck för vinster eller kostnader som skall maximeras resp. minimeras under beaktande av olika begränsningar i handlingsfriheten.

Tekniken är mycket användbar och potentiella applikationsområden inom flera av ett entreprenadföretags problemområden har föreslagits i litteraturen. Dessa omfattar utformning av anbudspris av Stark (1968), val av byggmetod av Högberg (1970) och blandning av byggmaterial av Ritter & Schaffer (1961). Det utförligaste beskrivna tillämpningsområdet berör resursallokering i samband med projektplanering. Detta problem har tacklats av ett stort antal författare av vilka kan nämnas Davis (1969).

En speciell typ av linjär-programmeringsmodeller är transport- och lokaliseringsmodellerna. Deras tillämpning för planering av byggtransporter beskrivs av Hammarlund & Szemberg (1973)

En annan form av linjär-programmering är heltalsprogrammeringen. Denna teknik, som har visat sig vara den kanske potentiellt mest värdefulla, skall illustreras i ett senare avsnitt som behandlar OA-metoder vid inköpsplanering.

DYNAMISK PROGRAMMERING

Dynamisk programmering är en teknik vid vilken rekursiva processer utnyttjas för att söka upp optimala strategier. Dessa strategier kan definiera såväl vad som skall göras och när detta skall göras. Tekniken är inte lika väldefinierad som linjärprogrammeringen och lösningsförfarandet beror i hög grad på problemets utseende även om själva den rekursiva principen är gemensam.

Exempel på tillämpningsområden som beskrivits i litteraturen är planering av maskininvesteringar av Douglas (1968), formdimensionering av Bidwell (1973), inköpsplanering av Jurecka & Zimmermann (1972) och projektplanering av Butcher (1967).

Forresters (1961) nu klassiska "Industrial Dynamics" baseras på dynamisk programmering, även om målsättningen här ej är optimering. Samma teknik har han senare använt för att studera konsekvenserna av olika policies i samhällsplaneringen. Liknande studier skulle kunna göras för policyfrågor på olika nivåer inom byggnadsindustrin. Samhällsbyggandet undergår en ständig förändringsprocess vilken påverkar den industriella strukturen. Såväl industri som samhället skulle ha nytta av en dynamisk modell med vars hjälp man i förväg skulle kunna testa effekterna av olika policies och handlingsalternativ.

Dynamisk programmering illustreras i det applikativa avsnittet om materialupphandling.

SIMULERING

Begreppet simulering är svårt att entydigt definiera. I allt väsentligt innebär emellertid den tekniken att en modell utnyttjas för experiment. I operationsanalytiska sammanhang begränsar man sig till numerisk simulering, d.v.s. man utnyttjar symboliska modeller. Ofta begränsas begreppet dessutom till sådana experiment vid vilka Monte Carlo-teknik utnyttjas. Denna teknik skall utförligt demonstreras i ett senare avsnitt som behandlar hur simulerings-teknik kan utnyttjas vid ett entreprenadföretags kost-

nadskalkylering.

Simulering är ett mycket användbart verktyg och rätt utnyttjad kan mycken information om system erhållas med hjälp av denna teknik. Det är därför inte underligt att flera applikationsområden inom byggbranschen har föreslagits. Dessa omfattar bl.a. simulering av projektkostnader av Campbell, (1970), arbetsplatsdisposition av MacDonald (1970), simulering av väderlekens inverkan på produktionen av Benjamin (1973), planering av resursutnyttjande av Barroso, Nakjima & Woodhead (1972) och simulering av produktiviteten vid olika resursinsatser av Gaarslev (1969).

En speciell form av simulering utgör s.k. företagsspel (management games). Denna teknik låter beslutsfattaren agera som en del av modellen medan systemet i övrigt representeras av en symbolisk modell. Särskilt användbar har denna teknik visat sig vara i utbildningssammanhang. Företagsspel för entreprenadbranschen har utvecklats av bl.a. Björnsson (1975).

HEURISTISKA METODER

Då ett problem inte helt kan uttryckas i form av ett matematiskt program kan heuristiska metoder ibland tillgripas. Dessa bygger på ett intelligent stegvist sökande mot ett optimum. Särskilt användbar är tekniken vid komplexa kombinatoriska problem. Då det inte är möjligt att söka genom alla möjliga kombinationer av värden på de variabler som ingår i problemet undersöks i stället successiva kombinationer som leder till stegvisa förbättringar av lösningen. Sökningen avslutas då ett tillräckligt bra resultat uppnåtts (nära optimum) och då det inte längre lönar sig att fortsätta sökandet.

Ett flertal tillämpningar av heuristiska metoder för projektplanering har beskrivits som syftar till att uppnå ett så effektivt resursutnyttjande som möjligt. En översikt och jämförelse av olika sådana metoder görs av Neely (1971). Några av de kommersiellt tillgängliga datorprogrammen för projektplanering har också rutiner för resursplanering som baseras på heuristiska

metoder.

BESLUTSTEORI

Beslutsteori omfattar, kort uttryckt, beskrivningssystem för komplicerade beslutsprocesser och omfattar såväl den ordningsföljd i vilken beslut måste fattas som de osäkra faktorer som ligger utanför beslutsfattarens kontroll. Byggnadsindustrin är rik på beslutsproblem som är både komplicerade och riskfyllda. En välutvecklad och väldefinierad process med vars hjälp dessa beslutsproblem kunde representeras skulle därför kunna vara till stor nytta. Beslutsteorin och de därmed förknippade beslutsreglerna är emellertid ännu tämligen outvecklade och har därför inte kommit till nämnvärd praktisk användning. Ändock torde den vara värdefull som tankeexperiment vid en strukturering av många problem. Ett exempel på teknikens tillämpning vid maskininvesteringsbeslut redovisas av Baran & Lescka (1970).

NYTTOTEORI

Beslutsproblem som är förknippade med mycket stora kapitalvärdet är av psykologiska skäl inte alltid lätta att hantera med vanliga analytiska metoder. I sådana fall kan man i stället för att värdera handlingsalternativ i monetära termer utnyttja nyttobegreppet. Nyttan är då en efter beslutsfattarens riskvillighet korrigerad representation av ett monetärt värde. I den reguljära tillverkningsindustrin rör de flesta beslut kapital som är små i förhållande till företagets totala kapital varför nyttoteorier sällan är aktuella att tillämpa. I entreprenadbranschen är förhållandet det motsatta. Potentiella vinster och förluster är icke sällan betydande sedda mot företagets totala kapital. I det undermedvetna har beslutsfattare i denna bransch därför alltid utnyttjat oformaliserat nyttotänkande vid fastställande av anbudspriser.

I ett senare avsnitt om OA i kostnadskalkyleringen ges en utförligare beskrivning av nyttoteorin samt demonstreras den med ett enkelt exempel. En praktisk tillämpning av teorin för bestämning av anbudspris redovisas av Willenbrock (1973).

REGRESSIONSANALYS

Regressionanalys är en metod som används för att förklara rådande samband och för att förutsäga framtida variabelutfall. Denna tekniks användningspotential skulle öka väsentligt om bättre databanker utvecklades och om olika data kunde göras mera lättillgängliga än vad som idag är fallet.

Regressionanalys skulle kunna vara ett mycket användbart verktyg inom byggnadsindustrin. Den har också kommit till användning för att beskriva samband mellan byggnadskarakteristika och byggnadskostnader. (Jansson, 1970; Kouskoulas & Koehn, 1974). I större skala skulle byggnadskostnadsindex kunna korreleras med nationella ekonomiska indices och lämna värdefulla bidrag till byggföretagens långsiktiga planering.

KÄNSLIGHETSANALYS

Känslighetsanalys är en teknik för att bestämma en modells "säkerhet" och kartlägga kritiska variabler. Tekniken går kortfattat ut på att smärre ändringar görs i modellparametrar varefter effekten av dessa förändringar registreras. Parametrarna kan antingen förändras stegvis, varvid varje steg utvärderas för sig, eller kontinuerligt tills en beslutsvariabel påverkas. I de fall en viktig beslutsvariabel är känslig för parametervariationer indikerar detta som regel att mera information behövs för beslutsfattandet.

Varje operationsanalytisk studie bör kompletteras med en känslighetsanalys. De tekniker som utvecklats för linjär-programmering ger automatiskt information om modellens känslighet. Andra tekniker kräver kompletterande analys. De budgetsimuleringsmodeller som senare presenterats har försetts med möjlighet till känslighetsanalys.

ANBUDSMODELLER

Formaliserade modeller för anbudsgivning har varit föremål för mycket forskning. Många operationsanalytiska tekniker har härvid kommit till användning. Som regel utgår de modeller som

presenterats i litteraturen från Friedmans (1956) statistiska beslutsmodell. Denna modell kräver att konkurrenters anbuds-
mönster kartlägges över en längre tidsperiod samt att förhål-
landet mellan beräknade självkostnader och verkligt kostnads-
utfall kan beskrivas.

Flera modeller av denna typ har tillämpats i entreprenadföretag.
Ett exempel härpå har presenterats av Morin & Clough (1969).
Försök med sådana modeller har också företagits inom ramen för
föreliggande projekt. Resultaten av dessa försök redovisas inte
i denna framställning då framgångarna starkt beskrivits på grund
av bristfälliga data och den mängd reservationer som i anbuds-
sammanhang försvårar jämförelserna mellan olika anbudspriser.

Till operationsanalytiska tekniker räknas också olika tekniker
för projektplanering. Sådana tekniker är redan väl etablerade
i byggbranschen och behandlas inte i denna framställning. Dock
skall anmärkas att dessa tekniker undergår en ständig utveck-
ling varvid skilda operationsanalytiska tekniker som linjär-pro-
grammering och simulering blandas med de traditionella nätteknik-
erna.

TEORI - PRAKTIK

Sammanfattningsvis kan sägas att en litteraturgenomgång ger vid
handen att det existerar flera beslutsområden inom byggnadsverk-
samheten i vilka operationsanalys skulle kunna bidra med vär-
defullt informationstillskott. Ändock visar praktiken att meto-
derna inte fått nämnvärt fotfäste i branschen. Anledningarna
härtil är flera. De viktigaste är kanske

1. Charlatanism vid marknadsföringen av nya tekniker. Detta
faktum illustreras bäst av den misstro mot nättekniken,
som efter en första överoptimistisk introduktionsfas, all-
mänt breddade ut sig.
2. Brist på kännedom om byggnadsindustrins karakteristika hos
etablerade OA-grupper.
3. Brist på kunskap om OA bland branschfolk. OA-modeller är

- som regel tämligen avancerade abstraktioner av verkligheten. Som sådana kräver de en lång period för att accepteras.
4. Dålig strategi vid implementeringen av OA i företaget. Detta problem diskuteras utförligare i ett särskilt avsnitt.
 5. Bristfällig tillgång på adekvata ingångsdata till OA-modellerna.
 6. OA-applikationer innebär nästan alltid datorutnyttjande. Brist på datorkraft utgör därför en hämmande faktor.

UTFÖRDA STUDIER

Inom ramen för föreliggande forskningsprojekt har påbörjats ett antal OA-studier inom olika beslutsområden. Tre av dessa OA-studier presenteras utförligt i kommande avsnitt. Valet av applikationsområden har gjort så att så många funktionella områden som möjligt involveras i projektet.

Modellutveckling har diskuterats för följande problemområden,

- materialupphandling; utformning av strategier med hjälp av matematisk programmering
- kalkylering; riskbedömning med hjälp av Monte Carlo-simulering.
- budgetering; simulering av såväl resultat- som likviditetsbudget
- anbudsgivning; statistiska beslutsmodeller
- materialhantering; kösimulering för dimensionering av produktionssystem
- produktionsplanering; simulering av produktionsförlopp
- maskinparksstrategier; bedömning av maskininvesteringar med hjälp av dynamisk programmering
- materialspill; optimalt materialutnyttjande med hjälp av heuristik och linjär-programmering
- arbetsplatsdisposition

I det följande skall de tre första studierna utförligt redovisas i skilda avsnitt. Dessa har utformats som självständiga redovisningar, varför vissa upprepningar av redan beskrivna basfakta förekommer. De tre studier som redovisas har utvalts då de tillsam-

mans belyser användningen av flera av de tekniker som diskuteras i det tidigare, nämligen linjär-programmering, dynamisk programmering, heltalsprogrammering, simulering, nyttoteori och budgetsimulering.

MATEMATISK PROGRAMMERING OCH MATERIALUPPHANDLING

INLEDNING

I flera sammanhang har påpekats att byggbranschen ägnat anmärkningsvärt lite uppmärksamhet åt operationsanalytiska metoder. Detta gäller inte minst den materialadministrativa sidan av verksamheten för vilken inom andra branscher kvantitativa beslutsmetoder visat sig vara mycket värdefulla.

Materialadministrationen är en funktion av vital betydelse för entreprenadföretagets lönsamhet. Funktionen är ett uttryck för de principer enligt vilka ett företag söker planera, organisera, samordna, styra och kontrollera materialflödet från leverantör till inbyggnadsställe. Tidigare insatser för effektivisering av funktionen med hjälp av kvantitativa metoder omfattar bland annat minimering av transportkostnader med hjälp av linjär programmering (Hammarlund & Szemberg, 1973), val av material med hjälp av värdeanalys (Dunstone, 1973), minimering av spill med hjälp av matematisk programmering (Larsson, 1975) samt matrisanalys för val av leverantör (Dand & Farmer, 1970). Däremot synes frågan om hur och när material skall upphandlas ha rönt ringa intresse i OA-litteraturen. Att detta inte endast gäller byggbranschen framgår av följande citat av Muir (1973)

"Att döma av den sparsamma behandlingen i litteraturen spelar OA-metoder sällan någon roll för inköparens beslutsfattande. För en utomstående verkar detta förhållande ganska förvånande, eftersom inköparen ofta ansvarar för mycket stora summor där små effektivitetsförbättringar skulle kunna innebära stora besparingar.

En möjlig förklaring kan vara att kommunikationerna mellan de två parterna, inköparen och stabsspecialisten, vanligtvis fungerar mycket dåligt. Å ena sidan händer det alltför ofta att OA-män, när de skriver om sitt arbete, sneglar åt vad kollegerna ska tycka. Den matematiska stringensen är på sin plats i vetenskapliga tidskrifter, men en enda algebraisk formel kan vålla en total psykisk blockering hos en stackars chef när han får den på sitt skrivbord.

Å andra sidan är inköparen sällan beredd att berättat mer utförligt om de processer han deltar i och de rutiner han använder sig av. I viss mån kan det-

ta vara en försvarsmekanism, ty hans funktion är förmodligen den enda, som fortfarande praktiskt taget inte kan bli föremål för mätningar i fråga om effektivitet och lönsamhet. Ett resultat av detta har blivit att OA-specialisten har mycket liten uppfattning om den relativa betydelsen av rutinarbeten (som förhandlingar, planering och informationsinsamling) och mera strategiska frågor som vad, när och var man ska köpa."

BAKGRUND OCH SYFTE

Få situationer, om ens någon, i ett entreprenadföretags beslutsprocess är förknippade med den grad av osäkerhet som den som beslutsfattare upplever i samband med upphandling av material. Denna osäkerhet kan kortfattat sammanfattas i frågeställningen: när skall vi upphandla, av vem och hur mycket?

Många faktorer inverkar på svaret till dessa frågor; framtida prisutveckling, möjliga upphandlingsformer, rabattmöjligheter, budgetbegränsningar, lagringsmöjligheter, kapitalkostnader etc.

Syftet med föreliggande avsnitt är att söka belysa hur olika operationsanalytiska tekniker kan utnyttjas för att reducera osäkerheten och producera optimala upphandlingsstrategier.

MATERIALKOSTNADSMINIMERING

Materialkostnad

Kostnaderna för material svarar vid de flesta byggnadsprojekt för en stor andel av de totala tillverkningskostnaderna. Endast elementär matematik krävs för att påvisa det faktum att en relativt liten besparing i materialkostnaderna kan ha samma effekt på ett företags vinst som en kraftig omsättningsökning. Dand & Farmer (1970) anger sålunda

"Take, for example, a company with a turnover of £ 5.000.000 a year on which it earns £ 125.000. Material and subcontracting costs are assumed to amount to half of the £ 5.000.000 revenue. The profit can be increased by 50 per cent (to £ 187.500) by just a 2 1/2 per cent saving on the purchase costs.

To achieve the same profit improvement through

increase in turnover, it would be necessary to raise sales by 50 % to £ 7.500.000 a year."

(s.1)

Dand & Farmer anger vidare att materialkostnaden utgöres av sex komponenter vardera representerande ett segment i FIG 2. Denna figur kan sägas utgöra en illustration av materialhanteringsproblematiken formulerad som "problemet att erhålla rätt material i rätt kvantitet från rätt källa vid rätt tidpunkt till rätt pris och till rätt plats".

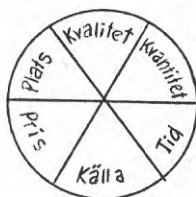


FIG 2 Materialkostnadens komponenter enligt Dand & Farmer (1970, sid. 6)

I det följande skall en kortfattad översikt göras över en del metoder som kommit till användning för att nedbringa materialkostnaderna. Härvid refereras fortlöpande till FIG 2.

Värdeanalys

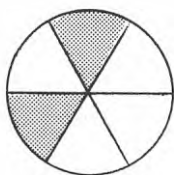


FIG 3. Kostnadskomponenter i VA

Värdeanalysen, (VA), beaktar väsentligen ett materials kvalitet i förhållande till dess pris. Med kvalitet avses i detta sammanhang funktionsvärde såsom det definieras i värdeanalytiska termer. Materialval kan ibland göras så att det medför ökade kostnader utan att förbättra funktionen. Värdeanalysen är en disciplinerad, kritisk men kreativ undersökning av ett objekts funktion med avseende på att effektivt identifiera onödiga kostnader.

Matrisanalys

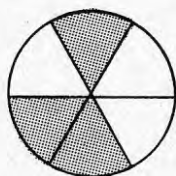


FIG 4 Kostnadskomponenter i matrisanalys

Dand & Farmer (1970) redovisar en enkel metod som kan användas för val av materialleverantör. Denna metod benämner de "matrisanalys". Den går i princip ut på att man med avseende på ett antal aspekter betygsätter olika förekommande leverantörer subjektivt och med hjälp av ett visst poängsystem. De olika betygsatta aspekterna sammanvägs sedan med hjälp av ett i förväg bestämt viktningsförfarande till en enda poängsiffra.

Transport- och lokaliseringsmodeller

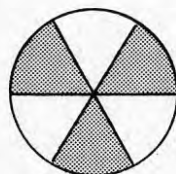


FIG 5 Kostnadskomponenter i transport- och lokaliseringsmodeller

Olika former av linjära programmeringsmodeller har utnyttjats för att bestämma billigaste transportvägar, lokalisering av eventuella mellanlager samt för bestämning av optimala leveransstorlekar. Hammarlund & Szemberg (1973) presenterar en omfattande genomgång av östeuropeisk litteratur som beskriver olika sådana modeller.

Spillstudier

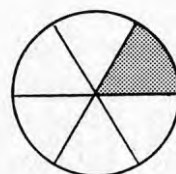


FIG 6 Kostnadskomponent i spillstudier

Kvantitetens inverkan på materialkostnaden kan förefalla trivial. Men på grund av olika former av materialspill kan det ofta vara svårt att bestämma "rätt" mängd material. Den "rätta" mängden kan sägas vara den mängd som är ekonomiskt försvarbar som en försäkring mot driftstörningar till följd av materialbrist. Hammarlund & Andreasson (1975) presenterar ett synsätt och en begreppsapparat för studium av materialspill. Larsson (1975) diskute-

rar teoretiskt optimalt materialutnyttjande och presenterar en matematisk algoritm för behandling av fallet endimensionellt stångmaterial.

Upphandlingsstrategier

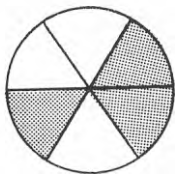


FIG 7 Kostnadskomponenter i inköpsmodell

Tiden är en viktig komponent i materialkostnaden. Störningar i form av försenade leveranser medför kostsamma omplaneringar och omDispositioner av arbetskraft och maskiner och ibland även totala driftstopp. För tidiga leveranser medför onödiga likviditetspåfrestningar och en mer omfattande hantering på arbetsplatsen. Dessutom ökar de risken för spill och skador.

Tiden är också källan till osäkerhet beträffande materialets pris. Detta flukturerar över tiden varför det kan vara angeläget att noga överväga tidpunkten för inköp. Olika prognosmodeller kan utnyttjas för att förutsäga prisutvecklingen med större eller mindre säkerhet. Även med sådana prognoser vid handen kvarstår problemet när och hur mycket material som skall upphandlas åt gången för att kostnaderna skall bli så små som möjligt. I denna framställning skall belysas hur några olika operationsanalytiska metoder kan utnyttjas för att ge vägledning i denna situation.

Det skall redan här betonas att det skisserade problemet är mycket komplext och att många andra faktorer inverkar på ett entreprenadföretags upphandlingsstrategier än de som diskuteras i samband med de följande matematiska modellerna. Erfarenhet och intuition måste alltid utgöra grunden för beslut angående materialupphandling.

MODELLER FÖR BESTÄMNING AV OPTIMAL UPPHANDLINGSSTRATEGI

I det följande skall operationsanalytiska modeller utvecklas med vars hjälp optimala upphandlingsstrategier kan bestämmas. Tre olika modelltyper skall diskuteras. Den första av dessa baseras på dynamisk programmering. Den föreslagna modellformuleringen är tämligen lätthanterlig men behandlar en något förenklad problemställning. Den andra modellen baseras på linjär-programmering och utgör inte någon egentlig utvidgning av den första. Den tredje ansatsen baseras på blandad heltalsprogrammering. Modellen är tämligen komplex och svårhanterad men beaktar i gengäld mera relevanta frågeställningar. Beskrivningen av de olika modellerna följer i stort samma disposition, problemskrivning, modellformulering, lösningsmetodik, exemplifiering (ej av LP-modellen) samt diskussion av användbarheten.

Modellansats I: Dynamisk programmering

Materialinköpen i ett entreprenadföretag måste satisfiera de olika byggprojektens produktionsplaner. Detta innebär att vi har en bestämd efterfrågan. De flesta materialslag är emellertid utsatta för fluktuerande materialpriser. Detta förhållande försvårar företagets strävan att minimera sina totala inköpskostnader. Dessutom skulle en strikt minimering av inköpskostnaden tendera att höja lagerhållningskostnaderna. Problemet är därför att balansera lagerkostnader och inköpskostnader.

För att förenkla framställningen något förutsätter vi nu till en början att lagerhållningskapaciteten är obegränsad. Vi antar också att vi endast har ett projekt och ett materialslag att beakta. Om entreprenören kan bestämma den mängd material som åtgår under projekttiden samt känner kostnaderna för att få detta levererat kan den "billigaste" materialtidplanen formuleras som ett dynamiskt program. Denna formulering kommer då att överensstämma med den som WAGNER (1969) redovisat för ett produktions-lager-system.

Lösningen av ett dynamiskt program tillgår så att man startar bakifrån och successivt arbetar sig mot starttidpunkten. Vid den matematiska formuleringen av problemet kan det därför vara bekvämt att tillämpa en indiceringsprincip enligt vilken index 1 betecknar slutet och index N början av planeringsperioden. Vi förutsätter då att projektiden uppdelats på N st perioder. Vidare användes följande beteckningar.

d_i = materialbehovet under den period då ytterligare i perioder återstår
 $c_i(x, s^1)$ = kostnaden att beställa mängden x av materialet och ha mängden s^1 kvar i lager under den period då ytterligare i perioder återstår
 $f_i(s)$ = optimal policy (minimumkostnadsplan) då ingående lager är s och då i perioder återstår. Ingående lager bestämmer produktionssystemets tillstånd vid varje periods början. Hur denna lagernivå har uppnåtts, d.v.s. vilken policy som lett till detta tillstånd saknar intresse för den aktuella beslutssituationen^U.

$x_i(s)$ = den inköpsmängd som ger $f_i(s)$

Vi påminner om att i beteckningarna ovan tillämpas ett omvänt indiceringssystem. Detta innebär, om perioderna motsvarar månader och planeringsperioden utgöres av ett visst år, att januari har index 12 och december index 1.

Låt oss nu för enkelhetens skull anta att allt material som beställes skall utnyttjas i produktionen, ett i sammanhanget högst plausibelt antagande. Utgående lager är således noll, vilket kan uttryckas som

$$f_0(0) = 0 \quad (1)$$

För den sista perioden, $i = 1$ gäller för ingående lager s

^U = Det är på detta s.k. "optimalitetskriterium" dynamisk programmering i själva verket baseras.

$$0 \leq s \leq d_1 \quad (2)$$

Detta innebär att mängden d_1 -s måste beställas för att produktionen skall klaras.

Härav följer

$$f_1(s) = c_1(d_1-s, 0) \quad (3)$$

För den näst sista perioden blir kostnaden om ingående lager är s och mängden x beställes

$$c_2(x, s+x-d_2) + f_1(s+x-d_2) \quad (4)$$

För denna period gäller vidare att

$$0 \leq s \leq d_1 + d_2 \quad (5)$$

Minsta inköpskvantitet är d_2 -s för att produktionen skall klaras. Den största möjliga inköpskvantiteten är $d_1 + d_2 - s$ för att utgående lager efter sista perioden skall bli noll. Det x som gör summan (4) så liten som möjligt utgör den optimala inköpskvantiteten.

$$f_2(s) = \min \left[c_2(x, s+x-d_2) + f_1(s+x-d_2) \right] \quad (6)$$

$$d_2-s \leq x \leq d_1+d_2-s$$

På samma sätt kan nu generellt för den period d_i i perioder återstår skrivas

$$f_i(s) = \min \left[c_i(x, s+x-d_i) + f_{i-1}(s+x-d_{i-1}) \right] \quad (7)$$

$$d_i-s \leq x \leq d_1+d_2+ \dots d_i-s$$

$$0 \leq s \leq d_1+d_2+ \dots d_i$$

Ekvation (7) representerar en tämligen okomplicerad dynamisk modell. Tyvärr är den dessutom av ringa praktiskt intresse då den inte beaktar några av de i inköpsituationen så vanligt förekommande komplicerade aspekterna. Dessa skall diskuteras senare. Låt oss först demonstrera vår förenklade modell med ett enkelt exempel.

