



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

R145:1985

**Behovsanpassat datorstöd
för byggnadsprojektering**

Jan Ludvigsson

R/mw

INSTITUTET FÖR
BYGGDOKUMENTATION

Accnr

Plac

See

Bygghforskningsrådet

R145:1985

BEHOVSANPASSAT DATORSTÖD
FÖR BYGGNADSPROJEKTERING

Jan Ludvigsson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 820325-4
från Statens råd för byggnadsforskning till Institutionen
för brobyggnad, KTH, Stockholm.

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

R145:1985

ISBN 91-540-4487-1
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Liber Tryck AB Stockholm 1985

INNEHÅLL

1. DEN DATORISERADE PROJEKTERINGSPROCESSEN	9
1.1 Samspelet mellan projektör och konstruktör	9
1.1.1 Informationsflöden i skisskedet	10
1.1.2 Informationsflöden i konstruktionsskedet	12
1.2 Utvecklingstendenser	13
1.2.1 Kopplingen mellan