Exempel

Antag att för tre på varandra följande månader ett byggmaterial skall inköpas för ett projekt. Produktionsplanen anger att under de tre månaderna erfordras mängden 2,7 resp. 4 enheter av materialet. Priset på materialet varierar och har prognosticerats bli 17, 20 resp. 10 för de tre perioderna. Möjlighet finns att lagra materialet på byggsplatsen utan någon extra lagerkostnad. Dock kan inte mer än 9 enheter lagras.

Vi betecknar nu med s_i lagret i slutet av den månad då i månader återstår. Denna variabel beskriver systemets tillstånd. I samband med dynamisk programmering kallas den också "tillståndsvariabel". Den variabel varmed vi kan påverka systemets tillstånd kallar vi "beslutsvariabel". I exemplet utgöres denna variabel av x_i , d.v.s. inköpskvantiteten vid början av den månad då i månader återstår.

Den angivna lagerbegränsningen, s_{\max} , ger

$$s_{i+1} + x_i \leq s_{\max} \leq 9 \quad (8)$$

men

$$s_i = s_{i+1} + x_i - d_i$$

vilket ger

$$f_{i-1}(s_i) = f_{i-1}(s_{i+1} + x_i - d_i) \quad (9)$$

Då lagerkostnaderna är lika med noll får vi

$$\begin{aligned} f_i(s_{i+1}) &= \min_{x_i} \left\{ c_i x_i + f_{i-1}(s_i) \right\} = \\ &= \min_{x_i} \left\{ c_i x_i + f_{i-1}(s_{i+1} + x_i - d_i) \right\} \end{aligned} \quad (10)$$

Vi utgår från att allt material förbrukas,

$$f_0(s_1) = 0 \quad (11)$$

Vidare vet vi att $d_1 = d_2 = 4$ och $c_1 = c_2 = 10$ och

$$s_1 = s_2 + x_1 - d_1 = 0 \quad (12)$$

vilket ger

$$f_1(s_2) = \min_{x_1} \left\{ 10 x_1 + f_0(s_1) \right\} = \min_{x_1} \left\{ 10 x_1 \right\} \quad (13)$$

(12) och $d_1 = 4$ ger nu

$$x_1 = d_1 - s_2 \quad (14)$$

vilket ger oss följande fem möjliga fall

$s_2 = 0$	$x_1 = 4$	$f_1(s_2) = 40$
1	3	30
2	2	20
3	1	10
4	0	0

För $i = 2$ är $d_i = 7$ och $c_i = 20$ vilken ger

$$f_2(s_3) = \min_{x_2} \left\{ 20 x_2 + f_1(s_2) \right\} \quad (15)$$

Vi upprättar nu följande tablå vilken underlättar ett överskådligt lösningsförfarande

s_3	x_2	s_2	$f_2(s_3)$	$\min f_2(s_3)$
0	7	0	$7 \cdot 20 + 40$	180
	8	1	$8 \cdot 20 + 30$	
	9	2	$9 \cdot 20 + 20$	

1	6	0	$6 \cdot 20 + 40$	160
	7	1	$7 \cdot 20 + 30$	
	8	2	$8 \cdot 20 + 20$	

2	5	6	$5 \cdot 20 + 40$	140
	6	1	$6 \cdot 20 + 30$	
	7	2	$7 \cdot 20 + 20$	

3	4	0	$4 \cdot 20 + 40$	120
	5	1	$5 \cdot 20 + 30$	
	6	2	$6 \cdot 20 + 20$	

4	3	6	$3 \cdot 20 + 40$	100
	4	1	$4 \cdot 20 + 30$	
	5	2	$5 \cdot 20 + 20$	

s_3	x_2	s_2	$f_2(s_3)$	$\min f_2(s_3)$
5	2	0	$2 \cdot 20 + 40$	80
	3	1	$3 \cdot 20 + 30$	
	4	2	$4 \cdot 20 + 20$	
6	1	0	$1 \cdot 20 + 40$	60
	2	.	$2 \cdot 20 + 30$	
	3	2	$3 \cdot 20 + 20$	
7	0	0	40	40
	1	1	$1 \cdot 20 + 30$	
	2	2	$2 \cdot 20 + 20$	
8	0	1	30	30
	1	2	$1 \cdot 20 + 20$	
9	0	2	20	20

För $i = 3$ är $d_i = 2$ och $c_1 = 17$. Dessutom är lagret tomt. Detta ger

$$f_3(0) = \min_{x_3} \left\{ 17 x_3 + f_2(s_3) \right\}$$

För första perioden kan köpas 2, 3, ..., 9 enheter. Detta ger följande tabell,

x_3	i_3	$f_3(0)$	$\min f_3(0)$
2	0	$2 \cdot 17 + 180$	
3	1	$3 \cdot 17 + 160$	
4	2	$4 \cdot 17 + 140$	
5	3	$5 \cdot 17 + 120$	
6	4	$6 \cdot 17 + 100$	
7	5	$7 \cdot 17 + 80$	
8	6	$8 \cdot 17 + 60$	
9	7	$9 \cdot 17 + 40$	193

Den optimala strategin är således att köpa 9 enheter under första, inga under andra samt 4 enheter under den tredje och sista månaden.

Som framgår av det enkla exemplet ovan kräver dynamisk programmering att man håller reda på ett stort antal lösningar, vilka dock är enkla att erhålla. Detta innebär också att tekniken ställer stort krav på tillgängligt minnesutrymme i datorn. Även lösningstiden ökar snabbt med problemets storlek. Om vårt slutliga problem vore av så enkel natur som det ovan beskrivna kunde emellertid metoden gott duga. Så snart situationen kompliceras av icke-linjära lagerkostnader och rabattsatser blir dock den matematiska formuleringen så komplex att vi avstår från att presentera den här.

Modellansats II: Linjär-programmering

Vi försöker nu i stället formulera vårt generella problem som ett en-stepsproblem. Liksom i det tidigare exemplet antar vi att lagerkapaciteten är begränsad och lika med s_{\max} . Dessutom tillåter vi för generalitetens skull ett visst ingående lager, s_0 . I övrigt använder vi oss av samma beteckningar som i det tidigare men av rak indicering. Lagerrestriktionen får då följande utseende.

$$0 \leq s_0 + \sum_{i=1}^n (x_i - d_i) \leq s_{\max} \text{ för } n = 1, 2 \dots N \quad (16)$$

Slutlagret för period n kan skrivas som

$$s_n = s_0 + \sum_{i=1}^N (x_i - d_i); \quad (17)$$

Vi inför nu även en kostnad för lagerhållning som uppgår till h per enhet och månad. Den totala kostnaden, C , för inköp och lagring under de N perioderna blir då

$$C = \sum_{i=1}^N (c_i x_i + h \sum_{j=1}^i (s_0 + s_j)) \quad (18)$$

Detta uttryck kan enklare skrivas som

$$C = \sum_{i=1}^N c_i^1 x_i + \text{konstant} \quad (19)$$

där koefficienterna c_i^1 endast beror av priserna c_i och lagerkostnaden h . (Detta är samma betydelse som vi från början gav

$c_i(x, s^1)$ i den dynamiska formuleringen.

Betraktar vi nu såväl priserna som efterfrågan som kända kan den optimala inköpsstrategin bekvämt erhållas genom att lösa det linjära programmeringsproblemet, som minimering av ekv. (19) under betraktande av restriktionerna (16) utgör, med avseende på x_i .

Denna modell innebär ingen nämnvärd utvidgning av det aktuella problemlösningssområdet. Fortfarande återstår flera komplicerade faktorer att beakta. Exempel härpå är rabattsatser som varierar med inköpsmängden, lagerkostnader som varierar med lagermängd, samt osäkerhet om framtida prisutveckling. Låt oss till en början se vilka konsekvenser sprängvisa kostnadsförhållanden får på vår linjär-programmeringsformulering.

Vi antar att under period i priset varierar sprängvis med inköpsmängden så att m st prisintervall existerar. För mängden x_i betalas alltså ett konstant pris inom vissa givna gränser för mängden. Beteckna priset under period i i det j :te mängdintervallet med c_{ij} och låt q_{ij} vara en binär variabel sådan att

$$q_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{om } x_i \text{ i det } j\text{:te mängdintervallet} \\ 0 & \text{i övriga fall} \end{cases} \quad (20)$$

Vårt problem får då följande formulering

$$\min c_N = \sum_{i=1}^N \left(\sum_{j=1}^m q_{ij} \cdot c_{ij} + h \cdot s_i \right) \quad (21)$$

under bivillkoret (19) och

$$x_i, s_i \geq 0 \quad (\text{ingen brist accepteras}) \quad (22)$$

där

$$s_i = s_0 + \sum_{j=1}^i (x_j - d_j); \quad n=1, \dots, N \quad (23)$$

Vi har alltså formulerat problemet som ett blandat heltalsprogram, d.v.s. vissa variabler får endast anta heltalsvärden.

Programmet är vidare av binär typ; variablerna q_{ij} kan vi kalla binära selekteringsvariabler. Såsom problemet formuleras ovan löses det enklast med hjälp av dynamisk programmering. Vi avstår emellertid att här visa att så är fallet. Vår slutliga modell skall visa sig vara av denna typ, men i denna skall mera realistiska komplikationer beaktas.

I detta sammanhang kan det emellertid vara intressant att erinra om den modell som formulerats av Charnes & Cooper (1958). Denna modell av ett produktions-lager-system har inga diskreta "ställkostnader" av den art som ovan introducerats. I stället användes generella produktionskostnadsfunktioner $c_i(x_i)$ för varje period i . Dessa antages vara differentierbara två gånger. Modellen arbetar dessutom med genomsnittslager för perioden ($s_i = \frac{1}{2}(s_i + s_{i-1})$) och är kapabel att beakta stokastisk efterfrågan. Modellen är av typen konvex programmering. Lösningförfarandet för sådana modeller har beskrivits av Sengupta & Fox (1969).

Modellsats III: Blandad heltalsprogrammering

Förutsättningar

Vi utvidgar nu vårt upphandlingsproblem till att omfatta en del mera realistiska komplikationer. Sålunda kan problemet formuleras på följande sätt.

Under en planeringstid omfattande ett visst antal perioder är behovet av material givet. Lagring av material kan ske mellan olika perioder. I lager finns från början viss mängd material, men det mesta måste införskaffas genom upphandlingar. Vid varje upphandlingstillfälle bestäms dels önskad totalvolym, dels vilka delleranser som önskas. Priset för en inlevererad kvantitet bestäms av när den inlevereras enligt ett materialprisindex. Genom överenskommelse kan fixt pris erhållas för levererade volymer under upphandlingsperioden och ett antal av nästföljande perioder. Dessutom kan rabatter erhållas.

Planeringen omfattar bestämning av när upphandling skall ske, hur stora volymer som skall beställas och när inleveranser

skall ske så att

inköpskostnaderna + lagerkostnader + kapitalkostnaderna

minimeras.

Lagerhållningskostnader på en byggplats är sällan linjära utan varierar språngvis med lagrad kvantitet. För mindre kvantiteter kan en enkel täckning med presenningar vara tillräcklig medan för större kvantiteter särskilda lageranordningar kan komma att erfordras. Lagerhållningskostnaden får alltså ett utseende enligt FIG 8

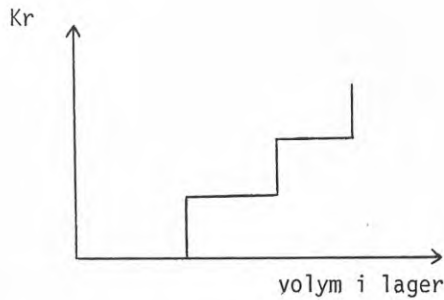


FIG 8. Lagerhållningskostnaden som funktion av kvantitet

Någon kapacitetsbegränsning för lagret behöver inte införas. En mycket hög lagerhållningskostnad för en kvantitet över den praktiskt möjliga kommer att omöjliggöra sådana lagringskvantiteter i den matematiska lösningen av problemet.

Också rabattsystemet kan beskrivas med hjälp av en språngvis funktion enligt FIG 9.

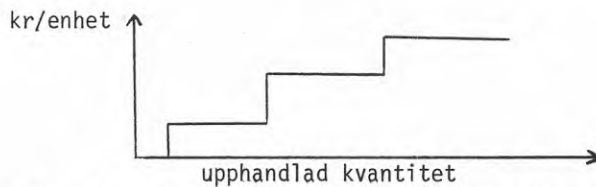


FIG 9. Rabatt per enhet som funktion av upphandlad kvantitet

Kostnaden för kapital som bindes i lager beaktas också. Denna kostnad förutsättes linjär enligt FIG 10

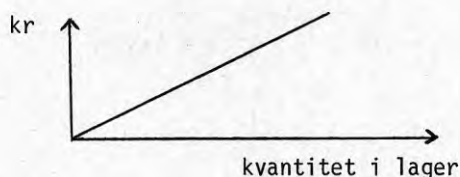


FIG 10 Kapitalkostnaden som funktion av kvantitet i lager

Det antal perioder från och med upphandlingsperioden som fixt pris kan erhållas förutsättes bestämd. Den kan dock tillåtas variera beroende på när upphandlingen sker.

Matematisk formulering

Vi kan nu formulera en modell av upphandlingssituationen. Så långt som möjligt skall tidigare beteckningar tillämpas. Flera nya måste emellertid införas varför en komplett specifikation av använda symboler anges.

- N = antal perioder
- d_i = materialbehov under period i
- s_0 = kvantitet i lager vid början av period 1
- s_e = önskad lagerkvantitet vid planeringsperiodens slut
- s_j = kvantitet i lager under period j
- x_{ij} = kvantitet inlevererad under period i och beställd under period j ($i \geq j$)
- c_{ij} = kostnaden/enhet för material inlevererat under period i och beställt under period j . Denna kostnad kan beräknas med hjälp av materialprisindex.
- cc_j = kapitalkostnaden/enhet under period j
- I = antal plataer i kurvan över lagerhållningskostnaden
- h_k = lagerhållningskostnad för plata nr k
- UI_k = maximal kvantitet för vilken lagerhållningskostnaden h_k gäller
- LI_k = minimal kvantitet för vilken lagerhållningskostnaden h_k gäller
- D = antal plataer i kurvan som beskriver rabattsystemet

$$\begin{aligned}
 cd_{kj} &= \text{rabatt för plåt nr } i \text{ i period } j \text{ (kr/enhet)} \\
 QD_k &= \text{nödvändig kvantitet för att rabatt } cd_{ij} \text{ skall} \\
 &\quad \text{erhållas} \\
 z_{kj} &= \begin{cases} 1 & \text{om lagerkvantiteten under period } j \text{ ligger} \\ & \text{inom intervallet } LI_i - UI_i \\ 0 & \text{i övriga fall} \end{cases} \\
 q_{kj} &= \begin{cases} 1 & \text{om upphandlad kvantitet under period } j \text{ lig-} \\ & \text{ger inom intervallet } QD_i - QD_{i+1} \\ 0 & \text{i övriga fall} \end{cases} \\
 y_{kj} &= \text{upphandlad kvantitet under period } j \text{ i rabatt-} \\
 &\quad \text{klass } i.
 \end{aligned}$$

Eftersom priserna är indexreglerade och i modellen rabatterna uttrycks som kr/enhet varierar alltså dessa med tiden enligt index. Rabatterna beskrivs därför med hjälp av cd_{ij} .

Problemet kan nu formuleras som ett blandat heltalsprogrammeringsproblem i vilket heltalen är binära.

$$\begin{aligned}
 \min \quad & \sum_{j=1}^N \sum_{i=j}^N x_{ij} c_{ij} - \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^D y_{kj} \cdot cd_{kj} + \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^I z_{kj} h_k + \\
 & + \sum_{j=1}^N cc_j \cdot s_j \quad (24)
 \end{aligned}$$

Uttrycket (24) uttrycker att vi önskar minimera

inleveranskostnad - rabatter + lagerkostnad + kapitalkostnad

Med kapitalkostnader avses kostnader för kapital bundet i lager. Vid minimeringen måste följande restriktioner beaktas.

$$s_0 + \sum_{j=1}^k \sum_{i=j}^k x_{ij} - \sum_{j=1}^k d_j - s_k = 0; \quad k = 1, 2, \dots, N \quad (25)$$

Ekv. (25) anger att ingående lager i period 1 plus alla inleveranser minus alla uttag till och med period k är identisk med den volym som skall lagras under period k , d.v.s. s_k

$$s_n = s_e \quad (26)$$

Ekv. (26) säkerställer att utgående lagerbalans erhålles

$$\sum_{i=1}^I z_{ik} \cdot LL_i \leq s_k \leq \sum_{i=1}^I z_{ik} \cdot UL_i ; k = 1, 2, \dots, N \quad (27)$$

$$\sum_{i=1}^I z_{ik} \leq 1 ; k = 1, 2, \dots, N \quad (28)$$

$$z_{ik} \in \{0, 1\} ; k = 1, 2, \dots, N \quad (29)$$

Ekv. (27) - (29) garanterar att $z_{ik} = 1$ för det intervall LL_i - UL_i inom vilket lagervolymen s_k ligger och att $z_{mk} = 0$ för alla $m \neq i$.

$$\sum_{i=k}^N x_{ik} = \sum_{i=1}^D y_{ik} ; k = 1, 2, \dots, N \quad (30)$$

$$q_{ik} \cdot QD_i \leq y_{ik} \leq q_{ik} \cdot QD_{i+1} ; \begin{matrix} i = 1, 2, \dots, D \\ k = 1, 2, \dots, N \end{matrix} \quad (31)$$

$$\sum_{i=1}^D q_{ik} \leq 1 ; k = 1, 2, \dots, N \quad (32)$$

$$q_{ik} \in \{0, 1\} ; i = 1, 2, \dots, D \quad (33)$$

Ekv. (30) - (33) garanterar att $y_{ik} \neq 0$ endast för det rabattintervall nr i , inom vilket den upphandlade volymen ligger.

$$\begin{matrix} x_{ij}, y_{lj}, s_j \geq 0 ; i = 1, 2, \dots, N \\ j = 1, 2, \dots, N \\ l = 1, 2, \dots, D \end{matrix} \quad (34)$$

Ekv. (34), slutligen, anger att variablerna x_{ij} , y_{lj} och s_j är reella variabler ≥ 0 .

Vid lösandet av detta problem med hjälp av en algoritm för blandad heltalsprogrammering bör förändring i formuleringen ovan göras för att minska problemstorleken. Denna förändring är att s_k för $k = 1, 2, \dots, N-1$ ersätts av uttrycket för s_k som erhålles ur ekv. (25) och s_N ersätts av s_e . Denna substitution görs dels i ekv. (27) dels i målfunktion.

Efter denna åtgärd får problemet följande storlek.

Ekv. (27), (28) och (30)	utgör	$4 \cdot N$	restriktioner
" (31)	"	$2 \cdot N \cdot D$	"
" (32)	"	N	"
" (29) och (33)	anger	$N \cdot I + N \cdot D$	binära variabler
" (34)	"	$N \cdot (N+1)/2 + N \cdot D + N$	kontinuerliga variabler.

Totalt består alltså modellen av $N(I+D)$ binära variabler, $N \cdot ((N+1)/2 + D + 1)$ kontinuerliga variabler och $N(5+2D)$ restriktioner.

Exempel

För en planeringshorisont omfattande tre perioder ($N=3$) är behovet av ett visst material 30, 25 respektive 40 enheter. Ingående och utgående lager antages vara noll.

Materialet betingar under första perioden ett pris om 10 kr (index = 100) och materialprisindex beräknas stiga med 10 % per period. Entreprenören kan också räkna med att kunna erhålla leveranser en period efter upphandlingsperioden utan indexreglering av priset.

Om vi betecknar matrisen som bildas av c_{ij} med c kan vi nu teckna denna. Det är uppenbart att denna matris är triangulär med c_{12} , c_{13} och c_{23} utan betydelse ty i måste vara större än j enligt beteckningar enligt tidigare

$$c = \begin{bmatrix} 10 & & & \\ 10 & 11 & & \\ 12 & 11 & 12 & \end{bmatrix}$$

Beroende på upphandlad kvantitet kan två olika rabattsatser erhållas. Dessa är 10 respektive 20%. (D=3, ty även 0% utgör en plåtå i rabattkuryan).

Betecknar vi med CD den matris som består av elementen cd_{kj} kan vi nu teckna denna som

$$CD = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1,0 & 1,1 & 1,2 \\ 2 & 2,2 & 2,4 \end{bmatrix}$$

Lagerhållningskostnaden är försumbar upp till en lagerkvantitet om 20 enheter varefter den uppgår till 20 kr per period oavsett lagerkvantitet. (I=2).

Kapitalkostnaden för varor i lager beräknas till 1 kr per enhet och period oavsett vilken period det gäller. Vi kan nu formulera vår objektfunktion. För överskådlighetens skull behandlar vi varje post i denna funktion för sig.

Inleveranskostnad

$$\begin{aligned} c_{11}x_{11} + c_{21}x_{21} + c_{31}x_{31} + c_{22}x_{22} + c_{32}x_{32} + c_{33}x_{33} = \\ = 10x_{11} + 10x_{21} + 12x_{31} + 11x_{22} + 11x_{32} + 12x_{33} \end{aligned} \quad (35)$$

Rabatter

$$\begin{aligned} cd_{11}y_{11} + cd_{21}y_{21} + cd_{31}y_{31} + cd_{22}y_{22} + cd_{32}y_{32} + \\ + cd_{13}y_{13} + cd_{23}y_{23} + cd_{33}y_{33} = 0 \cdot y_{11} + 0 \cdot y_{12} + 0 \cdot y_{13} \\ = 1 \cdot y_{21} + 2 \cdot y_{31} + 1,1y_{22} + 2,2y_{32} + 1,2y_{23} + 2,4y_{33} \end{aligned} \quad (36)$$

Lagerkostnad

$$\begin{aligned} z_{11} \cdot h_1 + z_{21} \cdot h_2 + z_{12} \cdot h_1 + z_{22} \cdot h_2 + z_{13} \cdot h_1 + z_{23} \cdot h_2 = \\ = 0 \cdot z_{11} + 20z_{21} + 0 \cdot z_{12} + 20 \cdot z_{22} + 0 \cdot z_{13} + 20z_{23} \end{aligned} \quad (37)$$

Kapitalkostnad

$$cc_1 \cdot s_1 + cc_2 \cdot s_2 + cc_3 \cdot s_3$$

s_j för $j = 1$ och 2 erhålles nu ur ekv. (25)

$$k = 1; s_0 + x_{11} - d_1 - s_1 = 0; s_1 = x_{11} + s_0 - b_1$$

$$k = 2; s_0 + x_{11} + x_{21} + x_{22} - d_1 - d_2 - s_2 = 0;$$

$$s_2 = x_{11} + x_{21} + x_{22} - d_1 - d_2$$

För $j = 3$ har vi enligt (26)

$$s_3 = s_e$$

Kapitalkostnaden kan nu uttryckas som

$$\begin{aligned} & 1 \cdot (x_{11} + s_0 - d_1) + 1 \cdot (x_{11} + x_{21} + x_{22} - d_1 - d_2) + s_e = \\ & = 2x_{11} + x_{21} + x_{22} - 55 \end{aligned} \quad (38)$$

Vår objektfunktion utgöres nu av summan av ekv. (35), (37) och (38) minskat med ekv. (36).

Objektfunktionen skall minimeras under beaktande av följande restriktioner.

Ekv. (25) för $k=3$ ger

$$\begin{aligned} & s_0 + x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{22} + x_{32} + x_{33} - d_1 - d_2 - d_3 - \\ & - s_e = 0 \end{aligned}$$

$$x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{22} + x_{32} + x_{33} = 95 \quad (39)$$

Ekv. (27) ger med s_k enligt ekv. (25) och (26) och med M lika

med ett mycket stort tal

$$z_{11} \cdot LI_1 + z_{21} \cdot LI_2 \leq x_{11} + s_0 - d_1; x_{11} - 20z_{21} \geq$$

$$\geq 30$$

$$x_{11} + s_0 - d_1 \leq z_{11} \cdot UI_1 + z_{21} \cdot UI_2; x_{11} - 20z_{11} -$$

$$- Mz_{21} \leq 30$$

$$z_{12} \cdot LI_1 + z_{22} \cdot LI_2 \leq x_{11} + x_{22} + s_0 - d_1 - d_2;$$

$$; x_{11} + x_{21} + x_{22} - 20z_{22} \geq 55$$

$$x_{11} + x_{21} + x_{22} - d_1 - d_2 + s_0 \leq z_{12} \cdot UI_1 + z_{22} UI_2;$$

$$x_{11} + z_{21} + x_{22} - 20z_{12} - Mz_{22} \leq 55$$

$$z_{13} \cdot LI_1 + z_{23} \cdot LI_2 \leq s_e; \quad 20z_{23} \leq 0; \quad z_{23} = 0$$

$$0 \leq z_{13} UI_1 + z_{23} \cdot UI_2; \quad 20z_{13} + Mz_{23} \geq 0; \quad z_{13} \geq 0 \quad (40)$$

Ekv. (28) ger nu

$$z_{11} + z_{21} \leq 1$$

$$z_{12} + z_{22} \leq 1$$

$$z_{13} + z_{23} \leq 1$$

(41)

Ekv. (30) ger följande samband

$$x_{11} + x_{21} + x_{31} - y_{11} - y_{21} - y_{31} = 0$$

$$x_{22} + x_{32} - y_{12} - y_{22} - y_{32} = 0$$

$$x_{33} - y_{13} - y_{23} - y_{33} = 0$$

(42)

Ekv. (31) ger

$$y_{11} \geq 0$$

$$y_{21} - 40q_{21} \geq 0$$

$$y_{31} - 60q_{31} \geq 0$$

$$y_{12} \geq 0$$

$$y_{22} - 40q_{22} \geq 0$$

$$y_{32} - 60q_{32} \geq 0$$

$$y_{13} \geq 0$$

$$y_{23} - 40q_{23} \geq 0$$

$$y_{33} - 60q_{33} \geq 0$$

$$y_{11} - 40q_{11} \leq 0$$

$$y_{21} - 60q_{21} \leq 0$$

$$y_{31} - 10q_{31} \leq 0$$

$$y_{12} - 40q_{12} \leq 0$$

$$y_{22} - 60q_{22} \leq 0$$

$$y_{32} - 10q_{32} \leq 0$$

$$y_{13} - 40q_{13} \leq 0$$

$$y_{23} - 60q_{23} \leq 0$$

$$y_{33} - 10q_{33} \leq 0$$

(43)

Slutligen ger oss ekv. (32)

$$q_{11} + q_{21} + q_{31} \leq 1$$

$$q_{12} + q_{22} + q_{32} \leq 1$$

$$q_{13} + q_{23} + q_{32} \leq 1$$

Dessutom gäller att z_{kj} och q_{kj} är binära variabler och att x_{ij} och $y_{kj} \geq 0$ för alla i, j och k .

Vi har således ett problem som omfattar

$$\begin{aligned} 2(2+3) &= 15 \text{ binära variabler,} \\ 3((3+1)/2 + 3+1) &= 18 \text{ kontinuerliga variabler,} \\ \text{och } 3(5+2 \cdot 3) &= 33 \text{ restriktioner.} \end{aligned}$$

Flera av restriktionerna kan emellertid elimineras, vilket framgår av problemsammanfattningen, FIG 11.

För att lösa den modell som ovan beskrivits har inom projektets ram utvecklats ett datorprogram baserat på en lösningsalgoritm som beskrivits av Land & Doig (1960). Följande lösning till ovanstående exempel erhöles med hjälp av detta program.

$$x_{11} = 30$$

$$x_{21} = 25$$

$$x_{32} = 40$$

$$y_{21} = 55$$

$$y_{22} = 40$$

Den optimala strategin går således ut på att tillgodose de två första periodernas materialbehov vid ett upphandlingstillfälle under första perioden och att upphandla sista periodens behov under den andra perioden. Inget material skall lagras. Vid båda upphandlingstillfällena kommer 10 % rabatt att utnyttjas och den totala kostnaden kommer att uppgå till 891.

För att testa modellens känslighet kan ett antal datorkörningar göras under olika förändrande antaganden. För att illustrera detta har för exemplet ovan genomförts en lösning under antagandet att uppgörelse om fixt pris ej kan träffas. Indexreglering av materialpris skall således alltid göras vid leveranstillfälle. Detta ger följande nya C-matris.

$$c = \begin{bmatrix} 10 & & & \\ 11 & 11 & & \\ 12 & 12 & 12 & \end{bmatrix}$$

Den lösning som erhöles hade följande utseende

$$x_{11} = 30$$

$$x_{21} = 65$$

$$y_{31} = 95$$

Allt material skall således upphandlas under den första perioden. Under första perioden levereras dock endast periodens eget behov. Övrigt material levereras under andra perioden. Detta innebär att lagring måste ske mellan de två sista perioderna. Maximal rabatt, 20 %, kommer att erhållas och den totala kostnaden blir 904.

Beräkningstiden för det redovisade exemplet uppgick endast till ett par sekunder¹. Denna tid växer emellertid snabbt med problemets storlek, varför effektivare algoritmer kan behöva utnyttjas. En översikt av olika metoder för heltals-programmering redovisas av Geoffrion & Marsten (1972).

Inverkan av förändrade förutsättningar

Det generella materialupphandlingsproblemet såsom det beskrivits ovan kan reduceras på flera sätt. Här skall endast en sådan möjlighet diskuteras. Det prisreduceringssystem som byggts in i den ovan diskuterade modellen baserades på en rabatt som var direkt proportionell mot upphandlad kvantitet. Ett alternativ till detta system vore att antaga en viss rabatt uttryckt i kronor som var konstant inom vissa kvantitetsgränser.

För att formulera detta prisreduceringssystem i matematiska termer, låter vi nu cd_k beteckna rabatten (uttryckt i kronor) i det k :te rabattintervallet.

¹) Programmet är skrivet i FORTRAN och har körts på IBM 370/158

I objektfunktionen (24) kan rabatten nu uttryckas som

$$\sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^D q_{kj} \cdot cd_k$$

och restriktionerna (30) och (31) ersätts av

$$\sum_{i=k}^N x_{ij} \geq \sum_{k=1}^D q_{kj} cd_k \quad (43)$$

Detta innebär att det totala antalet restriktioner reduceras med $2 \cdot N \cdot D$ st.

SAMMANFATTNING

Olika matematiska programmeringsmodeller har föreslagits för att studera strategiska problem vid materialupphandling. Den modell som visat sig representera problemställningen bäst är av typen binär heltalsprogrammering.

Vid utformandet av strategier för materialupphandling finns flera viktiga faktorer att beakta förutom de som beaktats i den diskuterade modellen. Erfarenhet och intuition spelar i sådana beslutssituationer en stor roll. Det potentiella värdet av den utvecklade modellen beror av huruvida den matematiska formuleringen av problemet är relevant för situationen och på den erforderliga databearbetningstiden för att lösa problemet.

Det har antytts att modellens kostnadsfunktioner kan beskrivas på olika sätt. Sålunda har två alternativa rabattsystem diskuterats. De olika matematiska formuleringarna påverkar i hög grad modellens "storlek". Grundliga utredningar av olika möjliga system för att beskriva ingående kostnadsfunktioner måste därför göras innan en slutlig modell formuleras.

Den erforderliga datortiden beror i hög grad på problemets storlek. Heltalsproblem har alltid tillhört en svårlöst problemkategori. På senare tid utvecklade metoder för att lösa den typ av heltalsproblem som beskrivits har emellertid bidragit till att drastiskt reducera lösningstiden.

En viktig fråga i det behandlade beslutsproblemet rör den framtida prisutvecklingen. Detta problem har inte behandlats i denna framställning. Prisprognoser förutsättes göras utanför den beskrivna modellen. Modellen kan sedan utnyttjas för att testa känsligheten i en viss strategi med avseende på prisutvecklingen.

SIMULERING AV KOSTNADSKALKYL

RISK

Så gott som all företagsamhet är förknippad med risker och byggnadsverksamheten utgör härvid inget undantag. Riskerna kan här hänföras till endera av två kategorier, sådana som är förknippade med företagets totala verksamhet och sådana som behäftar ett visst projekt.

Den förstnämnda riskkategorin hänger främst samman med begrepp som marknadsandel, finansiell stabilitet och företagsledningens förmåga. Denna riskkategori lämnas därhän i denna framställning.

De risker som hänger samman med ett bestämt projekt beror av projektets art. Så står exempelvis olika parter risken för kostnadsöverskridanden beroende av upphandlingsformen (fast pris, löpande räkning etc.). Ett projekt kan vara behäftat med risker av huvudsakligen tre slag, nämligen sådana som har att göra med tid, kostnad eller såväl tid som kostnad.

Tidsorienterade risker påverkar främst ett projekts tidplan och beror av faktorer som väderleksförhållanden och resurstillgång. Så kan till exempel arbetskraftsbrist försena ett projekt och orsaka dyrbara förseningskostnader.

Exempel på kostnadsorienterade risker är oförutsedda prisstegringar, felkalkylerade självkostnader och dålig betalningsförmåga på beställarsidan.

Oväntade grundförhållanden, brister i utförande och material samt dålig planering och arbetsledning är exempel på risker som påverkar såväl tidplaner som byggkostnaderna. Noggranna beräkningar av kostnader och tidåtgång för ett byggprojekts olika aktiviteter är svåra att genomföra. Kvaliteten på sådana beräkningar beror bland annat på entreprenörens databank, kalkylskicklighet och erfarenhet av likartade projekt.

Många tekniker har kommit till användning för att analysera de risker som ett visst projekt är behäftat med. Nedan görs en kortfattad sammanfattning av några av dessa tekniker, var- efter en speciell modell för riskanalys av en kostnadskalkyl redovisas.

TEKNIKER FÖR BEAKTANDE AV RISK

"Riskanalys"

Projekt som innebär stora kapitalinvesteringar är som regel riskfyllda. Ändock beaktar de vanliga teknikerna för investeringskalkylering inte detta faktum. Det traditionella sättet att med dessa tekniker behandla risk är att kalkylera på den "säkra" sidan. Detta görs genom ett särskilt riskpåslag till kalkylräntan eller genom att undervärdera betalningsströmmarna.

Ett bättre sätt att i investeringskalkylen beakta risk är att använda känslighetsanalys. Härigenom är det möjligt att studera inverkan av förändringar i de ingående variablerna. Man kan till exempel låta vissa variabler få anta optimistiska, mest troliga och pessimistiska värden och beräkna investeringens kapitalvärde för olika kombinationer av dessa värden. Genom att ansätta sannolikheter för olika riskfaktorer (d.v.s. för olika variabelvärden) kan sannolikheten för ett visst resultat bedömas.

Operationsanalysen erbjuder andra metoder med vilka riskerna kan beaktas i kalkylen. Dessa metoder baseras främst på Bayesiansk sannolikhetssteori. I stället för att använda punktskattningar för betalningsströmmarna användes i dessa metoder sannolikhetsfördelningar. Såväl analytiskt förfarande som Monte Carlo-simulering kan sedan användas för bestämning av kapitalvärdet. Denna teknik presenterades första gången av Hertz (1964). Den stora fördelen med dessa tekniker är att de inte endast ger en punktoppskattning av risken. Sålunda erhålles inte ett enda värde på kapitalvärdet utan en sannolikhetsfördelning som visar hur detta värde skulle variera om inves-

teringen genomfördes ett stort antal gånger.

Den största svårigheten med den angivna tekniken är att sammanställa sannolikhetsfördelningen för olika betalningsströmmar i det fall då det råder komplicerade samband mellan dessa strömmar. Förslag till lösning av detta problem har emellertid presenterats av flera författare, bland annat av Wagle (1967). Allmänt kan sägas att simuleringsförfarandet som regel är lättare att genomföra än en analytisk lösning. Det sist nämnda alternativet kräver dessutom en uppfattning om utseendet av den resulterande sannolikhetsfördelningen.

Den beskrivna riskanalystekniken kan användas i ett entreprenadföretag för att bestämma huruvida man skall lämna anbud på ett visst projekt eller ej. Härvid behöver inte projektet betraktas isolerat, utan det marginella risktillskottet till för hela företagets orderstock kan analyseras. Sådan "portfolioc analysis" demonstreras av Vergara & Boyer (1975).

Den modell som utvecklats i föreliggande forskningsprojekt och som skall redovisas i detta avsnitt utgör exempel på hur riskanalys med hjälp av Monte Carlo-simulering kan användas för att bedöma de risker en kostnadskalkyl är behäftad med.

Beslutsanalys

Beslutsanalys är en metod för att organisera och formalisera beslutsfattande under osäkerhet. Den erbjuder metoder att på basis av kvantitativ information fatta beslut i valsituationer då olika handlingsalternativs utfall är osäkra. Härvid är det vanligt att representera beslutsprocessen med ett beslutsträd. I detta kan såväl beslutsprocessens struktur som osäkerhet i olika utfall åskådliggöras. De olika utfallen kan uttryckas antingen som förväntat värde uttryckt i penningar, EMV (expected monetary value) eller som förväntad nytta, EUV (expected utility value). Sådana beslutsträd i förening med Bayesiansk teori bringar beslutsfattaren att strukturera sitt beslutsproblem och på ett överskådligt sätt kvantifiera osäker-

heten i olika utfall.

Beslutstråd har knappast kommit till användning inom byggnadsbranschen. Kanske skulle tekniken bäst kunna tillämpas för att tackla de risker som är förknippade med val av anbudsobjekt.

Nättekniker

Den vanligen förekommande nätplaneringstekniken inom byggnadsindustrin är CPM. Denna teknik kan, traditionellt använd, inte beakta osäkerhet. Genom att kombinera den med Monte Carlo-simulering kan emellertid detta tillgodoses. Exempel på ett sådant förfarande är GERT (Graphical Evaluation and Review Technique), (Pritsker & Happ, 1966), och PlanSIM (Björnsson, 1975). Den sistnämnda metoden erbjuder möjlighet att genom ett interaktivt, successivt förfarande nå fram till en trolig tid- och kostnadsplan för ett projekt.

En annan nätteknik som beaktar osäkerhet i de aktiviteter som skall utföras i ett projekt är PERT. I denna teknik antages alla aktivitetstider följa en bestämd fördelning (β -fördelning) och som definieras med hjälp av tre parametrar, optimistisk, mest trolig och pessimistisk genomförandetid. Slutresultatet, projektets genomförandetid, antages vara normalfördelad. Med dessa förutsättningar genomföres sedan en analytisk beräkning i enlighet med den som genomföres i CPM-analys. Metoden ger emellertid, utöver den information som erhålles med CPM, möjlighet att analysera med vilken sannolikhet olika tidpunkter verkligen kan uppnås. Nackdelen med metoden är att den, genom att i beräkningen endast beakta den kritiska linjen, oftast ger ett alltför optimistiskt slutresultat. Det finns dock, visserligen arbetssamma, metoder för att bedöma sannolikheterna för alternativa kritiska linjer.

SKATTNING AV RISK

Uppskattningen av sannolikheten för att en osäker händelse skall inträffa kan göras antingen kvalitativt eller kvantitativt. I så-

dana situationer där osäkerheten hänför sig till många faktorer, som är fallet inom byggnadsindustrin, måste en analys av riskens inverkan på ett beslut nödvändigtvis baseras på kvantitativa grunder. Detta innebär som regel en probabilistisk ansats.

Det finns två grundläggande sätt att skatta sannolikheten på:

- a) skattning av sannolikheter som relativa frekvenser
- b) subjektiva skattningar av sannolikheter.

I fall a) krävs en registrering av förekomsten av olika utfall i verkligheten. Så kan t.ex. väderleksförhållanden ofta registreras på detta sätt. Vid skattning enligt b) kan olika förfaringsätt användas.

Relativa frekvenser kan användas som sannolikhetsmått i en riskanalysmodell endast om tidigare risksituationer är jämförbara med den aktuella och om framtiden kan antas innebära samma förhållande som varit tidigare. Ofta uppfylles dessa krav inte varför man i brist på andra alternativ måste skatta sannolikheter subjektivt på basis av erfarenhet och tillgänglig information.

Det är i allmänhet svårare att uppskatta sannolikheten för ett visst utfall med hjälp av en punktskattning än med en relativ sannolikhet. Därför användes i riskanalyser i allmänhet sannolikhetsfördelningar oberoende av i vilken form man önskar slutresultatet. Det finns flera sätt att ansätta subjektiva sannolikhetsfördelningar på. Det vanligaste är

- a) direkt, genom definition av fördelningen
- b) skattning av fraktiler
- c) antaga en känd sannolikhetsfördelning och specificera nödvändiga parametrar.

I de fall osäkerhet råder om riktigheten av den antagna sannolikhetsfördelningen kan en känslighetsanalys genomföras som visar hur resultatet påverkas av de valda fördelningarna. Det kan då ofta visa sig att känsligheten inte är så stor att bättre skattningar av de ingående sannolikhetsfördelningarna är nödvändig.

I riskanalys i ett entreprenadföretag är skattningen av riskerna i hög grad en subjektiv process som i stort sett måste baseras på entreprenörens erfarenhet och intuition, även om databanker av olika slag också ingår i underlaget.

Det finns som ovan visats ett flertal tekniker som skulle kunna tillämpas inom ett entreprenadföretag. Få av dessa tekniker användes idag. I det följande skall mera i detalj redovisas hur riskanalys praktiskt kan genomföras för att få en bättre uppfattning av säkerheten i en kostnadskalkyl. Innan den utvecklade modellen presenteras skall en utförligare diskussion av olika aspekter av riskanalys göras.

RISKANALYS VID KOSTNADSKALKYLERING

Teknik

En kostnadskalkyl kan sägas utgöras av en kombination av variabler om vars värde osäkerhet råder. Denna osäkerhet brukar i kalkylsammanhang bemötas med försiktighet i kalkylarbetet. I riskanalys bygger man en modell av kalkyler. I denna modell utgöres variablerna av mängder, priser, kapaciteter etc. En bedömning görs sedan av inom vilket intervall dessa variabler kan tänkas variera och med vilken sannolikhet variationen kan tänkas ske. Dessa bedömningar tar formen av sannolikhetsfördelningar. Detta innebär att varje variabels möjliga värde associeras med ett tal mellan 0 och 1, sådant att för varje variabel summan av dessa tal, eller sannolikheter, är lika med 1. Dessa sannolikheter följer den traditionella sannolikhetsteoriens alla lagar. Ur matematisk synpunkt innebär därför riskanalys inget annat än en sammanställning av sannolikheter. Detta kan som ovan påpekas ske på olika sätt. I fortsättningen diskuteras endast den metod som bäst lämpar sig i riskanalys, nämligen Monte Carlo-simulering.

Idén bakom Monte Carlo-tekniken är enkel. Då vi säger att vi har 25 % chans att tjäna 10 % på ett visst objekt, innebär detta att om vi hade ett stort antal likartade objekt skulle vi förvänta oss att tjäna 10 % på 25 % av dessa objekt. Omvänt

gäller att om vi hade ett stort antal objekt, 25 % av vilka vi tjänade 10 % på, skulle vi säga att sannolikheten för 10 % vinst vore 25 %. Den enklaste tillämpningen av Monte Carlo-teknik är sålunda att bygga ett stort antal objekt av den typ vi är intresserade av, och se på hur många av dem vi tjänar 10 %, 15 %, 20 % o.s.v. Att utföra detta i verkligheten är naturligtvis ogörligt. I stället väljes därför värden på osäkra variabler slumpmässigt och användes i den matematiska modellen av objektet för att beräkna kostnaden, vinsten eller annan beslutsvariabel som är föremål för intresse. Processen upprepas ett stort antal gånger varefter resultaten analyseras statistiskt. Tekniken skall nu illustreras med hjälp av ett enkelt exempel.

Exempel

Antag att vi gjort en första kostnadsberäkning enligt FIG 12 för en enkel tennisanläggning bestående av betongbana med ett enkelt omklädningsskjul och kringgårdad av en mur.

<u>Kostnadspost</u>	<u>Mest trolig kostnad (kr)</u>
Röjning	12.000
Markarbeten	60.000
Mur	250.000
Betongbanor	100.000
Träskjul	25.000
Underentreprenör	30.000

Div.kostnader	377.000
Platsomkostnader	23.000
Total tillverkningskostnad	400.000

FIG 12. Kostnadsberäkning

Antag nu att vi vet att samtliga kostnadsposter är behäftade med viss osäkerhet och att vi har en någorlunda föreställning om denna osäkerhet. Sålunda tror vi att röjningen med 20 %

sannolikhet kan komma att kosta 10.000 kr och med 30 % sannolikhet kan kosta 15.000 kr i stället för vad vi anser vara den mest troliga kostnaden, nämligen 12.000 kr. Denna föreställning kan representeras av ett enkelt diagram enligt FIG 13 (a)

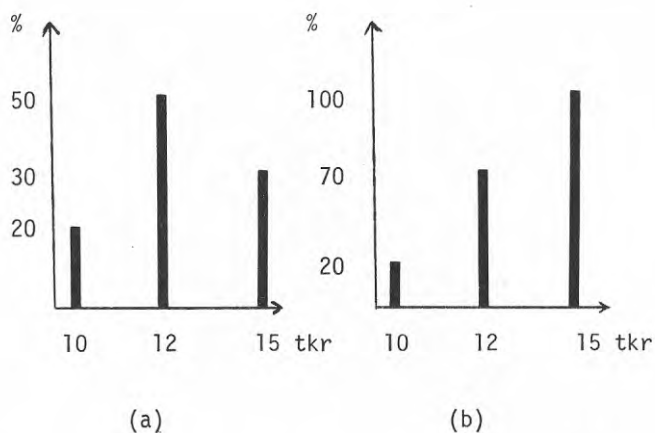


FIG 13. Frekvens- (a) resp. fördelnings- (b) funktion för kostnaden för rövning

I detta representerar staplarna de tre möjliga kostnaderna. Staplarnas höjd representerar den sannolikhet varmed de olika kostnaderna inträffar. Summan av dessa sannolikheter är 100. (Endast dessa tre utfall möjliga). Genom att ackumulera sannolikheterna kan vi konstruera en fördelningsfunktion enligt FIG 13 (b).

På samma sätt kan vi nu konstruera fördelningsfunktioner för samtliga kostnadsposter. Vi antar att vi för samtliga kostnadsposter anser tre kostnadsutfall vara möjliga med 20, 50 och 30 % sannolikhet. Dessa olika utfall framgår av FIG 14.

<u>Kostnadspost</u>	<u>Kostnad</u>		
	<u>låg</u>	<u>mest trolig</u>	<u>hög</u>
Röjning	10.000	12.000	15.000
Markarbeten	50.000	60.000	75.000
Mur	125.000	150.000	200.000
Betongbanor	80.000	100.000	125.000
Träskjul	20.000	25.000	30.000
Underentreprenör	30.000	30.000	30.000

Div.kostnader	315.000	377.000	475.000
Platsomkostnader	20.000	23.000	25.000

Total tillverkn.kostn.	325.000	400.000	500.000

FIG 14 Kostnadskalkyl med alternativa kostnadsangivelser

Av figuren framgår att om man hela tiden räknar på den optimistiska sidan slutar kostnaden på 325.000 kr. En alltigenom pessimistisk kalkyl utvisar en slutkostnad om 500.000. Om sannolikheten för att kostnaderna skall ligga någonstans mellan dessa två extremvärden säger kalkylen inget.

I denna situation kan Monte Carlo-tekniken användas. Kärnpunkten i denna teknik är att bestämma slumpmässiga utfall. Detta görs med hjälp av slumpstal. Sådana tal definieras av en variabel likformigt fördelad över intervallet 0-100. En serie slumpstal kan till exempel enkelt åstadkommas genom att med återläggning dra i förväg från 0-100 numrerade lappar ur en låda. Tabeller över sådana slumpstal finns också tillgängliga på många håll.

Vi kan nu låta talen 0-20 representera optimistiskt kostnadsutfall, 21-70 den mest troliga kostnaden och 71-100 pessimistisk kostnad. Antag nu att vi "drar" ett slumpstal 18. Detta innebär att kostnadsposten skall representeras av sin optimis-

tiska kostnad. Proceduren upprepas därefter för samtliga kostnadsposter varefter vi kan summera ihop vår slumpmässigt bestämda totalkostnad. FIG 15 visar utfallet av fyra sådana "simulerings"-omgångar.

Kostnadspost	slump-tal	kostnad	slump-tal	kostnad	slump-tal	kostnad	slump-tal	kostnad
Röjning	58	12.000	21	10.000	68	12.000	81	15.000
Markarbete	47	60.000	46	60.000	13	50.000	92	75.000
Mur	23	125.000	14	125.000	09	125.000	48	150.000
Betongbanor	69	100.000	59	100.000	20	80.000	64	100.000
Träskjul	35	25.000	28	20.000	73	30.000	06	20.000
Underentreprenör		30.000		30.000		30.000		30.000
Div.kostnader		352.000		345.000		327.000		390.000
Platsomkostn.	77	25.000	29	20.000	72	25.000	89	25.000
Total tillv.kostn.		377.000		365.000		352.000		415.000

FIG 15 Kostnaden bestämd med hjälp av Monte Carlo-simulering

Efter ett stort antal simuleringsomgångar kan vi konstruera en sannolikhetsfördelning över totalkostnaden. Denna ger oss mer information än vi tidigare haft då den ger oss sannolikheten för varje kostnad i vårt totala intervall 325.000 - 500.000 kr.

Riskbeskrivning

Punktskattningar av sannolikheterna för diskreta utfall är ofta motbjudande att göra. Det är oftast mera trovärdigt att använda sig av relativa sannolikheter. Detta görs genom att för den osäkra variabeln specificera en kontinuerlig sannolikhetsfördelning. Sådana kontinuerliga fördelningar kan konstrueras på basis av historiska data om sådana är tillgängliga. Så är emellertid ofta ej fallet varför annan metod måste väljas. Enklaste sättet är då att helt enkelt välja en trolig fördelning.

Det kan förefalla som om riskanalys kräver att man använder sig av varje variabels sanna fördelning. Detta är emellertid en omöjlig uppgift, även om försök har gjorts att förbättra upprättandet av fördelningen genom utvärdering i grupp och med Bayesiansk teori. Målsättningen med riskanalys är mera modest, nämligen att åstadkomma den fördelning som bäst representerar en eller en grupp kalkylerare. En fördelning som svarar mot en vag uppfattning är lika giltig som en som svarar mot en bestämd uppfattning.

Av praktiska skäl är det lämpligt att söka finna en känd fördelning ur vilken det är lätt att dra stickprov. Alla stickprov dras med hjälp av likformiga slumpstal varför matematiska transformationer alltid måste göras för att åstadkomma ett stickprov ur annan fördelning än den likformiga. Exempel på några ofta använda fördelningar diskuteras i det följande.

Likformig fördelning

Likformig fördelning, FIG 16, är lämplig vid dålig uppfattning om en variabels fördelning, d.v.s. då alla värden på en variabel inom ett visst intervall är lika troliga.

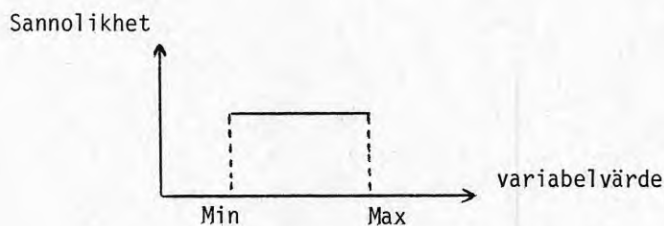


FIG 16. Likformig fördelning

Denna fördelningstyp bör så långt som möjligt undvikas. Det är ju inte särskilt troligt att kostnaden för en viss post med samma sannolikhet kan uppgå till godtyckligt belopp inom intervallet 10 - 15.000 kr. men omöjligt kan komma att uppgå till 9.500 eller 15.500 kr. Detta är just vad man antar då man säger att en kostnadspost är likformigt fördelad mellan 10.000 och 15.000 kr.

Beta-fördelning

Beta-fördelningens utseende framgår av FIG 17. Denna fördelningstyp användes bland annat vid nätplanering med PERT

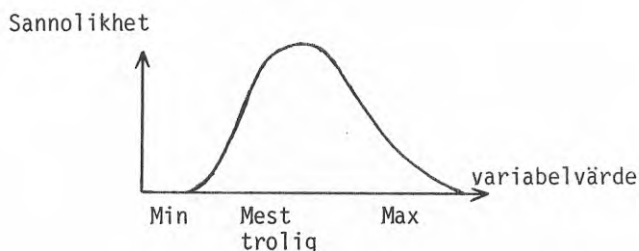


FIG 17. Beta-fördelning

Beta-fördelningen definieras fullständigt av två parametrar förutom dess Min- och Max-värden. I PERT-analys utgöres dessa två parametrar av typvärde och standardavvikelse. Den senare parameterens värde antas vanligen uppgå till $1/6$ av variabelns definitionsområden, ehuru andra uppskattningar förekommer.

Triangulärfördelning

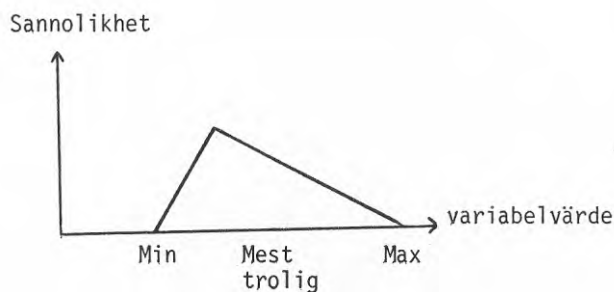


FIG 18. Triangulärfördelning

FIG 18 visar en triangulärfördelning. Den återspeglar, liksom β -fördelningen, det faktum att man ofta är benägen att åsätta lägre sannolikheter på värden som ligger nära variabelns extremvärden än för värden i närheten av det mest troliga. Av bekväm-

lighetsskäl antar man vidare att sannolikheten varierar linjärt från variabelns mest troliga värde till dess extremvärden. Detta antagande gör stickprovstagning ur fördelningen mycket enkelt, vilket senare skall demonstreras.

Normalfördelning

Normalfördelningen som illustreras av FIG 19 förefaller sällan användas för variabler ingående i en riskanalys. Däremot antages ofta normalitet för slutresultatet. Anledningen härtill skall senare redovisas.

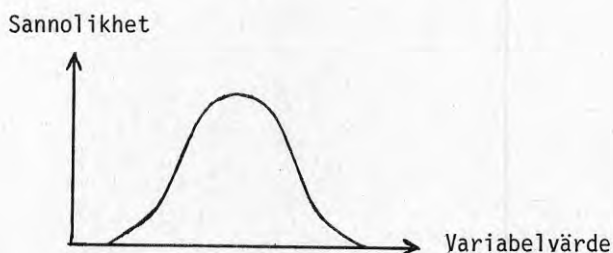


FIG 19 Normalfördelning

Normalfördelningen definieras fullständigt av två parametrar, medelvärde och standardavvikelse (σ). Vid analys av riskanalysens resultat är normalfördelningen praktisk då mycket är känt om denna. För en normalfördelad variabel vet vi följande om spridningen kring medelvärdet uttryckt i standardavvikelser,

$\pm 1\sigma$	innefattar	68,3 %	av alla fall
$\pm 2\sigma$	"	95,5 %	"
$\pm 3\sigma$	"	99,7 %	"

Detta innebär att av 1000 utfall kommer endast tre utanför gränsen tre standardavvikelser från medelvärdet. Tabeller finns upprättade för normalfördelningen vilket ytterligare underlättar analysens praktiska genomförande.

Andra typer av fördelningar

Även om de ovan diskuterade fördelningstyperna är vanligast förekommande i litteraturen angående riskanalys förekommer en del andra som exempelvis log-normal fördelning (Picardi, 1973), och Erlangerfördelning (Lichtenberg, 1971). Vissa studier tycks antyda att valet av sannolikhetsfördelning inte är av kritisk betydelse. Det faktum att kostnader liksom tider alltid är större än noll och att kostnads-/tidsöverskridande tenderar att vara vanligare än underskridanden ger emellertid vid handen att fördelningen bör väljas så att denna skevhet kan representeras. Därav följer att normalfördelningen oftast ej lämpar sig för riskbeskrivning av enskilda variabler.

Exempel

Låt oss nu återgå till vårt tidigare exempel och antaga att de i kostnadskalkylen ingående posterna i stället är triangulärt fördelade. Vi kan alltså nu tänka oss att kostnaden för en post kan variera inom hela intervallet låg - hög enligt FIG 14. I det tidigare antog vi ju endast tre möjliga utfall för varje kostnadspost.

Hur skall vi då dra våra stickprov ur de triangulära fördelningarna? Vi har ju tidigare konstaterat att alla slumpmässiga värden ur en fördelning utgår från likformiga slumpetal.

Det mest direkta sättet att erhålla slumpvariabler ¹⁾ ur en viss fördelning är att använda inversen av det matematiska uttrycket för den kumulativa fördelningen. Om vi låter y beteckna den önskade slumpvariabeln med frekvensfunktionen $f(y)$ och den kumulativa fördelningsfunktionen $F(y)$ kan vi låta ett slumpetal x representera ett värde ur fördelningsfunktionen $F(y)$. Såväl x som $F(y)$ varierar ju över intervallet 0 till 1. (Tidigare har vi talat om slumpetal som varierar över (0,100) vilket emellertid endast innebär att en skalfaktor applicerats). Vi kan då teckna

$$x = F(y) \quad (1)$$

ur vilket uttryck vi kan lösa slumpvariabeln som

$$y = F^{-1}(x) \quad (2)$$

1) Observera skillnaden mellan slumpetal och slumpvariabel. Slumpetalet är en likformigt fördelad variabel över intervallet (0,1) medan slumpvariabeln är ett slumpmässigt stickprov ur den önskade fördelningen, draget med hjälp av slumpetalet.

För kostnadsposterna i vårt exempel kan vi representera sannolikhetsfördelningen enligt FIG 20. I denna figur representeras min.-, mest trolig och max.-kostnad av a , m resp. b .

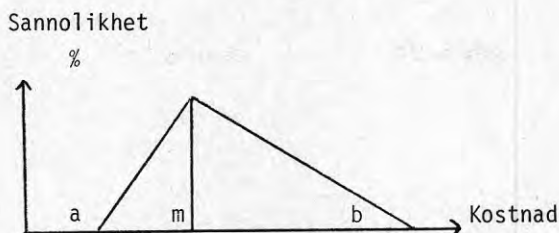


FIG 20 Frekvensfunktion för kostnadsposterna (ex.)

Då vi nu vet att ytan under frekvensfunktionen är lika med 1 (totala sannolikheten = 100%) kan vi uttrycka triangelns höjd som $2/(b-a)$. Vi kan nu teckna frekvensfunktionen som

$$f(y) = \begin{cases} \frac{2/(b-a)}{(m-a)} & (y-a), a \leq y \leq m \\ \frac{2/(b-a)}{(b-m)} & (b-y), m \leq y \leq b \end{cases} \quad (3)$$

Genom integration erhålles den kumulativa fördelningsfunktionen som

$$F(y) = \begin{cases} \int_a^y \frac{2}{(b-a)(m-a)} (x-a) dy = k_1 \int_a^y 2(y-a) dy = \\ \qquad \qquad \qquad = k_1 (a^2 - ay + y^2 + C_1) \\ \int_a^y \frac{2}{(b-a)(b-m)} (b-y) dy = k_2 \int_m^y 2(b-y) dy = \\ \qquad \qquad \qquad = k_2 (2by - y^2 - 2bm + m^2 + C_2) \end{cases} \quad (4)$$

$$\text{där } k_1 = \frac{1}{(b-a)(m-a)} \quad \text{och } k_2 = \frac{1}{(b-a)(b-m)} \quad (5)$$

För att finna värdena på konstanterna C_1 och C_2 kan vi utnyttja att $F(y)=0$ för $y=a$ och $F(y)=1$ för $y=b$. Detta ger

$$\begin{aligned} C_1 &= 0 \\ C_2 &= 1-b^2 + 2bm-m^2 \end{aligned} \quad (6)$$

Med hjälp av (1) och (2) får vi

$$x = k_1(y-a)^2, \quad a \leq y \leq m \quad (7)$$

$$\text{och} \quad x = k_2(1-(y-b)^2), \quad m \leq y \leq b \quad (8)$$

eller slumpvariabeln

$$y = a + \sqrt{x/k_1}, \quad a \leq y \leq m \quad (9)$$

$$y = b - \sqrt{(1-x)/k_2}, \quad m \leq y \leq b \quad (10)$$

Vi återgår nu till vårt tidigare exempel. För detta utnyttjar vi en tabell enligt FIG 21 för simuleringen. För slumpantal mindre än $(m-a)/(b-a)$ användes i beräkningarna av slumpvariabeln ekv. (9), i andra fall ekv. (10).

	slump- tal	kostnad	slump- tal	kostnad	slump- tal	kostnad	slump- tal	kostnad
Röjning	.58	12.490	.21	11.449	.68	12.809	.81	13.312
Markarbete	.47	60.902	.41	60.125	.13	55.701	.92	69523
Mur	.23	145.767	.14	141.202	.09	137.990	.48	155.841
Betongbanor	.69	106.325	.59	103.523	.20	93.416	.64	104.875
Träskjul	.85	24.183	.28	23.742	.73	26.326	.06	21.732
Underentreprenör		30.000		30.000		30.000		30.000

Div. kostnader		379.667		370.041		356.242		395.283
Platsomkostn.	.77	23.483	.29	22.086	.72	23.327	.89	23.951

Total tillv.kostn.		403.150		392.127		379.569		419.234

FIG 21 Kostnaden bestämd under antagande om triangulära fördelningar

Fyra simuleringsomgångar har genomförts i FIG 21. Vid dessa har använts samma slumpfalsserie som i det tidigare experimentet. Genomfördes nu ett stort antal simuleringsomgångar på det sätt som ovan skulle vi kunna upprätta ett frekvensdiagram över kostnadsutfallet. Detta diagram skulle med stor sannolikhet likna en normalfördelning med medelvärdet lika med summan av medelvärdena av de ingående kostnadsposterna $\mu = \sum \mu_i$ och med variansen lika med summan av kostnadsposternas varians $v = \sum v_i$. Vi har tidigare inte talat om medelvärde för kostnadsposterna utan om mest trolig kostnad. Denna har i sin tur definierats som typvärdet av den fördelning som beskriver kostnaden. Det torde ofta vara ett ringa fel man gör sig skyldig till om i fortsättningen antages att dessa två begrepp är likvärdiga¹⁾. För en kostnadsberäknare i allmänhet framstår säkerligen skillnaden mellan medelvärde och typvärde som en subtilitet.

För en triangulär fördelning gäller att (Spooner, 1974)

$$\mu = (a+m+b)/3$$

och $v = 1/(b-a)^2$ ²⁾

Med kunskap om medelvärde och varians för den resulterande normalfördelade totalkostnaden kan enkelt bedömningar genomföras av uppskattning av kostnaden.

Den teknik som ovan demonstrerats kan givetvis tillämpas på mera detaljerat kalkylunderlag. Sålunda kan man i kostnadsmodellen låta såväl mängder och kostnader som kapaciteter utgöra slumpvariabler. I praktiken är det givetvis ogörligt att manuellt genomföra riskanalys av en kostnadsberäkning då förfarandet kräver att det studerade objektet simuleras ett stort antal, kanske 1.000, gånger. Man måste då använda dator.

I det följande skall en datorbaserad modell beskrivas som är avsedd att användas vid självkostnadskalkylering.

1) Den exakta fördelning som addition av typvärden resulterar i är icke känd.

2) Detta värde är ej exakt och andra skattningar²⁾ finns. Så anger t.ex. Martin (1961) detta värde till $(a^2+ab+b^2)/18$.

"RISK" - EN DATORBASERAD RISKANALYSMODELL

Ett datorprogram, RISK, har utvecklats som genomför riskanalys av den typ som ovan diskuteras. Programmet som är avsett för interaktiv databehandling har försetts med ett särskilt "språk" för att underlätta användningen. Indata till programmet utgöres av allmän information om projektet, information om kostnadsposterna samt begäran om olika typer av rapporter

Enklast beskrives programmet med hjälp av vårt tidigare exempel. FIG 22 visar hur indata för detta exempel kan se ut för det fall då vi valt att i förväg lägga upp denna på en "fil" i stället för att genomföra simuleringen i kumulativ form.

```

FÖRETAG 'PLATZER BYGG AB'
PROJEKT 'TENNISANLÄGGNING'
DATUM '2 MARS 1976'
KOSTNADSPOSTER
'RÖJNING' TOTALT 12000 TYP 2 10000 15000
'MARKARBETEN' TOTALT 60000 TYP 2 50000 75000
'MUR' TOT 150000 TYP 2 125000 200000
'BETONGBAND' TOT 100000 TYP 2 80000 125000
'TRÄSKJUL' TOT 25000 TYP 2 20000 30000
'VENTR' TOT 30000
'PLATSBOMKOSTNADER' TOT 23000 20000 25000
ENDDATA
ANTAL SIMULERINGAR 1000
ANTAL INTERVALL 10
BEHÄKNA
TABELL
DIAGRAM
STANLÄRRA/AVVIKELSER 4 POSTER
SLUT
  
```

FIG 22 Indata till datorprogrammet "RISK"

För kostnadsberäkning erforderlig data beskrivs under kommandot "KOSTNADSPOSTER". Varje kostnadspost kan sedan beskrivas på ett flexibelt sätt. För vårt exempel är angivet kostnadsposternas benämning, troligaste totalkostnaden för denna, typ av fördelning för kostnaden samt parametrar för att fullständigt beskriva denna fördelning.

Olika sannolikhetsfördelningar är möjliga och specificeras med ensiffrig kod, varvid

- TYP 1 = Erlangerfördelning
- TYP 2 = Triangulärfördelning
- TYP 3 = β -fördelning

I vårt exempel har vi valt att låta kostnadernas variation beskrivas av triangulärfördelningar varför "TYP 2" angivits. För att fullständigt beskriva fördelningen specificeras därefter pessimistiskt resp. optimistiskt värde.

Då alla kostnadsposter på detta sätt definierats anges detta med "ENDDATA". Härefter har angivits hur många simuleringsomgångar som skall genomföras och hur detaljerat resultatet skall presenteras. Om dessa specificationer utelämnas kommer automatiskt 1.000 omgångar att genomföras och resultaten av dessa att sorteras i (1+3 logn) intervall, där n utgöres av antalet simuleringsomgångar. Denna empiriska ekvation har av Picardi (1973) ansetts lämplig för redovisning av den typ det här är frågan om.

Kommandot "BERÄKNA" beordrar själva simuleringen att äga rum, varefter de tre kommandona "TABELL", "DIAGRAM" och "STANDARD-
VIKELSE" beordrar presentationen av resultatet i olika former. Korresponderande rapporter återges i FIG 23 - 25.

Samtliga kommandon är valfria och har dessutom flera substitut. En total "språkprofil" har utarbetats för RISK och redovisas i BIL 1 tillsammans med en beskrivning av programmens struktur.

I FIG 23 har resultatet tabellerats varvid de totala kostnader som de 1.000 simuleringsomgångarna resulterat i indelats i 10 intervall. För dessa intervall anges utfallsfrekvens, antal utfall i procent av antalet simuleringsomgångar samt den risk som föreligger för att totala kostnaden skall överskrida intervallens övre gräns.

FIG 24 utgör en grafisk framställning av resultatet. Av denna framgår att slutresultatet, åtminstone visuellt, följer normalfördelningens karakteristiska "klockkurva".

FIG 25 redovisar totala kostnadens standardavvikelse samt standardavvikelsen för de fyra kostnadsposter som bidrager mest till den totala avvikelsen. För varje kostnadspost specificeras vidare vilka delposter som bidrager till postens standardavvikelse och

med hur mycket. Härvid är att observera att de enskilda standardavvikelserna ej direkt kan adderas. I stället gäller att

$$\sigma^2 = \sum \sigma_i^2$$

Då inga delposter angivits för kostnadsposterna i exemplet har hela kostnaden för posterna samlats under "övrigt". FIG 25 bygger på antagandet om giltigheten av centrala gränsvärdessatsen, d.v.s. att slutresultatet är normalfördelat. Under detta antagande kan vi nu därför påstå att kostnaden med 68,3 % säkerhet kommer att ligga inom intervallet, 379.500 - 420.500 kr.

PLATZER BYGG AB		2 MARS 1976		
PROJEKT : TENNISANLÄGGNING				
BERÄKNAD TROLIG KOSTNAD : 400000.				
PARAMETRAR I "SIMULERINGEN" :				
ANTAL EXPERIMENT : 1000				
ANTAL INTERVALL : 10				
ANTAL KOSTNPOSTER: 9				
KOSTNAD	OBS. FREKV.	% AV TOT.	RISK FÖR ÖVERSKRIDANDE	
364761.- 376146.	21	2.1	97.9	
376146.- 387530.	79	7.9	90.0	
387530.- 398914.	140	14.0	76.0	
398914.- 410299.	226	22.6	53.4	
410299.- 421683.	226	22.6	30.8	
421683.- 433067.	168	16.8	14.0	
433067.- 444452.	96	9.6	4.4	
444452.- 455836.	33	3.3	1.1	
455836.- 467220.	9	0.9	0.2	
467220.- 478605.	2	0.2	0.0	

FIG 23 Resultat av simuleringen (TABELL)

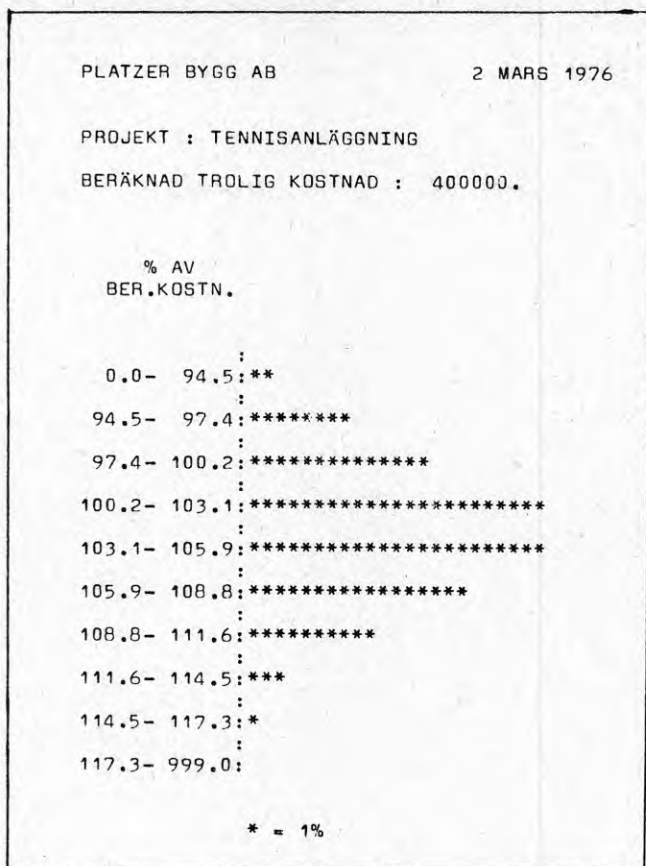


FIG 24 Resultat av simuleringen (DIAGRAM)

KOSTNADSPOSTERNAS BIDRAG TILL OSÄKERHETEN

TOTAL STANDARDAVVIKELSE = 20493.89

KOSTN.POST	MÄNGD	ST.AVVIK.
-----	-----	-----
MUR	0.0	16770.5
ÖVRIGT	150000.0	16770.5
BETONGBAND	0.0	10062.3
ÖVRIGT	100000.0	10062.3
MARKARBETEN	0.0	5590.2
ÖVRIGT	60000.0	5590.2
TRÄSKJUL	0.0	2236.1
ÖVRIGT	25000.0	2236.1

FIG 25 Utskrift av standardavvikelser
(STANDARDAVVIKELSER 4 POSTER)

Centrala gränsvärdeessatsen är tillämpbar endast då de variabler som adderas inbördes är beroende, ett villkor som ofta inte är uppfyllt i de sammanhang som här diskuterats. Hur hänsynstagande till beroende mellan kostnadsposter kan tas i RISK skall senare redovisas.

Skulle resultatet utvisa en icke acceptabel riskspridning måste en noggrannare analys av kostnadsposterna göras. I allmänhet innebär detta en finare indelning av kostnadsposterna. Det grundläggande tillvägagångssättet vid riskanalysen följer vad som skulle kunna kallas en dekompositionsprincip, d.v.s. nedbrytning av problemet i mindre element om vilka mera troligtvis är känt. Detta därför att man annars måste lösa ett problem under samtidigt beaktande av osäkerheten i ett stort antal faktorer och hur dessa osäkerheter kombineras till en enda osäkerhet.

För att illustrera detta modifieras vårt exempel enligt FIG 26.

I denna har vissa kostnadsposter uppdelats på delposterna "arbete", "material" och övrigt. Resultatet av bearbetningen framgår av FIG 27 och FIG 28.

```

FÖRETAG 'PLATZER BYGG AB'
PROJEKT 'TENNISANLÄGGNING'
DATUM '2 MARS 1976'
KOSTNADSPOSTER
'RÖJNING' TOTALT 12000 TYP 2 10000 15000
'MARKARBETEN' 1000 'M2' LÖN 40 TYP 2 30 50
    ÖVRIGT 20 TYP 2 18 24
'MUR' 150 'M3' LÖN 400 TYP 2 350 500
    MATERIAL 200 TYP 2 180 230 ÖVRIGT 400
'BETONGBANOR' 500 'M2' LÖN 50 TYP 2 45 60
    MATERIAL 100 TYP 2 80 130
    ÖVRIGT 50 TYP 2 40 70
'TRÄSKJUL' LÖN 10000 TYP 2 8000 13000
    MATERIAL 10000 TYP 2 9000 12000
    ÖVRIGT 5000 TYP 2 4000 7000
'UENTR' TOT 30000
'PLATSBKOSTNADER' TOT 23000 TYP 2 20000 25000
ENDDATA
BERÄKNA
TABELL
STANDARDVARIATIONER
SLUT
  
```

FIG 26 Modifierade indata

PROJEKT : TENNISANLÄGGNING

BERÄKNAD TROLIG KOSTNAD : 400000.

PARAMETRAR I "SIMULERINGEN" :

ANTAL EXPERIMENT : 1000

ANTAL INTERVALL : 10

ANTAL KOSTNPOSTER: 7

KOSTNAD	OBS FREK.	% AV TOT.	RISK FÖR ÖVERSKRIDANDE
382424.- 387957.	12	1.2	98.8
387957.- 393491.	37	3.7	95.1
393491.- 399025.	90	9.0	86.1
399025.- 404558.	186	18.6	67.5
404558.- 410092.	225	22.5	45.0
410092.- 415625.	205	20.5	24.5
415625.- 421159.	127	12.7	11.8
421159.- 426692.	88	8.8	3.0
426692.- 432226.	22	2.2	0.8
432226.- 437760.	8	0.8	0.0

FIG 27 Tabellerat resultat av modifierade indata

KOSTNADSPOSTERNAS BIDRAG TILL OSÄKERHETEN		
=====		
TOTAL STANDARDAVVIKELSE =		9994.37
KOSTN.POST	MÄNGD	ST.AVVIK.
-----	-----	-----
BETONGBANOR	500.0 M2	6731.5
ARBETE	50.0	1677.1
MATERIAL	100.0	5590.2
ÖVRIGT	50.0	3354.1
MUR	150.0 M3	5303.3
ARBETE	400.0	5031.2
MATERIAL	200.0	1677.1
MARKARBETEN	1000.0 M2	4669.0
ARBETE	40.0	4472.1
ÖVRIGT	20.0	1341.6
TRÄSKJUL	0.0	1466.3
ARBETE	10000.0	1118.0
MATERIAL	10000.0	670.8
ÖVRIGT	5000.0	670.8
RÖJNING	0.0	1118.0
ÖVRIGT	12000.0	1118.0
PLATSOMKOSTN	0.0	1118.0
ÖVRIGT	23000.0	1118.0
PLATSOMKOSTN	0.0	0.0
ÖVRIGT	23000.0	1118.0

FIG 28 Standardavvikelser med modifierade indata

PROBLEM VID RISKANALYS

I detta avsnitt skall diskuteras två problem som kan uppstå i samband med riskanalys enligt det förfarande som diskuterats. Ett av dessa problem är av kritisk betydelse för validiteten i riskanalysens resultat, nämligen det som berör korrelation. Det andra problemet hänger samman med själva tolkningen av resultatet.

Korrelation

Ovan har diskuterats hur man, för att bättre beskriva den osäkerhet som ett projekt är förknippat med, kan bryta ned kalkylen i allt mindre beståndsdelar. Det finns emellertid en gräns för hur långt en sådan nedbrytning kan ske. Denna gräns bestäms av korrelationen mellan olika variabler.

Korrelerade variabler är variabler som troligen kommer att samvariera på ett systematiskt sätt. Hur denna samvariation kommer till uttryck är ofta svårt att veta, även om man har en klar föreställning om hur variablerna av relaterade. Korrelation kan vara svår att identifiera men är ännu svårare att kvantifiera. Bortseende från korrelation kan emellertid resultera i ett helt felaktigt slutresultat.

Korrelationens verkan är lätt att förstå. Då oberoende variabler summeras kan effekten av en variabels variation kompenseras av variation i andra riktningar av en annan variabel. Om variablerna är positivt korrelerade kommer effekten av en variabels variation att förstärkas av korrelerade variablers variation. Korrelationen kan också vara negativ, vilket innebär att variablerna systematiskt kompensera varandras variation.

Man kan tänka sig olika sätt att tackla korrelationsproblemet på,

- begränsad nedbrytningsnivå av kalkylen. Härigenom löser man problemet genom att eliminera det. I extremfallet består kostnadsposten av hela objektet. Det finns dock en gräns för hur långt man kan gå i aggregationen av delposter.

Denna bestäms av möjligheten att skatta en sannolikhetsfördelning för kostnadspostens kostnadsutfall. Detta förfarande strider dessutom mot den dekompositionsprincip som är grundläggande för riskanalys.

- identifikation av källorna till osäkerheten. Detta innebär att man inte endast beaktar aggregationsaspekten i samband med de tekniska komponenterna utan i högre grad i osäkerheten. Osäkerheten i mängdangivelser kan exempelvis bero på vem som utfört mängdberäkningen. Det är troligt att olika mängdangivelser är positivt korrelerade. Däremot behöver ju inte korrelation förefinnas mellan enhetskostnaderna.
- känslighetsanalys. Om man misstänker att korrelation föreligger mellan två variabler men inte exakt kan kvantifiera dess inverkan kan man utföra känslighetsanalys genom att testa hur resultatet varierar med pessimistiskt resp. optimistiskt antagande om korrelationen.
- datainsamling. Det säkraste sättet att kvantifiera korrelationen på är genom statistisk analys av historiska data. Detta är emellertid både svårt och tidskrävande.

Programmet RISK kan beakta korrelation på följande sätt. Vid specifikationen av en kostnadspost kan anges att posten är beroende av en viss annan. Detta beroende kan vara såväl negativt som positivt. Specifikation av ett positivt beroende innebär att slumpvärde på den beroende variabeln bestäms med hjälp av samma slumpantal som används för att bestämma den styrande variabelns värde. Ett negativt beroende medför att det antitetiska¹⁾ slumptalet i stället används.

1) En antitetisk slumpvariabel är en variabel som har samma förväntade värde som en annan slumpvariabel men som är negativt korrelerad med denna. Om ett högt värde genereras för den ena variabeln skall ett lågt värde genereras för den andra. Detta kan åstadkommas med slumpalen x och $(1-x)$.

Då denna teknik egentligen förutsätter att slumpvariablerna följer samma fördelning måste denna möjlighet med programmet utnyttjas med försiktighet. Då samtliga kostnadsposter antas följa samma typ av fördelning och då dessa fördelningar har ungefär samma skevhet, torde emellertid tekniken äga tillfredsställande validitet.

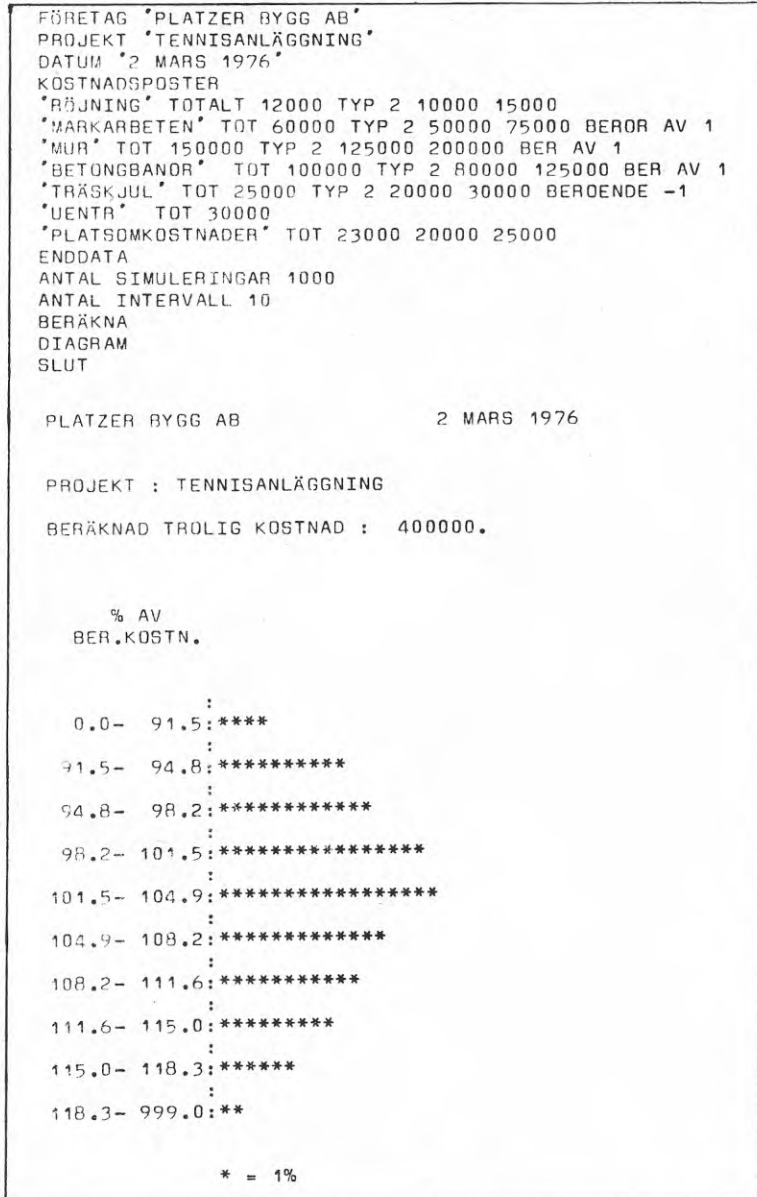


FIG 29 Resultat av simuleringen under antagande om beroenden mellan kostnadsposterna

I FIG 29 illustreras hur antaganden om beroenden påverkar resultatet i vårt tidigare exempel. I denna figur förutsättes att kostnadsposterna 2, 3 och 4 samvarierar positivt med kostnadspost 1 och att kostnadspost 5 samvarierar negativt med 1. Endast en grafisk representation av resultatet presenteras.

Tolkning av resultatet

Nyttoteori

I det tidigare har illustrerats hur riskanalysens resultat kan presenteras som en fördelningsfunktion och därmed implicit antagits att beslutsfattaren genom inspektion intuitivt kan dra slutsatser. Erfarenheterna visar emellertid att detta kan vara svårt. Det vore därför önskvärt om resultatet på något sätt kunde presenteras med ett enda värde. Detta kan åstadkommas med hjälp av nyttoteorin (utility theory), ursprungligen utvecklad av von Neuman och Morgenstern.

Tillvägagångssättet illustreras bäst med hjälp av ett exempel. I FIG 30 representeras, med hjälp av ett beslutsträd, en valsituation i vilken en beslutsfattare har att välja mellan en säker vinst B och ett "lotteri" som kan ge antingen vinsten A eller vinsten C. Det antages att $A > B$ och $B > C$ och att transitivitet gäller, d.v.s. $A > C$.

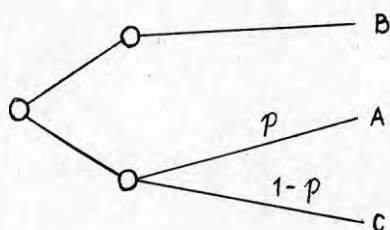


FIG 30 Risksituation som beslutsträd

Nyttoteorin säger nu att det existerar ett visst värde på sannolikheten p för vilket beslutsfattaren är indifferent mellan de två alternativen. Det är ju rimligt att antaga att om värdet på p är mycket nära 1 kommer beslutsfattaren att välja "lotteriet" och att om p är nästan noll föredrar han det säkra utfallet.

Utnyttjande av nyttoteorin såsom förutskickats innebär att vi försöker bestämma det villkor i en risksituation som skapar en indifferenspunkt. Den ekvation som representerar detta villkor är

$$U(B) = p \cdot U(A) + (1-p) U(C)$$

där $U(B)$, $U(A)$ och $U(C)$ representerar nyttan av utfallen B, A och C.

En beslutsfattares nyttofunktion kan ha olika utseende. FIG 31 illustrerar tre sådana nyttofunktioner. Sådana nyttofunktioner kan konstrueras genom att man låter en beslutsfattare värdera olika risksituationer ("Hur mycket är han villig att betala för en lott som med sannolikheten p utfaller med vinst om x kr")

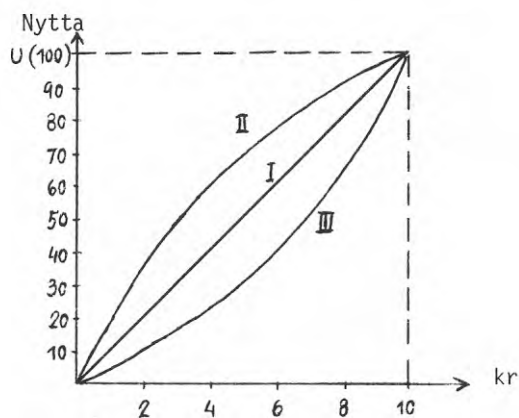


FIG 31 Tre principiellt olika nyttofunktioner

En beslutsfattare vars nyttofunktion representeras av I i FIG 31 maximerar den förväntade nyttan (EUV) samtidigt som han maximerar det förväntade utfallet mätt i penningar (EMV). En sådan beslutsfattare kan sägas vara riskindifferent.

Kurva II representerar en beslutsfattare med riskaversion. En sådan beslutsfattare skulle aldrig acceptera ett "lotteri" med 50 procents chans att vinna framför ett säkert alternativ med samma värde (i kr) som "lotteriets" EMV.

En beslutare med nyttofunktion enligt III kan karakteriseras som en "gambler". Det bör dock påpekas att samtliga tre kurvor kan karakterisera en och samma beslutsfattare under olika ekonomiska betingelser.

Exempel

Vi skall nu med hjälp av det tidigare exemplet demonstrera hur vi kan utnyttja en beslutsfattares nyttofunktion för att bestämma det värde han bör basera sitt beslut på om han vill maximera sin nytta. Vi förutsätter att entreprenören blivit erbjuden att uppföra anläggningen för en ersättning om 428.000. Samma

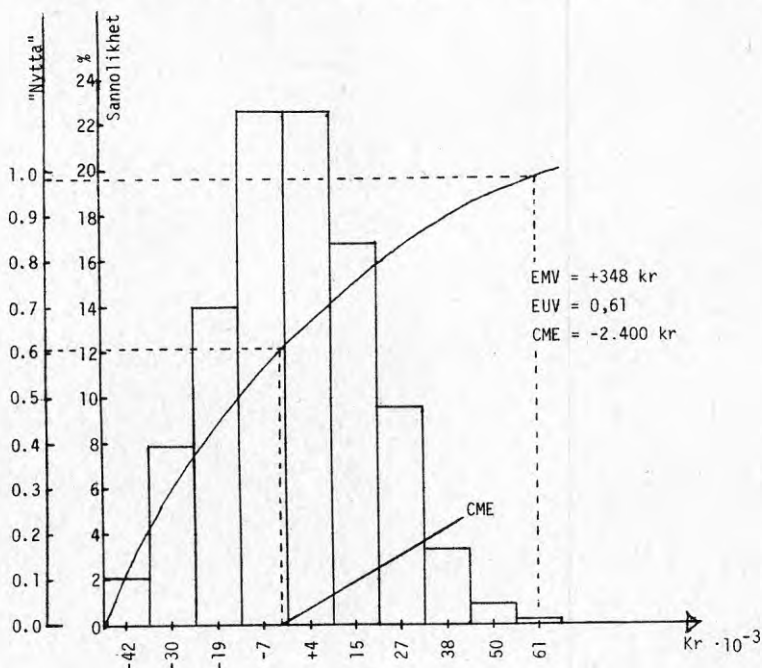


FIG 32 Sannolikheten för olika bidrag samt entreprenörens nyttofunktion

principiella resonemang kan genomföras vid anbudsgivning under konkurrens, men denna situation skulle endast ytterligare komplicera beräkningarna. Entreprenören baserar sitt beslut på det bidrag han kan erhålla från projektet, sannolikheten för detta bidrag samt på sin nyttofunktion. Dessa förutsättningar illustreras av FIG 32. Bidragens klassmitt är avrundade till jämna 1000-tals kronor.

FIG 32 omfattar all nödvändig information för att nyttovärdet, uttryckt i kronor, CME (certainly monetary equivalent), skall kunna bestämmas. Hur dessa beräkningar tillgår samt en motivering för dessa ges av Raiffa (1968).

Sannolikheten för ett bidrag om 61.000 kr är 0,2 %, vilket korresponderar mot en nytta om 0,985. På motsvarande sätt är sannolikheten för ett bidrag om 50.000 kr 0,9 % och korresponderande nytta 0,945, o.s.v. Den förväntade nyttan EUV kan beräknas till 0,61, vilket motsvarar ett CME om -2.400 kr. Detta värde är mindre än EMV vilket ju var att vänta då entreprenörens nyttofunktion visar att han har aversion mot risk.

Användbarheten av nyttoteorin på det sätt som ovan antytts har två kritiska aspekter. Är det, för det första, möjligt att konstruera preferensfunktioner av det diskuterade slaget? För det andra, kan beslutsfattaren bli övertygad av analysen? Svaret på den första frågan är ja. Detta tydliggörs i litteraturen av bl.a. Swalm (1966). Den andra frågan synes ännu vara obesvarad. Den beskrivna riskanalysmodellen har inte heller uppbyggts för nyttovärdering.

SAMMANFATTNING OCH SLUTSATSER

En kostnadskalkyl utgör alltid en gissning av ett framtida kostnadsutfall. Den traditionella kalkylen ger ingen upplysning till beslutsfattaren om hur "säker" denna kalkyl är. En datorbaserad modell, RISK, för riskanalys av en kostnadskalkyl har därför föreslagits, som baseras på enkel Monte Carlo-simulering.

Användande av modellen ger bl.a. följande fördelar,

- de troliga variationerna hos olika kostnadsposter definieras.
- ett projekts mest troliga kostnad definieras på ett mera förtroendeingivande sätt.
- flera alternativa kostnadsutfall och risken att överskrida en viss kostnad definieras.
- människorna bakom kostnads kalkylen tvingas systematiskt tänka igenom alla faktorer som påverkar kostnaderna.
- kostnads kalkylen kan genomföras på översiktligare nivå och ändå ge samma upplysning om riskerna.
- befördrar kommunikation mellan olika inblandade parter.
- ger möjlighet att beakta systematisk samvariation mellan olika kostnadsposter.

Det skall emellertid slutligen betonas att riskanalys inte är en teknik som ersätter gott omdöme. Metoden kräver detta omdöme vid utformandet av indata. Kvaliteten på output är, som i alla operationsanalytiska modeller, beroende av kvaliteten på input. GIGO ("garbage in, garbage out") är det amerikanska uttrycket för detta självklara faktum.

BUDGETSIMULERING

INLEDNING

Budgetsimulering är en teknik som på senare år kommit till användning inom en stor del av den svenska industrin. Tekniken innebär, enkelt uttryckt, inget annat än en automatisering av det traditionella budgeteringsarbetet. I allmänhet krävs heller ingen annan indata till en budgetsimuleringsmodell än den som användes för den traditionella budgeten. "Simuleringsmodellen" användes som regel för resultat- och likviditetsplanering då man är intresserad av hur ändrade förutsättningar påverkar resultat och likviditet. Karakteristiskt för en budgetsimuleringsmodell är att den snabbt kan ge svar på frågor av typen "vad händer om?".

Har då sådana budgetsimuleringsmodeller något med operationsanalys att göra?

Givetvis är avståndet stort mellan en sofistikerad optimeringsmetod och ett datorprogram som bara beräknar storheter som resultat och likviditet genom att i stort sett endast addera och subtrahera givna ingångsdata. Budgetsimulering använder inte några klassiska OA-metoder såsom matematisk programmering, sannolikhetsteori eller ens, som benämningen missvisande kan antyda, Monte Carlo-teknik. Metoden brukar ändå klassificeras som en OA-metod då den baseras på operationsanalysens grundläggande metodik, att med hjälp av en matematisk modell utvärdera konsekvenserna av olika beslutsalternativ. Gavatin (1975) diskuterar utförligare principer för konstruktion och användning av budgetsimuleringsmodeller.

Inom den svenska byggnadsindustrin synes budgetsimulering ännu ej fått någon nämnvärd tillämpning. Från utlandet finns dock ett antal rapporter som beskriver uppbyggnaden av system för främst likviditetsbudgetering. Exempel härpå är Peterman (1972) och Fondal & Bacarreza (1972). Dessa två modeller skiljer sig principiellt från varandra genom kravet på information. Medan den först nämnda modellen kräver mycket detaljerad information

kräver den sistnämnda ett minimum av information. Båda modellerna ger möjlighet att bättre överblicka likviditeten för ett byggnadsprojekt, och vad gäller den förstnämnda modellen även på företagsnivå, än vad som är fallet med traditionella manuella metoder.

"Simuleringsmodeller" för resultatbudgetering i ett byggföretag har inte återfunnits i litteraturen i samma omfattning. Vid Handelshögskolan i Stockholm har emellertid presenterats en seminarieuppsats av Jundin & Lundberg (1974) i vilken diskuteras förutsättningar för budgetsimulering i ett byggnadsföretag.

Inom ramen för föreliggande projekt har modeller utvecklats, implementerats på dator och i viss mån testats, som medger experiment med såväl likviditets- som resultatbudgetering på såväl projekt- som företagsnivån. I det följande skall dessa modeller översiktligt beskrivas.

MODELL FÖR RESULTATBUDGETERING

Bakgrund

Budgeten utgör en del av företagets styrsystem och upprättas för att förbättra totalplaneringen i företaget. Genom budgeten erhålles överskådlighet av de olika arbetsplatsernas ekonomi likaväl som av hela företagets. Budgeten revideras med jämna mellanrum. Detta sker genom att prognoser görs som ställs mot den ursprungliga budgeten.

Budget upprättas för enskilda projekt, distrikt samt för företaget som helhet. Budgeten består av långsiktsplaner (5 år) och kortsiktsplaner (1 år).

Syfte

Den modell som utvecklas skall kunna användas vid budgetuppställandet och vid de revideringar av budgeten som regelbundet göres (två prognoser per år). Modellen skall kunna presentera resultat och omsättningsutveckling för önskade kombinationer av år, distrikt och produkter. Den skall främst kunna användas

för att studera kostnads- och omsättningsförändringars påverkan på resultatet. För att möjliggöra detta måste modellen kunna arbeta på olika nivåer. De olika nivåer som är aktuella för Platzer Bygg AB framgår av FIG 33. I den fortsatta framställningen redovisas endast den del av modellen som berör företagets projektverksamhet. I FIG 33 har denna del omringats.

Möjlighet skall finnas att i modellen gå in med ingångsdata från vilken nivå som helst. En skillnad måste härvid göras mellan redan kontrakterade projekt ("projekt i order") och icke-kontrakterade projekt ("förväntade projekt").

Modell

Modellen baseras på en enkel ekvation för resultatberäkning

$$R_{ijk} = I_{ijk} - \alpha_i (k_1 S_k + k_2 M_k + k_3 D_k + k_4 K_k + k_5 T_k + k_6 P_k + k_7 KAP_k)$$

där	R	= resultat
	I	= intäkter
	α	= faktor för variation av samtliga kostnader
	k_n	= faktor för variation av kostnad enligt index
	S	= sakvaror/underentreprenör
	M	= driftmaterial
	K	= löner, kollektivanställda
	T	= löner, tjänstemän
	P	= procentpåslag
	KAP	= kapitalkostnader
	i	= index för år
	j	= " " distrikt
	k	= " " projekt

I föreliggande framställning avses modellen endast beskrivas i sina principer och det är uppenbart att den kan användas på flera alternativa sätt.

Varje projekt erhåller ett femsiffrigt projektnummer. De två första siffrorna betecknar distrikt och de tre sista ett

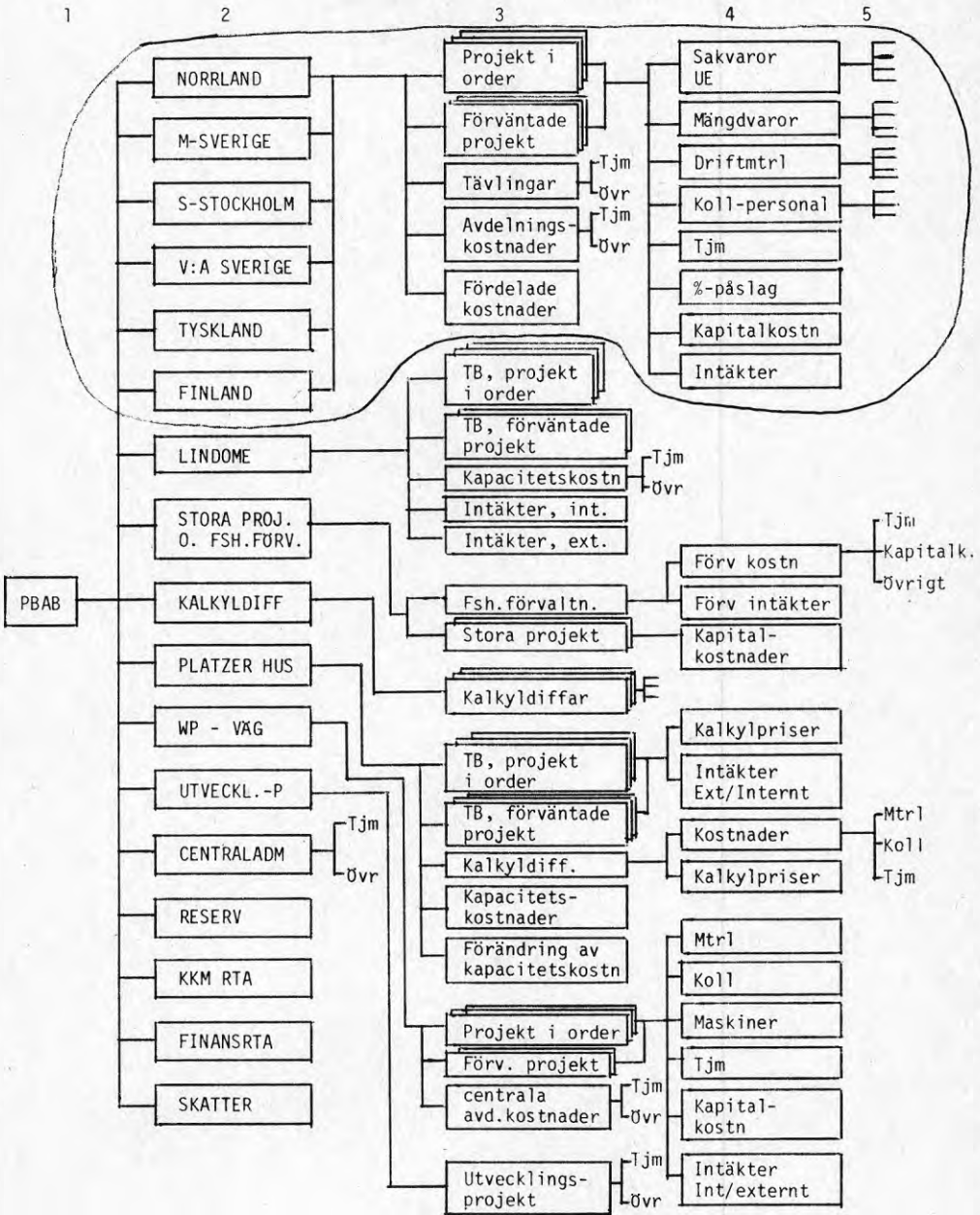


FIG 33 Budgetnivåer i Plutzer Bygg AB

löpnummer. Dessa löpnummer kan användas så att åtskillnad görs mellan projekt i order och förväntade projekt. Löpnumren kan dessutom användas så att olika projekttyper kan identifieras varigenom man inför ytterligare en nivå i modellen. Härigenom kan den kostnadsfördelning som beskrives nedan få variera med projekttyp.

Indata till modellen består förutom av projektkod av projektets kostnader. Dessa kan anges antingen uppdelade enligt ovan eller som en klumpsumma som då uppdelas av modellen. Denna uppdelning görs då beroende av projekttyp. För förväntade projekt behöver inga kostnader specificeras utan dessa kan beräknas i modellen och göras beroende av projekttyp och distrikt. De intäkter som projektet väntas ge (och tidigare har gett upphov till) användes för att fördela kostnaderna i tiden. Detta kan ske på flera sätt. Det enklaste är givetvis en fördelning av kostnaderna i proportion till intäkterna, men mera realistiska fördelningar är möjliga.

Med hjälp av modellen kan man nu simulera en förändring i de olika kostnaderna (t.ex. vad händer om virkespriserna ökar med x % ett visst år och i ett visst distrikt?). Även inverkan av förändringar i den totala prisnivån och i den förväntade omsättningen kan simuleras på samma sätt. Denna simulering, som egentligen inte är annat än en känslighetsanalys, kan göras ett upprepat antal gånger tack vare de parametrar som åsatts varje kostnadskomponent.

Datorprogram

Ett datorprogram har utarbetats anpassat för interaktiv bearbetning. För att underlätta interaktionen mellan användare och dator har utformats ett särskilt "språk" varigenom användaren enkelt kan "konversera" med datorn. Hur en sådan "konversation" kan se ut framgår av exempel enligt FIG 34 nedan.

Genom kommandot "INDATA" göres programmet klart för mottagning av indata i form av allmän budgetinformation och projektdata.

Kommandot "ENDDATA" anger att inga mer projektdata föreligger. Som framgår av FIG 34 kan projektdata anges i godtycklig ordning och omfattning. Kommandot "BERÄKNA" medför att alla nödvändiga beräkningar genomföres för att rapportering skall kunna ske. (Kostnadsfördelning och parameterjustering).

Kommandot "LISTA" ger till resultat en utskrift av alla budgeteringsförutsättningar såsom de föreligger efter nödvändiga beräkningar enligt ovan.

Genom angivande av "RESULTAT REGIONALT" erhålles nu en distriktvis resultatbudget (prognos) för föreliggande år samt planer för de kommande fyra åren. Kommandot kan kompletteras med specifikation av vissa distrikt och begränsas till godtyckliga år.

"RESULTAT TOTALT" ger budget/prognos för hela företaget. Även detta kommando kan kompletteras med distrikts- och årtalsspecifikation.

Kommandot "OMSÄTTNINGsutveckling" kan också kompletteras med distrikts- och årtalsspecifikation och ger en sammanställning av den väntade omsättningsutvecklingen för hela eller del av företaget.

Kommandot "STOPP" anger att bearbetningen avslutas. Känslighetsanalysen ("simuleringen") kan göras på olika sätt. Dels kan direkta förändringar göras i den fil som upprättats av indata. Dels, vilket är det bekvämaste och avsikten med själva modellen, genom att förändra olika parametrar. Exempel på en sådan parameterförändring är

PARAMETER ÅR 77 TJ 110

Härigenom kommer budgeteringsförutsättningarna att omräknas under antagande om 10 % ökning av tjänstemannalönerna år 1977. På liknande sätt kan övriga siffermaterial enkelt förändras.

Den konstruerade budgetsimuleringsmodellen har beskrivits endast i sina huvuddrag. Anledningen härtill är att modellen ännu inte implementerats i full skala i företaget. För närvarande pågår testning och löpande revidering av modellen.

En närmare beskrivning av datorprogrammet återfinns i BIL 2. I denna bilaga redovisas hela det konstruerade budgeterings-språket, och en schematisk beskrivning av datorprogrammet.

Exempel

I följande exempel, FIG 34, redovisas användningen av modellen. I exemplet har kommandon markerats genom inringning.

INDATA

UTF. H. BJÖRNSSON DAT 16 AUG. 1976

AR 1976

PROJEKT

74134 *STACKBRATAHNA, FURSHAGA* SAK 16084 MÄNGD 2381 DRIFT 1191
KOLL 3205 TJ 953
KAP 1651 INT 76 8600 77 12000 78 7764 BUDG 466 ;
74132 *SVANVIK* SAK 3722 MÄNGD 643 DRIFT 285 KOLL 1185
TJ 271 KAP 2440 INT 76 10197 BUDG 406 BUDG AVSL 541 ;
74135 *MELLERUD FRITIDS* SAK 457 MÄNGD 65 DRIFT 33 KOLL 72
TJ 25 INTÄKTER 76 690 BUDG 30 BUDG AVSL 30 ;
74138 *MÖLNÖDAL* SAK 663 MÄNGD 95 DRIFT 47 KOLL 104 TJ 39
INTÄKTER 76 1000 BUDG 40 BUDG AVSL 40 ;
74133 *HEIDDERHIDDAREN, ÖMB* SAK 1995 MÄNGD 285 DRIFT 127
KOLL 641 TJ 116 INT 75 40 76 2910 77 300
BUDG 135 ;
74001 *BAI BANG IV* SAK 188 INT 76 402 BUDG 213 BUDG AVSL 213 ;
74002 *BAI BANG V* SAK 1678 INT 76 2100 ;
74003 *GRÄN + LÄRK* SAK 177 MÄNGD 25 D. T. FT 13 KOLL 28 TJ 10
INT 75 60 76 176 ;
73315 *SKANSTA N.* SAK 29600 MÄNGD 4600 DRIFT 2509 KOLL 3020
TJ 2091 KAP 9163 INT 75 51983 76 1896
BUDG 30 BUDG AVSL 2000 ;
73315 *LUNDSKOLAN* SAK 4085 MÄNGD 541 DRIFT 300 KOLL 843
TJ 240 KAP -49 INT 75 2030 76 3235
BUDG 100 BUDG AVSL 300 ;
73516 *HUMLEN* SAK 4453 MÄNGD 595 DRIFT 264 KOLL 1100 TJ 198
KAP -50 INT 75 4080 76 2370 BUDG 0 ;
73225 *TALLBACKEN* SAK 6621 MÄNGD 936 DRIFT 468 KOLL 961
TJ 374 KAP 780 INT 76 10500 BUDG 266 BUDG AVSL 280 ;
73224 *PENSIONÄRSHOTELL* SAK 1126 MÄNGD 149 DRIFT 66 KOLL 265
TJ 50 KAP -15 INT 76 1975 BUDG 150 BUDG AVSL 150 ;
73226 *3 VILLOR OXELÖSUND* SAK 505 MÄNGD 73 DRIFT 36
KOLL 85 TJ 29 KAP -3 INT 76 784 ;
73227 *VILLA OXELÖSUND* SAK 276 MÄNGD 38 DRIFT 10
KAP -2 INT 76 449 ;
73810 *KISTA* SAK 1811
TJ 8069 INT 75 10000 SAK 683 MÄNGD 85 DRIFT 53 KOLL 388
BUDG 275 76 1039 BUDG 23 BUDG AVSL 41 ;
KV HÄLSEN* SAK 6301 MÄNGD 875 DRIFT 512 KOLL 2133
TJ 409 INT 76 5500 77 5455 ;
72148 *LONGOLO III* SAK 26747 MÄNGD 4153 DRIFT 2200 KOLL 10016
TJ 1838 KAP 108 INT 76 9000 77 19000 ;
72260 *KALIX LASARETT* SAK 11438 MÄNGD 1664 DRIFT 1040
KOLL 5827 TJ 837 KAP -500 INT 75 12902 76 8700 77 20548
BUDG 410 BUDG AVSL 1120 ;
72267 *PERSONALMATSAL* SAK 352 MÄNGD 53 DRIFT 23 KOLL 76
TJ 21 INT 76 260 77 300 ;
72343 *HEMAVAN* SAK 2364 MÄNGD 325 DRIFT 181 KOLL 875 TJ 156
KAP -50 INT 75 2659 76 1431 BUDG 118 BUDG AVSL 196 ;
72344 *CARLSHÖJD* SAK 6418 MÄNGD 974 DRIFT 561 KOLL 3059
TJ 459 INT 75 940 76 10160 77 950 BUDG 422 BUDG AVSL 442 ;
72345 *VINDFJÄLLET* SAK 980 MÄNGD 137 DRIFT 75 KOLL 442
TJ 68 KAP -10 INT 75 273 76 1542 BUDG 54 BUDG AVSL 104 ;
72346 *LÖSKINNET* SAK 5299 MÄNGD 951 DRIFT 495 KOLL 3400
TJ 423 KAP 30 INT 76 6500 77 4560 ;
72991 *VA, PHAB* MÄNGD 19 DRIFT 400 KOLL 400 TJ 70 INT 76 1000 ;
72992 *MAALNING, PHAB* DRIFT 200 KOLL 600 TJ 70 INT 76 1000 ;
72993 *FÖRRAD, MASKINAVD.* SAK 255 ;

ENDATA**BEPÄKNA**

FIG 34 Exempel på budgetering; indata

LISTA

FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR BUDGETERING

AKTUELLT BUDGETÅR : 76

RESULTATENHETER

.....	KOD	PRC
DISTRIKT
NOWHERE1	1	0.0
NORRLAND	72	1.2
STOR-STOCKHOLM	73	1.5
VÄSTRA SVERIGE	74	1.5
NOWHERE5	75	0.0
NOWHERE6	76	0.0
MELLAN-SVERIGE	77	1.5
NOWHERE8	78	0.0
NOWHERE9	79	0.0
NOWHERE0	0	0.0

PROJEKT

.....

PROJNR	BENÄMNING	AR	RES	S	M	D	K	TJ	%	KAP	INT
74134	STACKBRATARNAS, FO	75	2518	16084	2381	1191	7275	953	381	1651	0
		76	768	4876	721	361	971	288	115	580	8600
		77	1062	6804	1007	503	1355	403	161	698	12000
		78	693	4402	651	326	977	267	104	451	7764
		79	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		80	0	0	0	0	0	0	0	0	0
74132	SVANVIK	75	1523	3722	643	285	1185	271	128	2440	0
		76	1523	3722	643	285	1185	271	128	2440	10157
		77	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		78	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		79	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		80	0	0	0	0	0	0	0	0	0
74135	MELLERUD FRITIDS	75	29	457	55	33	72	25	9	0	0
		76	29	457	55	33	72	25	9	0	690
		77	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		78	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		79	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		80	0	0	0	0	0	0	0	0	0
74138	HÖLNÄL	75	38	653	95	47	104	39	14	0	0
		76	38	653	95	47	104	39	14	0	1000
		77	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		78	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		79	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		80	0	0	0	0	0	0	0	0	0
74173	HEIDERRIDDAREN	75	0	0	0	0	0	0	0	0	40
		76	0	0	0	0	0	0	0	0	2910
		77	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		78	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		79	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		80	0	0	0	0	0	0	0	0	0

FIG 34 (forts) Listning av förutsättningar

RESULTAT REGIONALT

PLATZER BYGG AB

H. BJÖRNSSON

16 AUG. 1976

R E G I O N :

 VERKLIGT RESULTAT RESULTAT AVSL. ARB.
 BUDGET PROG.I PROG.II BUDGET PROG.I PROG.II

NORRLAND

	76	76	76	76	76	76
HERTSÄN KV 12	512	2176	0	0	0	0
ÖRSÄN II	0	259	0	0	802	0
VALDÖSSEN	0	348	0	0	957	0
SUNDET I	74	332	0	486	403	0
SÄVAST I	243	239	0	0	261	0
ANNE LUND	564	-1352	0	0	-1352	0
MÖRBERGSGÅRDF	28	541	0	28	680	0
VÄRDÖCENTRAL	0	181	0	0	0	0
LÖNBOLO 1	148	3150	0	585	0	0
VITTANG 7SH	23	35	0	41	40	0
KV RÄLSEN	0	105	0	0	0	0
LÖNBOLO III	0	-5654	0	0	0	0
KALIX LASARETT	412	4463	0	1122	0	0
PERSONALMATSAL	0	17	0	0	0	0
HEMÅVAN	118	60	0	126	193	0
CARLSHÖJD	422	374	0	442	0	0
VINDFJÄLLFT	54	91	0	174	103	0
LOSKINNET	0	211	0	0	0	0
VA, PHAB	0	101	0	0	101	0
MAALNING, PHAB	0	120	0	0	120	0
SUMMA PROJEKT I ORDER	2226	5235	0	3002	2538	0
SUMMA FÖRV. PROJEKT	0	0	0	0	0	0
SUMMA PROJEKT I ORDER OCH FÖRVÄNTADE	2226	5235	0	3002	2538	0

PLATZER BYGG AB

H. BJÖRNSSON

16 AUG. 1976

R E G I O N :

 VERKLIGT RESULTAT RESULTAT AVSL. ARB.
 BUDGET PROG.I PROG.II BUDGET PROG.I PROG.II

NORRLAND

	77	77	77	77	77	77
HERTSÄN KV 12	1274	0	0	4395	0	0
VÄRDÖCENTRAL	334	0	0	0	0	0
LÖNBOLO 1	675	0	0	11087	0	0
KV RÄLSEN	304	0	0	673	0	0
LÖNBOLO III	-11941	0	0	-17602	0	0
KALIX LASARETT	10536	0	0	21605	0	0
PERSONALMATSAL	18	0	0	29	0	0
CARLSHÖJD	78	0	0	442	0	0
LOSKINNET	141	0	0	335	0	0
SUMMA PROJEKT I ORDER	1379	0	0	20595	0	0
SUMMA FÖRV. PROJEKT	0	0	0	0	0	0
SUMMA PROJEKT I ORDER OCH FÖRVÄNTADE	1379	0	0	20595	0	0

RESULTAT TOTALT

PLATZER BYGG AB H. BJÖRNSSON 16 AUG. 1976

B U D G E T 1976

REGION/ZENHET	VERKLIKT BUDGET 76	RESULTAT PROG. I 76	RESULTAT BUDGET 76	AVSL AR3 PROG. I 76
NORRLAND	2926	5935	3002	2539
STOR-STOCKHOLM	4324	4359	3060	3405
VÄSTRA SVERIGE	1221	2994	924	2173
MELLAN-SVERIGE	2210	1676	4765	1352
KALKYLÄSSIGT RÖRELSERESULTAT	10921	***	17951	9474

PLATZER BYGG AB H. BJÖRNSSON 16 AUG. 1976

B U D G E T 1976

REGION/ZENHET	VERKLIKT PLAN 77	RESULTAT PLAN 77	AVSL AR3 PLAN 77
NORRLAND	1379		20595
STOR-STOCKHOLM	4395		0
VÄSTRA SVERIGE	1075		30
MELLAN-SVERIGE	1641		665
KALKYLÄSSIGT RÖRELSERESULTAT	8490		21300

FIG 34 (forts) Resultatbudget företaget

OMSÄTTNINGsutveckling

OMSÄTTNINGsutveckling
 PLATZER BYGG AB H. BJÖRNSSON 16 AUG. 1976
 (TKP, LÖPANDE PRISER)

	PÅGÅENDE ORDER				
	76	77	78	79	80
NORRLAND	122651	75864	12800	0	0
STOR-STOCKHOLM	88928	90700	85100	43200	0
VÄSTRA SVERIGE	26075	12300	7764	0	0
MELLAN-SVERIGE	43080	30500	10200	0	0
SUMMA :	287734	208664	115764	43200	0

OMSÄTTNINGsutveckling
 PLATZER BYGG AB H. BJÖRNSSON 16 AUG. 1976
 (TKP, LÖPANDE PRISER)

	FÖRVÄNTADE ORDER				
	76	77	78	79	80
NORRLAND	0	0	0	0	0
STOR-STOCKHOLM	0	0	0	0	0
VÄSTRA SVERIGE	0	0	0	0	0
MELLAN-SVERIGE	0	0	0	0	0
SUMMA :	0	0	0	0	0

OMSÄTTNINGsutveckling
 PLATZER BYGG AB H. BJÖRNSSON 16 AUG. 1976
 (TKP, LÖPANDE PRISER)

	PÅGÅENDE OCH FÖRVÄNTADE ORDER				
	76	77	78	79	80
NORRLAND	122651	75864	12800	0	0
STOR-STOCKHOLM	88928	90000	85000	43200	0
VÄSTRA SVERIGE	26075	12300	7764	0	0
MELLAN-SVERIGE	43080	30500	10200	0	0
SUMMA :	287734	208664	115764	43200	0

STOPP

FIG 34 (forts) Omsättningsutveckling, företagsnivå

MODELLER FÖR LIKVIDITETSBUDGETERING

Bakgrund

Den finansiella kapaciteten utgör ofta trång sektion i ett entreprenadföretag. Då verksamheten huvudsakligen är projektorienterad hänförs behovet av likvida medel i första hand till individuella projekt. Den samlade betalningsströmmen i företaget sammansätts av betalningsströmmar från olika entreprenader varför det är uppenbart att ett gynnsamt förlopp av in- och utbetalningar på projektnivå har ett fördelaktigt inflytande på företagets totala likviditet.

Behovet av likvida medel för ett speciellt projekt har inget direkt samband med projektets beräknade lönsamhet. Intäkter och kostnader uppträder kontinuerligt, FIG 35.

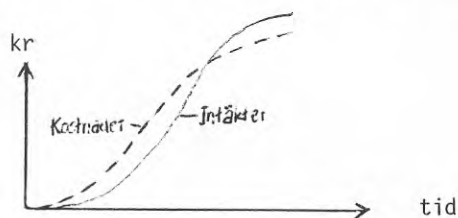


FIG 35 Värde- resp. kostnadsförlopp

Dessa intäkter och kostnader omsättes emellertid inte kontinuerligt. Ut- och inbetalningar sker på diskret basis och vanligen inte med samma frekvens. Normalt kanske intäkter erhålles i form av inbetalningar på månadsbasis med viss fördröjning (fakturering) och utbetalning för kostnader sker efter andra regler, FIG 36.

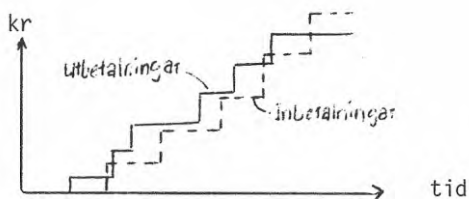


FIG 36 In- och utbetalningsförlopp

Normalt är det endast vid två tillfällen som intäkter och inbetalningar resp. kostnader och utbetalningar är av samma storlek, nämligen före byggstart och då bygget färdigställt och alla betalningstransaktioner avslutats. Mellan dessa två tidpunkter behöver inget samband mellan projektets lönsamhet och behovet av likvida medel föreligga, FIG 37.

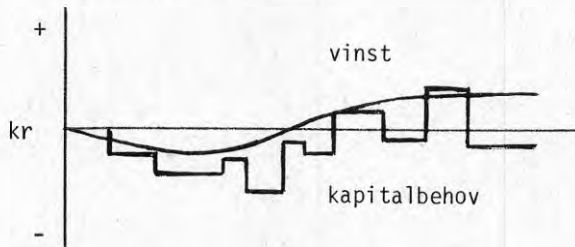


FIG 37 Förhållande mellan kapitalbehov och lönsamhet

Sedan olika projekts betalningsströmmar analyserats kan dessa kombineras med företagets övriga betalningsåtaganden för att ge den totala likviditetsbilden för en given planeringsperiod.

Med hjälp av en analys av betalningsströmmarna kan man bedöma företagets likvida ställning nu och i framtiden. Man kan därigenom styra företagets aktiviteter på sådant sätt att de finansiella restriktionerna ej överträdes. Detta har annars varit en vanlig orsak till konkurser inom byggnadsbranschen.

Syftet med analys av betalningsströmmarna kan variera. För en enstaka entreprenad krävs analysen för beräkning av kostnaderna för erforderligt driftskapital och för löpande kontroll av entreprenadens förlopp. På flerprojektnivå eller företagsnivå kan analysen användas som underlag för förhandlingar om betalningsvillkoren för entreprenader varvid hela företagets likviditetssituation kan överblickas. I det följande skall diskuteras två modeller för likviditetsbudgetering i ett byggföretag. Den första av dessa modeller kännetecknas av stor "datahunger" medan den andra modellen kräver ett minimum av information. Båda modellerna kan, med den tidigare vida tolkningen av begreppet,

karaktäriseras som simuleringsmodeller då de enkelt kan besvara ett flertal frågor av typen "vad händer om...?"

Detaljerad modell

För styrning av byggprojekt ligger det nära till hands att kasta blickarna mot nätplaneringsmetoder som CPM, PERT m. fl. Den modell som presenteras i detta avsnitt utgör en submodell till en befintlig nätplaneringsmodell, PlanSIM (Björnsson, 1975). Från denna senare modell erhålles den tidplan som ligger till grund för likviditetsberäkningen. Övriga indata till beräkningarna utgöres av inbetalningsplan, utbetalningsplan för olika kostnadskomponenter samt en aktivitetsorienterad kostnadsberäkning. Delar av kostnadsberäkningen kan också erhållas från PlanSIM.

I det första steget av modellen, som utgöres av två separata datorprogram, utföres analys av de betalningsströmmar som de enskilda projekten ger upphov till. I modellens andra steg sammanställs dessa betalningsströmmar till en nettoström för hela företaget. För detta ändamål krävs ytterligare indata i form av företagets övriga betalningsåtaganden (administration mm).

Projektnivå

Den modell som här översiktligt presenteras är en modifiering av den modell som presenterats av Peterman (1972). De indata som modellen kräver framgår av FIG 38. Vissa av dessa indata kan lagras som standardvärden i modellen och behöver således inte upprepas vid varje ny beräkningsomgång. Dessutom finns ytterligare företagsspecifik information ständigt lagrad i datorprogrammet.

Modellen möjliggör känslighetsanalys av ett projekts betalningsströmmar genom variation av diverse betalningsparametrar som framgår av FIG 38. De parametrar som hänför sig till dimensionen tid uttrycks i veckor. Vad beträffar utbetalning av arbetslöner beskrives denna av en tvåsiffrig kod. Den första siffran anger härvid utbetalningsfrekvensen och den andra siffran anger frekvensen för mätning av utfört arbete. I det hypotetiska exemplet

PLATZER BYGG AB SWEDEN 16 NOV.1975
 PFOJKT : 99999 BCSTAD SOMPADE

REPÄKNINGSFÖRUTSÄTTNINGAR :

LÖNEFORM	26
BETALNINGSFÖRDRÖJN.	1
MATERIAL	1
UNDERENTR.	1
ÖVRIGT	1
LÖBEHÄLN.BEST.	1
INNEHÄLLES AV UE	0.1
SLUTBETALNING AV UE	0.6
INNEHÄLLES AV BEST	0.1
FÖRSTA FAKTURERING	1
FAKTURERINGSFREKVEN	1
ÄRLIG INDEXSTEGRING	12
RED.LÖNEUTRETALN.	8C

AKTIVITETSDATA

KONTO	BENÄMNING	MÅNGD	ENH.PRIS	ENH	ARBETE	MTRL	ENHETSKOSTNADER	ÖVR	MASK	START	SLUT
100	GATOR	100.00	25.00	%	0.0	0.0	20.00	0.0	0.0	6.00	6.50
150	SCHAKTNING	100.00	120.00	%	0.0	0.0	100.00	0.0	0.0	0.50	1.50
200	GJUTNING	100.00	885.00	%	400.00	250.00	0.0	50.00	0.0	2.00	4.00
210	TRÄARBETEN	100.00	560.00	%	0.0	0.0	490.00	0.0	0.0	3.00	5.00
300	STÅLSOMME	100.00	680.00	%	0.0	0.0	620.00	0.0	0.0	4.00	6.00
400	GOLVLAGGN.	100.00	140.00	%	60.00	40.00	180.00	0.0	0.0	2.00	3.00
500	TAKLAGGN.	100.00	210.00	%	14.00	20.00	0.0	0.0	0.0	5.00	6.00
510	DÖRRAR,KÄRM,	100.00	40.00	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.50	7.00
520	SMIDESARB.	100.00	21.00	%	0.0	18.00	0.0	0.0	0.0	6.00	7.00
530	GLASNING	100.00	144.00	%	0.0	0.0	120.00	0.0	0.0	7.00	8.00
600	MALNING	100.00	82.00	%	0.0	45.00	0.0	0.0	0.0	1.00	8.00
700	SPFC.ARBETEN	100.00	65.00	%	15.00	0.0	190.00	0.0	0.0	3.00	8.00
810	PLATSLAGNING	100.00	230.00	%	0.0	0.0	550.00	0.0	0.0	1.00	7.50
820	VENTILATION	100.00	720.00	%	0.0	0.0	540.00	0.0	0.0	0.0	1.00
830	EL.INST.	100.00	600.00	%	0.0	0.0	0.0	40.00	0.0	0.0	8.00
9100	FÖRSÄKRINGAR	100.00	0.0	%	150.00	0.0	0.0	90.00	0.0	0.0	8.00
9200	ARBETSLEDN.	100.00	0.0	%	0.0	0.0	0.0	0.0	40.00	7.00	8.00
9300	MASKINER ETC	100.00	0.0	%	0.0	0.0	50.00	0.0	0.0	7.00	8.00
9400	STÄDNING	100.00	0.0	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.00	8.00

FIG 38 Utskrift av förutsättningar för likviditetsberäkning

i FIG 38 betecknar sålunda löneform 26 14-dagarslön med mätning var sjätte vecka. Vid löneutbetalning då mätning ej skett utgår enligt exemplet 80 % av utfört arbete. Övriga parametrar för simuleringen framgår av FIG 38 och torde ej erfordra närmare förklaring.

Det aktuella projektet beskrives i en aktivitetsförteckning enligt FIG 38. Några av de ingående dataposterna kräver en kommentar.

Modellen är konstruerad för simulering av såväl fast-pris- som mängdkontrakt. För mängdkontrakt antages mängden 100 % för varje ingående aktivitet medan för fast-priskontrakt den uppskattade verkliga mängden anges. Enhetspriserna för fast-priskontrakt kan antingen specificeras eller beräknas med hjälp av ett enhetligt procentpåslag för samtliga aktiviteter.

Enhetskostnaden för maskiner är den beräknade interndebiteringen för olika tjänster.

Aktivitetstiderna anges med sina beräknade start- resp. färdigtidpunkter. Dessa tider anges i månader. En aktivitet som startar i början av vecka 7 får i modellen härigenom starttiden 1,5.

Med hjälp av den beskrivna informationen kan man nu göra en detaljerad analys av resulterande betalningsströmmar. Ett antal rapporter kan produceras varvid den viktigaste är den som framgår av FIG 39. Förutom denna detaljerade analys av olika in- och utbetalningar i tiden kan en känslighet göras av hur kostnaderna för att finansiera projektet varierar med finansieringsränta. Resultatet av en sådan känslighetsanalys framgår av FIG 40.

Förutom de rapporter som redovisats ovan kan produceras grafisk projekttidplan, intäkts- resp. kostnadsanalyser (utvisande kostnaden resp. intäkters fördelning över tiden), grafisk framställning av netto-betalningsström från projektet samt en projektsammanfattning enligt FIG 41.

BETALNINGSSTRÖMMAR FÖR PROJEKTET

PERIOD VECKA	PER. INBET.	ACUM. INBET.	KOLL.MN	MATERIAL	UTBETALNINGAR UTBETH.	UTBETH. UTBETH.	ÖVR.	TOTALI	ACK.UTBET.	SALDO	INTERNT	SKATE- PLIKT	SOCIALA AVGIFTER
1	0	0	0	0	0	0	64	64	64	-64	125	0	0
2	0	0	225	0	0	64	64	289	353	-353	250	150	150
3	0	0	0	0	0	85	149	54	542	-542	375	0	0
4	0	0	2650	104	0	85	2239	2781	2781	-2781	500	1367	1367
5	20475	20475	3650	104	0	35	139	2920	2920	-2920	625	0	0
6	0	20475	0	4082	6000	35	19408	22328	22328	-22328	750	2433	2433
7	0	20475	3650	104	0	35	139	22467	22467	-1992	875	9	9
8	0	0	0	104	0	35	3789	26256	26256	-5781	1000	2411	2411
9	0	20475	0	159	0	35	164	26420	26420	-5945	1125	0	0
10	41415	61890	3818	8056	12020	2687	27471	53891	53891	7999	1550	2545	2545
11	0	61890	0	129	0	35	164	54055	54055	7835	1375	0	0
12	0	61890	3986	129	0	35	4150	58205	58205	3685	1500	2657	2657
13	66615	61890	0	121	0	35	156	58361	58361	3525	1625	0	0
14	0	128505	3890	9937	31970	2687	48484	106845	106845	21660	1750	2593	2593
15	0	128505	0	17	0	14	31	106876	106876	21620	1875	0	0
16	0	128505	930	17	0	14	961	107836	107836	20668	2000	620	620
17	0	128505	0	17	0	14	31	107867	107867	20636	2125	0	0
18	57500	226004	930	5242	71570	1874	79016	187483	187483	38521	250	620	620
19	0	226004	0	17	0	14	961	187514	187514	38491	2375	0	0
20	0	226004	930	17	0	14	31	188474	188474	37530	2500	620	620
21	0	226004	0	34	0	14	48	188522	188522	37482	2625	0	0
22	71067	297071	978	1301	59780	1083	63141	251664	251664	45407	2750	652	652
23	0	297071	0	34	0	14	48	251712	251712	45359	2875	0	0
24	0	297071	1026	34	0	14	1074	252786	252786	44285	3000	684	684
25	0	297071	0	0	0	14	14	252800	252800	44271	325	0	0
26	44949	342020	450	2597	34040	1083	38169	290933	290933	51051	3370	300	300
27	0	342020	0	0	0	14	14	290933	290933	51051	3370	300	300
28	0	342020	450	0	0	14	464	291448	291448	50572	3500	300	300
29	0	342020	0	56	0	14	70	291518	291518	50502	3625	0	0
30	35349	377369	630	56	31295	1083	33054	324532	324532	52787	3750	420	420
31	0	377369	0	56	0	14	70	324652	324652	52717	3875	0	0
32	0	377369	810	56	0	14	880	325532	325532	51836	4000	540	540
33	0	377369	0	0	0	106	0	325532	325532	51830	4000	0	0
34	2961	406980	0	4275	25930	106	31280	356812	356812	50167	4000	0	0
35	0	406980	0	0	0	0	0	356812	356812	50167	4000	0	0
36	0	406980	0	0	0	0	0	356812	356812	50167	4000	0	0
37	0	406980	0	0	0	0	0	356812	356812	50167	4000	0	0
38	0	406980	0	0	0	0	0	356812	356812	50167	4000	0	0
39	0	406980	0	0	0	0	0	356812	356812	50167	4000	0	0
40	0	406980	0	0	0	0	0	356812	356812	50167	4000	0	0

FIG 39 Betalningsströmmar för projektet

FINANSIERINGSKOSTNADER *****	
RÄNTEFOT	BELÖPP
6.0	25.58
7.0	29.85
8.0	34.11
9.0	38.37
10.0	42.64
12.5	53.30
15.0	63.96
17.5	74.62
20.0	85.28

FIG 40 Känslighetsanalys av finansieringskostnaderna

SAMMANFATTNING AV PROJEKTET		SID. 9
INTÄKTER		KR 452200.00
KOSTNADER :		
A. ARBETE	KR 28402.96	
B. MATERIAL	KR 36899.94	
C. U-ENTREPPENADER	KR 303899.81	
D. ÖVRIGT	KR 17999.98	
TOTALT		387202.62
PROJEKTGENFERRADE MEDEL		KR 64997.37
INTERNDERITERINGAR :		
A. MASKINER		4000.00
BIDRAG FRÅN PROJEKTET		KR 60997.37

FIG 41 Projektsammanfattning

FÖRETAG: PLATZER BYGG AB DATUM: 16 NOV. 1975 SID. 1

LIKVIDANALYS, FÖRETAGSNIVÅ

PROJEKT INFORMATION: START SLUT ANBUJ BIDRAG
 PROJNR BENÄMN. 1234 HÖSTADSOVR. 12 NOV 75 3 JUNI 75 452200 60997

AKKUMULERADE BETALNINGSSTRÖMMAR

VECKA	BETALN. ÖVR.	BETALN.-STRÖMMAR FRÅN PROJEKT (TUSEN KR)												SUMMA			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
1	-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	-10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	-15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	-20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	-25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	-30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	-35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	-40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	-45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	-50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	-55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	-60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	-65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	-70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	-75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	-80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	-85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	-90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	-95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	-100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	-105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	-110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	-115	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	-120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	-125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	-130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	-135	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	-140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	-145	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	-150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	-155	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	-160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	-165	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	-170	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	-175	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	-180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	-185	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	-190	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	-195	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	-200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41	-205	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
42	-210	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

FIG 42 Betalningsströmmar, företagsnivå

Företagsnivå

I modellens andra steg summeras samtliga betalningsströmmar i företaget, d.v.s. dels de som olika projekt direkt givit upphov till, dels sådana som av centraladministration och annan verksamhet. (Utbetalningar för skatt på arbetslöner och för sociala avgifter fås ur modellens första steg men fördelas korrekt i tiden först i andra modellsteget).

Utseendet av en total likviditetsanalys framgår av FIG 42. Rapporten kan också presenteras grafiskt.

Överslagsmodell

I detta avsnitt skall beskrivas en modell som är betydligt enklare att använda än den som beskrivits ovan. Modellen kräver ingen upprättad tidplan eller produktionskalkyl, varför den kan användas i tidiga anbudsskeden.

I stället för exakta data arbetar modellen med approximativa grafer av värde- och kostnadsförlopp på vilka appliceras bestämda ut- och inbetalningsförhållanden. Systemet beskrives kortfattat i det följande och exemplifieras med en enkel datorkörning.

Modellen kräver följande information.

1. Allmän projektdata
Byggstart, byggtid, kontraktssumma och totalkostnad
2. Intäktsdata
Värdeförlopp och inbetalningskaraktäristika
3. Kostnadsdata
Kostnadsförlopp och utbetalningskaraktäristika

I stället för att basera värde- och kostnadsförlopp på en detaljerad nätplan beskrives dessa med enkla profiler enligt FIG 43.

Ack.
värde/kostn.

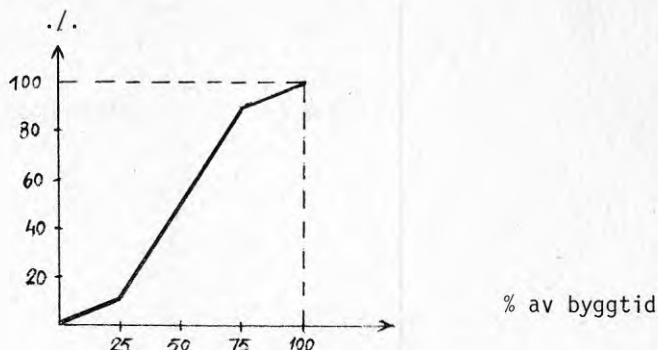


FIG 43 Värde/kostnadsprofil

Förloppen definieras sålunda fullständigt med hjälp av tre segment vilka kan specificeras med koordinaterna för två brytpunkter. Sålunda representerar profilen i FIG 43 ett fall då 10 % av kostnaderna/värdet uppkommit efter 25 % av den totala byggtiden och 90 % efter 75 % av tiden.

På basis av ett antal verkliga "historiska" byggnadsentreprenader har standardiserade profiler upprättats för olika projekttyper. Dessa profiler kan lagras i det utvecklade datorprogrammet och därigenom förenkla dataspecifikationen för den enskilda simuleringen.

Approximation av värde/kostnadsförlopp med hjälp av kurvor med högst två brytpunkter innebär enligt de undersökta projekten ingen större felkälla. Denna slutsats grundar sig på en visuell betraktelse av historiska data samt på en känslighetsanalys av specifikationen av brytpunkterna.

Inbetalnings- resp. utbetalningskaraktistika utgöres av information om faktureringsplaner, kredittider samt om belopp som innehålles av beställaren. I sitt nuvarande skick kan modellen inte hantera flera projekt samtidigt men datorprogrammet kan enkelt modifieras så att även detta möjliggöres. Den information som kan erhållas från modellen utgöres av olika rapporter utvisande betalningsströmmar samt information om finansieringskostnader för projektet vid olika räntesatser. I ett mera utbyggt skick

skall även grafisk representation av betalningsströmmarna kunna presenteras. Likaledes skall analysen kunna genomföras på företagsnivå.

Exempel

Modellen skall nu demonstreras med ett enkelt hypotetiskt exempel enligt FIG 45 nedan som representerar en fysisk datorkörning. Kostnaderna har i detta exempel för enkelhetens skull antagits bestå endast av kostnader för underentreprenör, material och löner. Utbetalningar som orsakas av kostnader för sociala avgifter, skatter, centraladministration, maskiner etc. följer speciella regler och har inte medtagits även om detta vore möjligt. Vid simulering utnyttjas i en första simulering endast standardiserade värde/kostnadsprofiler och utbetalningskaraktäristika.

Datorprogrammet som är utvecklat för interaktiv databehandling ("konversation") ger möjlighet att under pågående körning modifiera beräkningsförutsättningarna. Härigenom kan enkelt flera simuleringsexperiment genomföras som ger svar på frågan "vad händer om vi ändrar den eller de parametrarna?". Ett exempel på en sådan fråga är "vad händer om beställarens kredittid förlänges x veckor?".

Möjligheten att förändra information illustreras i FIG 45 i ett andra simuleringsexperiment.

Indata till modellen har i figuren markerats genom att de omringats av rektanglar.

Exemplet omfattar likviditetsberäkning för en entreprenad för vilken kontraktsumma är 220.000 kr och den totala tillverkningskostnaden 200.000 kr. Den totala byggtiden är 14 veckor med byggstart vecka 10.

Betalning för entreprenaden sker efter betalningsplan. Denna har upprättats på basis av följande förutsättningar.

Fakturerings sker månadsvis, med start vecka 13. Fortlöpande innehålles 10 %. Beställaren har en månads kredittid.

I den första simuleringsomgången antages ingen förskottsbe-
talning utgå, medan sådan utgår med 5 % av kontraktsumman i det
andra experimentet.

I den första simuleringsomgången utnyttjas standardiserade
kostnadsandelar, kostnads-/värdeförlopp samt utbetalnings-
karaktteristika.

I den andra simuleringsomgången gäller följande förutsättningar.

Arbetet skall bedrivas på sådant sätt att kostnaderna respektive
Värdet av utfört arbete uppgår till belopp enligt följande tablå
(tkr).

	Vecka 12	14	16	18	20	22	24
Tillverknings- kostnad	10	25	50	100	150	175	200
Värde	11	27,5	55	110	165	195	220

Av tillverkningskostnaderna utgör 60 % kostnader för material.
Materialleverantörerna fakturerar i genomsnitt två veckor efter
leverans och kredittiden är 4 veckor. För övriga tillverknings-
kostnader gäller att utbetalningsmomentet är två veckor för-
skjutet i förhållande till kostnadsmomentet.

Specifikationen av värde- respektive kostnadsförlopp sker i
andra simuleringsomgången med ledning av FIG 44 upprättad på
basis av ovanstående tablå.

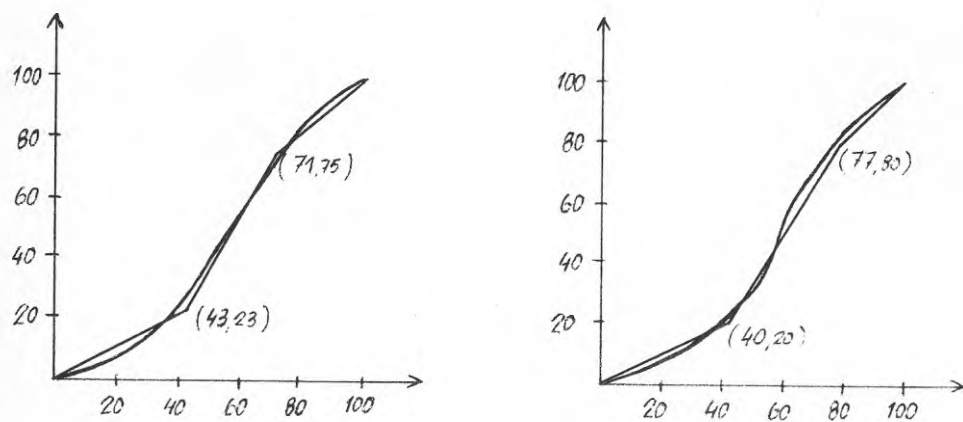


FIG 44 Värde- (a) respektive kostnadsförlopp (b) för exempel

RUN CBCASH

BYGGSTART (VECKA) OCH BYGGTID (VECKOR)

210 14

KONTRAKTSUMMA OCH SJÄLVKOSTNAD

2220000 200000

STAND. VÄRDEFÖRLOPP ?

?JA

FAKTURERINGSFREKV., 1:A FAKTURERING (VECKA),
KREDITTID (VECKOR) OCH FÖRSKOTT (%)

4 13 2 0

INREKALLS AV BELT. (%) OCH VILKA FÖR BELT LÄMNA

.10 30

STAND. KOSTNADSANDELAR ?

?JA

STAND. KOSTNADSFÖRLOPP ?

?JA

STAND. BETALNINGSFÖRFARANDE ?

?JA

UTSKRIFT AV BETALNINGSTRÖMMAR ?

?JA

VECKA	ACKUM VARDE	ACKUM KOSTN	UTBET	ACKUM UTBET	INBET	ACKUM INBET	NETTO	ACKUM NETTO
10	6285	8571	0	0	0	0	0	0
11	12571	17142	5142	5142	0	0	-5142	-5142
12	18857	25714	2571	7714	0	0	-2571	-7714
13	34571	40714	9642	17357	0	0	-9642	-17357
14	59714	62142	2571	19928	0	0	-2571	-19928
15	84857	83571	17357	37285	31114	31114	13757	-6171
16	109999	105000	22714	59999	0	31114	-22714	-28885
17	135142	126428	19285	79285	0	31114	-19285	-48171
18	160285	147857	6428	85714	0	31114	-6428	-54599
19	185428	169285	19285	104999	90514	121628	71228	16628
20	201142	182857	40714	145714	0	121628	-40714	-24085
21	207428	188571	12214	157928	0	121628	-12214	-36300
22	213714	194285	4071	161999	0	121628	-4071	-40371
23	219999	199999	5142	167142	65057	186685	59914	19542
24	219999	199999	26571	193714	0	186685	-26571	-7028
25	219999	199999	1714	195428	0	186685	-1714	-8742
26	219999	199999	0	195428	0	186685	0	-8742
27	219999	199999	0	195428	11314	197999	11314	2571
28	219999	199999	4571	199999	0	197999	-4571	-2000
29	219999	199999	0	199999	0	197999	0	-2000
30	219999	199999	0	199999	22000	220000	22000	20000

FIG 45 Likviditetssimulering, exempel 1

UTSKRIFT AV SPEC. UTBETALNINGAR?

JA

*****UTBETALNINGAR*****

VECKA	LÖNER	MATERIAL	UENTR	ÖVR1	ÖVR2
10	0	0	0	0	0
11	5142	0	0	0	0
12	0	2571	0	0	0
13	7071	2571	0	0	0
14	0	2571	0	0	0
15	12857	4499	0	0	0
16	0	6428	16285	0	0
17	12857	6428	0	0	0
18	0	6428	0	0	0
19	12857	6428	0	0	0
20	0	6428	34285	0	0
21	5785	6428	0	0	0
22	0	4071	0	0	0
23	3428	1714	0	0	0
24	0	1714	24857	0	0
25	0	1714	0	0	0
26	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0
28	0	0	4571	0	0
29	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0

BERÄKNING AV FINANSIERINGSKOSTNADER ?

JA

ANGE INKOMST- RESP UTGIFTSRÄNTA (%)

5 12

INKOMSTRANTA:	56
UTGIFTRANTA :	-732
<hr/>	
	-675

NYA RÄNTESATSER ?

JA

ANGE INKOMST- RESP UTGIFTSRÄNTA (%)

0 10

INKOMSTRANTA:	0
UTGIFTRANTA :	-610
<hr/>	
	-610

NYA RÄNTESATSER ?

NEJ

NY KÖRNING MED ANDRA FÖRUTSÄTTNINGAR ?

JA

ANGE VILKEN TYP AV DATA SOM SKALL FÖRÄNDRAS

1 = BYGGSTART, BYGGTID, KONTRAKTSUMMA ELLER SJALVKOSTNAD

2 = VARDEFÖRLOPP OCH/ELLER INBETALNINGSPÅN

3 = KOSTNADS- OCH/ELLER UTBETALNINGSKARAKTERISTIKA

22

STAND. VÄRDEFÖRLOPP ?

NEJ

SPEC. KOORDINATER FÖR BRYTPUNKTER (4 VÄRDEN)

743 23 71 75

FAKTURERINGSFREKV., 1:A FAKTURERING (VECKA),

KREDITTID (VECKOR) OCH FÖRSKOTT (%)

74 13 2 5

INNEHÅLLES AV BEST. (%) OCH VECKA FÖR SLUTLIKVID

10 30

SKALL ANNAN TYP AV DATA MODIFIERAS ?

JA

ANGE DATATYP

23

STAND. KOSTNADSANDELAR ?

NEJ

%-ANDEL AV TOTALA KOSTNADERNA AV

KOLL, LÖN, LÖNEOMK., MTRL, UE, PO, MASK, CA, ÖVR1, ÖVR2

20 0 60 0 0 0 0 40 0

STAND. KOSTNADSFÖRLOPP ?

NEJ

NR: 2=LÖN, 3=LÖNEOMK, 4=MTRL, 5=UE, 6=PO, 7=MASK

8=CA, 9=ÖVR1, 10=ÖVR2

SPEC. KURVA M.H.A. NR OCH BRYTPUNKTER

74 40 20 77 80

FLER NYA KOSTNADSPROFILER ?

JA

SPEC. KURVA M.H.A. NR OCH BRYTPUNKTER

29 40 20 77 80

FLER NYA KOSTNADSPROFILER ?

NEJ

STAND. BETALNINGSFÖRFARANDE ?

NEJ

VILKEN KOSTNADSPOST SKALL ÄNDRAS ?

(2=LÖNER ETC); OM INGEN ÄNDRING ANGE 11

24

BET.FREKV. O KREDITTID, MATERIAL

22 4

VILKEN KOSTNADSPOST SKALL ÄNDRAS ?

(2=LÖNER ETC); OM INGEN ÄNDRING ANGE 11

29

BET.FREKV. O KREDITTID, ÖVRIGT 1

21 2

VILKEN KOSTNADSPOST SKALL ÄNDRAS ?

(2=LÖNER ETC); OM INGEN ÄNDRING ANGE 11

211

SKALL ANNAN TYP AV DATA MODIFIERAS ?

NEJ

UTSKRIFT AV BETALNINGSTRÖMMAR ?

JA

FIG 45 (forts) Likviditetssimulering, exempel 2

VECKA	ACKUM VARDE	ACKUM KOSTN	UTBET	ACKUM UTBET	INBET	ACKUM INBET	NETTO	ACKUM NETTO
10	8405	7142	0	0	11000	11000	11000	11000
11	16810	14285	0	0	0	11000	0	11000
12	25215	21428	2857	2857	0	11000	-2857	8142
13	33621	28571	2857	5714	0	11000	-2857	5285
14	42026	35714	2857	8571	0	11000	-2857	2428
15	50431	49266	11428	19999	28746	39746	17317	19746
16	79199	72432	2857	22857	0	39746	-2857	16889
17	108383	95598	13992	36849	0	39746	-13992	2896
18	137567	118764	9266	46115	0	39746	-9266	-6369
19	165812	141930	21683	67799	63921	103668	42238	35868
20	179359	162732	9266	77065	0	103668	-9266	26602
21	192906	175155	37065	114131	0	103668	-37065	-10463
22	206453	187577	8320	122452	0	103668	-8320	-18784
23	219999	199999	32768	155220	72266	175934	39498	20714
24	219999	199999	4968	160189	0	175934	-4968	15745
25	219999	199999	24903	185093	0	175934	-24903	-9158
26	219999	199999	0	185093	0	175934	0	-9158
27	219999	199999	14906	199999	23165	199099	8258	-900
28	219999	199999	0	199999	0	199099	0	-900
29	219999	199999	0	199999	0	199099	0	-900
30	219999	199999	0	199999	20900	220000	20900	20000

UTSKRIFT AV SPEC. UTBETALNINGAR?

NEJ

BERÄKNING AV FINANSIERINGSKOSTNADER ?

JA

ANGE INKOMST- RESP UTGIFTSRÄNTA (%)

INKOMSTRANTA: 188
 UTGIFTRANTA : -108

79

NYA RÄNTESATSER ?

NEJ

NY KÖRNING MED ANDRA FÖRUTSÄTTNINGAR ?

NEJ

EXEKVERINGEN AV CASH AVSLUTAD

-

IMPLEMENTERING AV OPERATIONSANALYS

IMPLEMENTERINGSBEGREPPET

Utvecklingen av operationsanalysen under de två senaste decennierna har varit anmärkningsvärd och det finns idag en avsevärd mängd operationsanalytiska modeller och metoder som kan utnyttjas för att förbättra beslutsfattandet i ett företag. Som redan tidigare har anmärkts, är emellertid den praktiska tillämpningen av OA begränsad, sett mot den potential metoderna har. Det föreligger sålunda ett implementeringsgap mellan teori och verklighet. Det är detta gap och hur detta skall överbryggas som skall diskuteras i detta avsnitt.

Forskningen kring implementeringsfrågorna har aktualiserats först på senare år och litteraturen kring problemet är sparsam. Låt oss först klargöra vad vi menar med implementering. För att beskriva begreppet lånar vi en definition av Hildebrandt (1975).

"Med implementering förstås de processer som syftar till att få nya procedurer, rutiner, system och teknologier accepterade samt att få dem att fungera i organisationen."

IMPLEMENTERINGSFORSKNINGEN

Operationsanalysen ställer inte endast krav på matematiska kunskaper utan även på förmågan att definiera problem, identifiera variabler, samla in datamaterial och att implementera lösningen. Det är troligen i de sistnämnda avseendena som tillämpningar av operationsanalys kan leda till svårigheter, bl.a. därför att det oftast är olika personer som löser problemet och som använder lösningen.

I Sverige har bl.a. Lönnstedt (1971) studerat användningen av operationsanalys i börsnoterade företag. Lönnstedt diskuterar två aspekter i samband med OA-tillämpning. Den ena aspekten rör generellt användningen av OA-metoder i företagets problemlösning. Utgående från innovationsteorien¹⁾ och tidigare forskning på området formulerar Lönnstedt några hypoteser om sambandet mellan

1) Beskrivningar av innovationers spridningar

OA-användning och ett antal variabler. Viktiga faktorer finner han vara

- företagets storlek
- branschtillhörighet
- de anställdas och företagsledningens utbildning
- tillgång till dator.

Den andra aspekten som Lönnstedt behandlar rör implementeringen av en viss OA-lösning till ett problem. Också här formulerar Lönnstedt ett antal hypoteser. Samband befanns föreligga mellan två slag av faktorer och lösningens genomförande. Dessa benämner Lönnstedt "relationsfaktor" resp. "problemfaktorer".

Viktiga relationsfaktorer är

- användarens deltagande vid problemdefinitionen
- operationsanalytikerns deltagande vid genomförandet
- initiativtagare till projektet

Följande problemfaktorer är särskild signifikanta

- problemavgränsning
- variablernas kvantifierbarhet
- datamaterialets tillgänglighet

Liknande resultat har erhållits av en rad utländska forskare.

MODELLER FÖR OA-IMPLEMENTERING

I föreliggande projekt har olika OA-modeller utvecklats och testats utgående från olika strategier. En del modeller har aldrig accepterats medan andra väckt intresse redan på "skisstadiet". En viktig anledning till framgång med en OA-modell har härvid organisationen av OA-studien befunnits vara.

Traditionellt har OA-modeller utvecklats av forskare och experter som arbetat oberoende av modellanvändare eller organisation. Resultatet har blivit att få modeller verkligen implementerats och användes. En ökad interaktion mellan modellkonstruktör och modellanvändare är därför önskvärd. I det följande beskrivs modeller efter vilka OA-studierna i föreliggande forskningsprojekt

har bedrivits. Modellerna, som är starkt förenklade, kan sägas följa en utvecklingsprocess som stimuleras av de successivt vunna erfarenheterna.

1. "Expertmodell"



FIG 46 Expertmodell

I expertmodellen, som karakteriserar det traditionella OA-arbetet, konfronteras användaren och organisationen med en färdig modell. Detta leder oftast till en svag respons, ofta negativ sådan.

Den interaktion som äger rum mellan modellkonstruktör och användare är ringa och tjänar som regel endast till att "förbättra" modellkonstruktören. Denne förstår härigenom bättre sitt uppdrag, vilket inte innebär att han bättre förstår användaren eller att användaren bättre förstår modellen.

Några av de modeller som först försökte implementeras i detta projekt var av denna typ. Samtliga ledde till misslyckanden. Huvudanledningen till misslyckandena ansågs vara att modellkonstruktören själv, förutom att agera som OA-expert, också var initiativtagare till modellbyggandet inom de aktuella problemområdena.

2. "Inlärningsmodell"

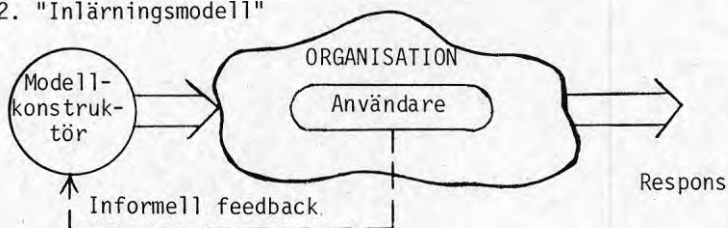


FIG 47 Inlärningsmodell

En förutsättning för att en modell skall kunna användas korrekt är att användaren förstår hur modellen fungerar. För att detta skall säkerställas bör modellbyggandet betraktas som en utvecklings- eller inlärningsprocess. Vid denna form av modellbyggande interagerar konstruktör och användare informellt. Konstruktören är mera intresserad av användarens inlärningsprocess än av användarens eller organisationens beteende. Om användaren bättre förstår modellen genom att successivt arbeta med allt mera komplexa versioner av den blir han mera benägen att verkligen använda den.

De modeller som beskrivits i kapitlet om materialupphandling kan sägas vara typiska exempel på denna filosofi. Karakteristiskt för förfarandet är den stegvisa komplexiteten som successivt införes i modellen.

3. "Organisationsmodell"

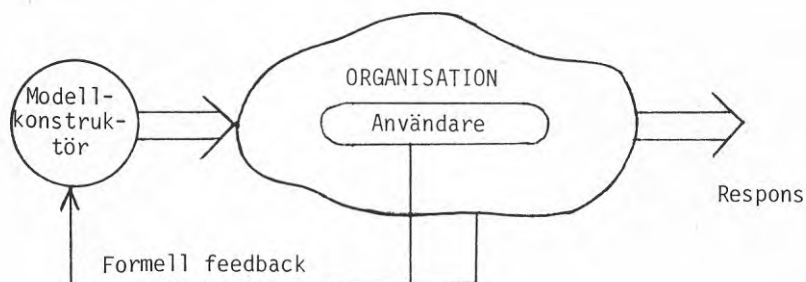


FIG 43 Organisationsmodell

Den mest önskvärda filosofin för OA-implementering är den i vilken modellutvecklingen betraktas som en förändringsprocess. Denna filosofi kan vi kalla organisationsmodell. Den karakteriseras av en högre grad av interaktion än i inlärningsmodellen. Konstruktören strävar här efter att få användaren att förstå inte endast hur modellen fungerar utan också själva konstruktionsprocessen.

Konstruktören studerar också beteendet hos användaren och organisationen. Detta gör det möjligt för honom att justera modellstrukturen, så att den bättre representerar organisationen, och att planera modellens implementering.

Organisationsmodellen representerar ett sant problemorienterat angreppssätt. Den sätter beslutsfattaren i centrum och erkänner att det är hans behov av beslutshjälpmiddel som skall tillgodoses och inte OA-expertens behov av OA-tillämpningar. Bland de tidigare beskrivna OA-modeller som utvecklats inom projektets ram kan budgetsimuleringsmodellerna sägas utgöra exempel på modellutveckling enligt organisationsmodellen.

PRAKTISK ORGANISATION

En förutsättning för att bedriva probleminriktad OA-verksamhet i ett företag är att OA-personalen har god företagskännedom och goda kontakter med linjefolket inom det geografiska område man är verksam. Detta talar för en decentraliserad OA-verksamhet.

Ett entreprenadföretags karaktär av starkt projektorienterad verksamhet samt metoduspekterna på OA-verksamheten talar å andra sidan för en centralisering av denna för att man effektivt skall kunna utnyttja det specialistkunnande som finns inom området. Möjligheterna att kunna överföra erfarenheter från ett projekt till ett annat talar också för detta. Det kan då röra sig om såväl goda uppslag och idéer som dyrköpt erfarenhet beträffande gjorda misstag.

Implementeringsaspekterna enligt ovan talar slutligen för att man bör arbeta i projektgrupper i intim samverkan med linjefolket. Operationsanalysexperten svarar då för modellkonstruktion medan linjefolket svarar för underlaget och kontrollerar att modellen får en sådan utformning att den ur användarens synpunkt blir funktionell och att uppställda mål innehålles.

Slutligen skall, med ledning av de vunna erfarenheterna, konstateras att en OA-grupp (experter) måste ha en viss "tröskelstorlek" för att kunna etablera sig samt leva vidare. Tröskelvärdet är svårt att ange, men minst två operationsanalytiker bör ingå i gruppen. Detta på grund av att operationsanalytiska projekt oftast tar lång tid att genomföra samt att risken för misslyckande inte är oväsentlig. Detta visar inte minst den ovan refererade undersökningen av Lönnstedt.

REFERENSER

- Barroso, L.F., T.Nakajima & R.W.Woodhead, 1972, The Construction Project Daily Labor Allocation Problem, Third International Congress on Project Planning by Network Techniques, Stockholm
- Benjamin, N. & T.W.Greenwald, 1973, "Simulating Effect of Weather on Construction", Journal of the Construction Division, (ASCE), Vol 99, No C01, p. 175-190
- Beran, V. & E.Leschka, 1970, "Rationalisierung von Entscheidungsprozessen", Baumaschine und Bautechnik, 17. Jahrgang, Heft 8
- Björnsson, H., 1975, Interaktiv simulering av beslutsprocesser i ett entreprenadföretag, Inst. för byggnadsekonomi och byggnadsorganisation, (CTH), Rapport 1
- Butcher, W.S., 1967, "Dynamic Programming for Project Cost-Time Curves", Journal of the Construction Division, (ASCE), Vol.93, No C01, p. 59-73
- Campbell, D.W., 1970, Risk Analysis, AACE, Fourteenth National Meeting, San Fransisco, Cal.
- Charnes, A., W.W.Cooper & G.G.Symonds, 1958, "Cost Horizons and Certainty Equivalents: an Approach to Stochastic Programming of Heating Oil", Management Science, Vol.4, No 3, p. 235-263
- Dand, R. & D.Farmer, 1970, Purchasing in the Construction Industry, (Gower Press), London
- Davis, E.W., 1969, Computational Experience with a New Multi-Resource Algorithm, H.J.M.Lombaers (ed.), Project Planning by Network Analysis, (North-Holland Publishing Co.), Amsterdam
- Douglas, J., 1968, "Optimal Life of Equipment for Maximum Profit", Journal of the Construction Division, (ASCE), Vol.94, No C01
- Dunstone, P., 1973, "Value Analysis in Building", i Hutton G.H. & A.D.G.Devonland (eds), Value in Building, (Applied Science), London
- Fondal, J.W. & R.R. Bacarreza, 1972, Construction Contract Making Related to Forecasted Cash Flow, Construction Institute, (Stanford University), Technical Report No 161, Stanford, Cal.
- Forrester, J.W., 1961, Industrial Dynamics, (MIT Press), Cambridge, Mass.
- Friedman, L., 1956, "A Competitive Bidding Strategy Model", Operations Research, Vol.4, No 1, p. 104-112
- Gaarslev, A., 1969, Stochastic Models to Estimate the Production of Material Handling Systems in the Construction Industry, Stanford University), Technical Report No 111
- Gavatin, P., 1975, Budgetsimulering, Stockholm

- Geoffrion, A.M. & R.E.Marsten, 1972, "Integer Programming - A Framework and State-of-the-Art Survey", Management Science, Vol.18, p.465-491
- Hammarlund, Y. & I.Szemberg, 1973, Linjär programmering - ett hjälpmedel vid planering av byggtransporter, (Statens råd för byggnadsforskning), Rapport 8
- Hammarlund, Y. & S.Andreasson, 1975, Metoder för mätning av materialförbrukning, Inst. för byggnadsekonomi och byggnadsorganisation, (CTH), Rapport nr 4
- Hertz, D.B., 1964, "Risk Analysis in Capital Investment", Harvard Business Review, Vol.42, No 1, p. 95-106
- Hildebrandt, S., 1975, Operationsanalyse - Implementering. Ett bidrag til belysning af operationsanalysens implementeringsproblemer, Erhvervsøkonomisk Institut, Skriftserie: b, Nr 1
- Högborg, E., 1970, Val av byggmetod, Meddelande nr 10, Inst. för byggnadsekonomi och byggnadsorganisation, (KTH), Stockholm
- Jansson, P., 1970, "Regressionsteknik för ökade kostnadserfarenheter, Byggmästaren, nr 4
- Jundin, P. & R.Lundberg, 1974, Förutsättningsstudie och eventuell konstruktion av en budgetsimuleringsmodell i Byggnads AB Balken, Seminarieuppsats vid Handelshögskolan i Stockholm, studiekurs 1
- Jurecka W. & H.-J.Zimmermann, 1972, Operations Research im Bauwesen, (Springer-Verlag), Berlin
- Kouskoulas, V & E.Koehn, 1974, "Predesigh Cost-Estimation Function for Buildings", Journal of the Construction Devison, (ASCE), Vol.100, No C04, p. 589-604
- Land, A.H. & A.Doig, 1960, "An Automatic Method of Solving Discrete Programming Problems", Econometrica, Vol.28, p. 497-520
- Larsson, T., 1975, Beräkning av optimal tillskärning av material med avseende på produktion, lager och materialförbrukning, Inst. för byggnadsekonomi och byggnadsorganisation, (CTH), Intern skrift 1975:1
- Lichtenberg, S., 1971, Successiv Kalkulation, Laboratoriet for Anlaegsteknik, (Danmarks Tekniske Højskole), Köpenhamn
- Lönnstedt, L., 1971, Operationsanalys i börsnoterade företag, Stockholm
- MacDonald, J., 1970, "Computer Simulation", Construction News, No 23, p. 18 - 19
- Martin, F.F., 1968, Computer Modelling and Simulation, (John Wiley & Sons), New York, N.Y.

Morin, T. & R.Clough, 1969, "OPBID: Competitive Bidding Strategy Model", Journal of the Construction Division, (ASCE), Vol.95, No C01, p. 85 - 106

Muir, A., 1973, "Operationsanalysen och inköparen", Management Decision, refererad i Baily P. & D.Farmer, Inköp, (Strömbergs Företagsekonomiska Serie), Finland

Neely, E.S.jr., 1971, Heuristic Planning Procedures for Building Construction Projects, (Carnegie-Mellon University), Pittsburg, Pa., (Diss.)

Peterman G.G., 1972, Construction Company Financial Forecasting, (Arizona State University), Tempe, Arizona

Picardi, A., 1973, "Closing the Credibility Gap in Construction Estimating, APEC Journal, Februar

Pritsker, A.A.B. & W.W.Happ, 1966, "GERT: Graphical Evaluation and Review Technique. Part I: Fundamentals", Industrial Engineering, Vol.18, No 5, P. 267 - 274

Raiffa, H., 1968, Decision Analysis: Introductory Lectures on Choice Under Uncertainty, (Addison-Wesley), Reading, Mass.

Ritter, J. & L.Shaffer, 1961, "Blending Natural Earth for Least Cost", Journal of the Construction Division, (ASCE), Vol.87, No C01

Sengupta, J.K. & K.A.Fox, 1969, Optimization Techniques in Quantitative Economic Models, (North Holland), Amsterdam

Stark, R., 1968, "Unbalanced Bidding Models-Theory", Journal of the Construction Division, (ASCE), Vol.94, No C02

Swalm, R.O. 1966, "Utility Theory-Insights into Risk Taking", Harvard Business Review, Vol.44, No 6, p. 123 - 136

Wagle, B., 1967, "A Statistical Analysis of Risk in Capital Investment Projects", Operational Research Quarterly, Vol.18, No 1, p. 13 - 33

Wagner, H.M., 1969, Principles of Operations Research, (Prentice-Hall), Englewood Cliffs, N.J.

Vergara, A.J. & L.T.Boyer, 1975, Portfolio Theory: Applications in Construction, (University of Illinois), Urbana Ill. (stencil)

Willenbrock, J.H., 1973, "Utility Function Determination for Bidding Models", Journal of the Construction Division, (ASCE), Vol.99, No C01, p. 134 - 153

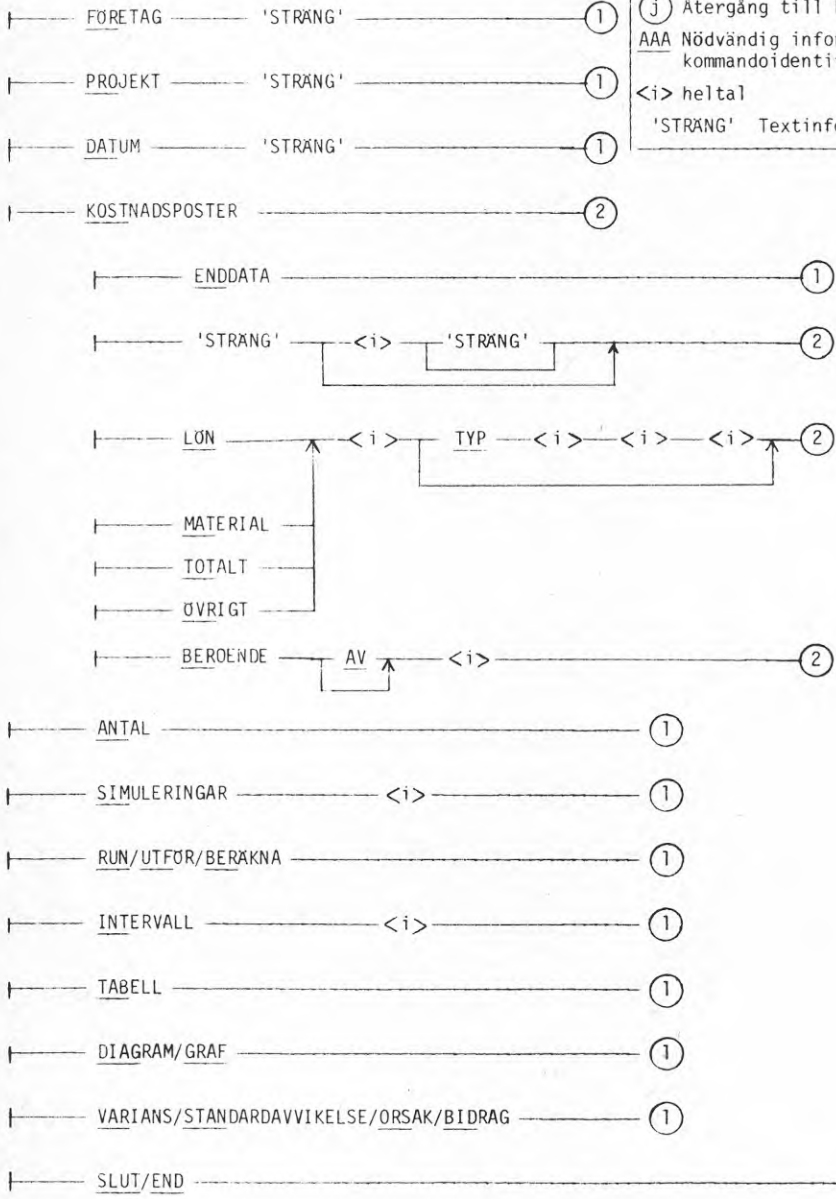
BILAGOR

DATORPROGRAM "RISK"

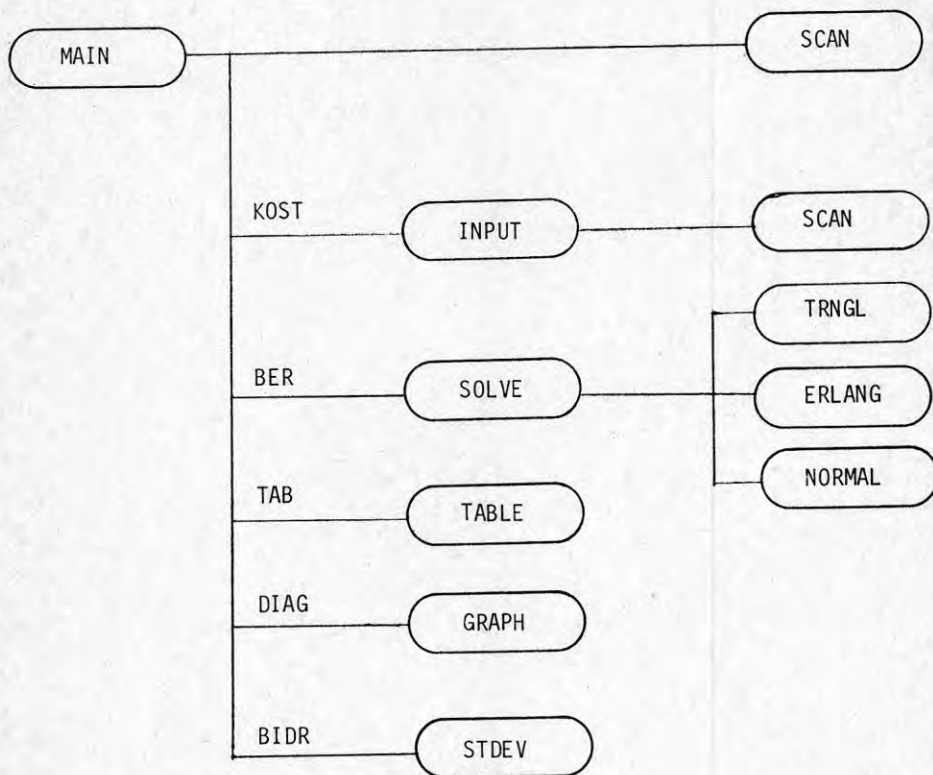
SPRAKPROFIL



Teckenförklaring:
 i Kommandoposition, nivå i
 j Återgång till kommandoposition
 AAA Nödvändig information för kommandoidentifikation
 <i> heltal
 'STRÅNG' Textinformation

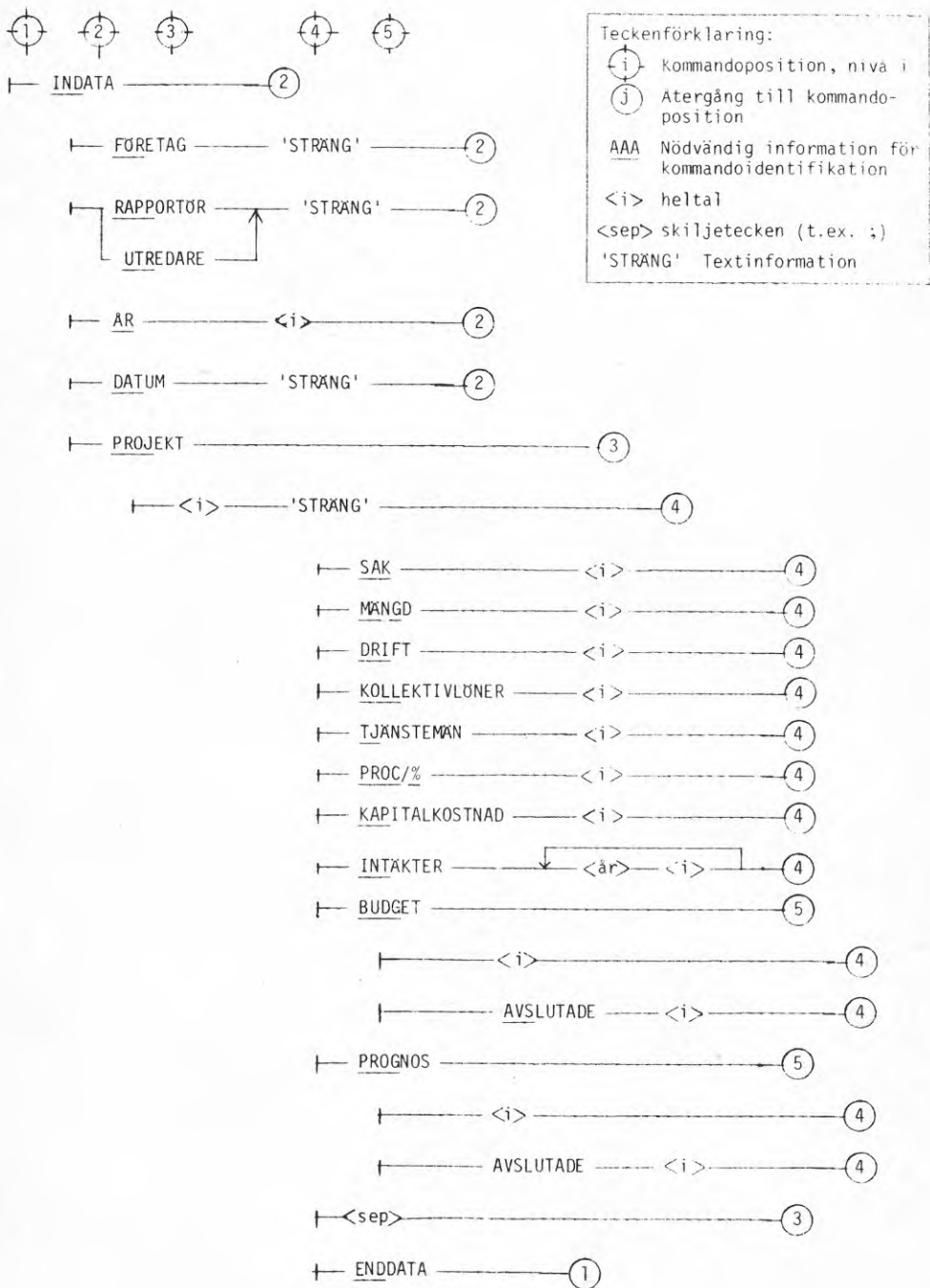


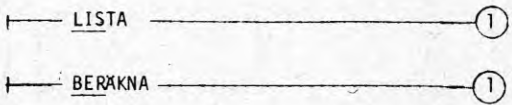
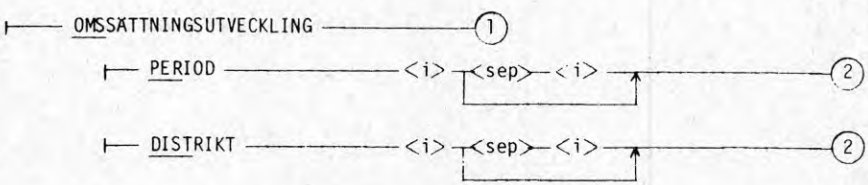
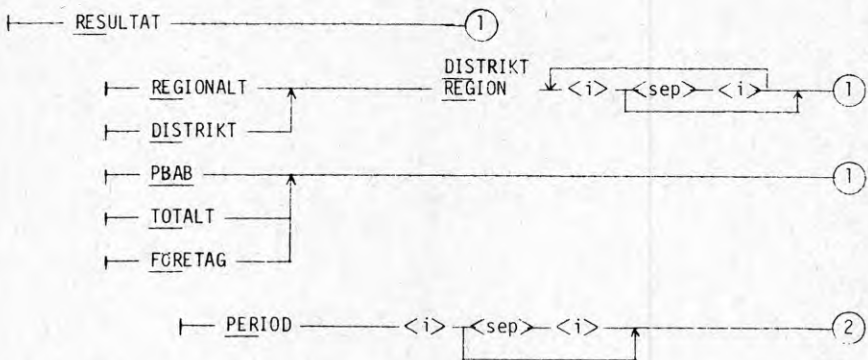
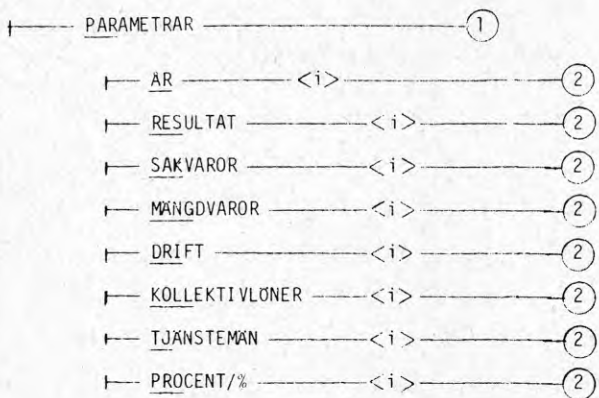
PROGRAMSTRUKTUR, SUBROUTINER



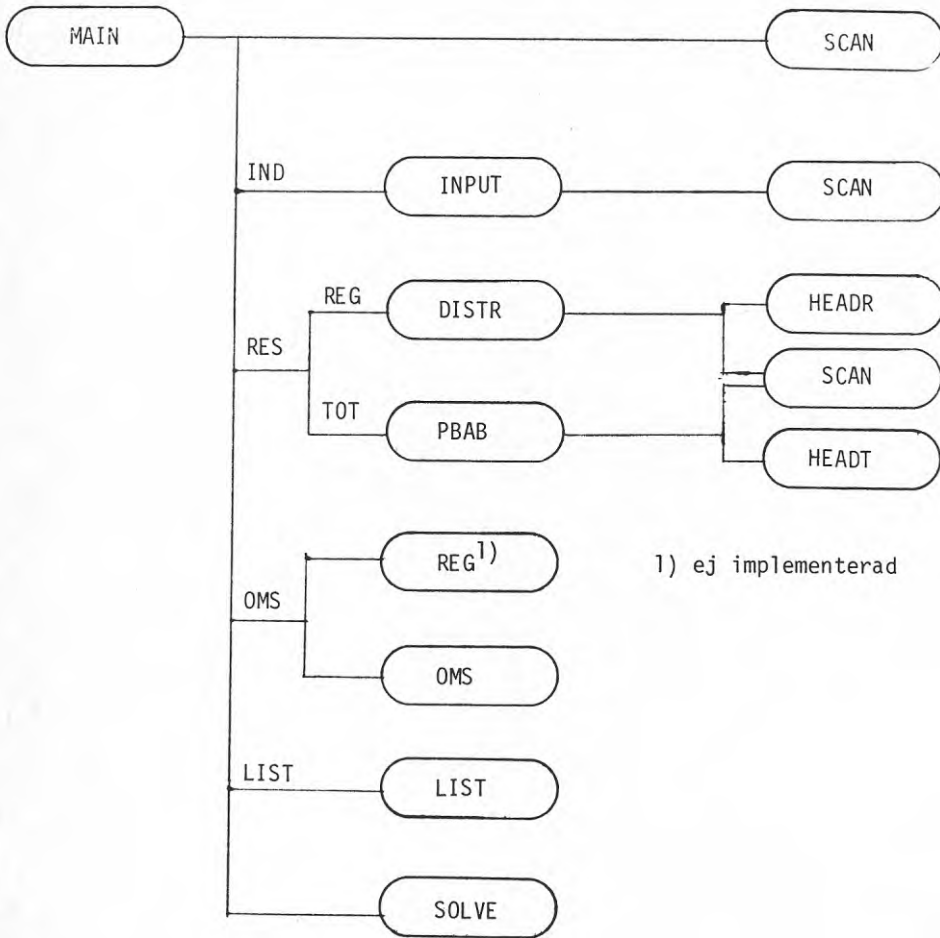
MAIN	Huvudprogram
SCAN	Rutin för teckentolkning
INPUT	Inmatning av kostnadsposter
SOLVE	Rutin för simuleringen
TRNGL	Generering av triangulärfördelade slumpvariabler
ERLANG	" " Erlangerfördelade "
NORMAL	" " normalfördelade "
TABLE	Rutin för utskrift av tabell
GRAPH	" " uppritande av diagram
STDEV	Beräkning av standardavvikelser

SPRÅKPROFIL





PROGRAMSTRUKTUR, SUBROUTINER



MAIN	Huvudprogram inkl. BLOCK DATA
SCAN	Rutin för teckentolkning
INPUT	Inmatning av budgetdata (basdata)
DISTR	Ber. av regionala resultatbudgetar
PBAB	Ber. av företagsresultat
OMS	Ber. och utskrift av omsättningsutveckling
LIST	Utskrift av budgetförutsättningar
SOLVE	Ber. budgetförutsättningar

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 750480-0 från
Statens råd för byggnadsforskning till
Platzer Bygg AB, Sundbyberg**

R43:1978

ISBN 91-540-2856-6

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art. nr: 6600743

Abonnemangsgrupp:

R. Byggandets ekonomi och organisation

Distribution:

Svensk Byggtjänst, Box 1403

111 84 Stockholm

Cirka pris: 35 kr exkl moms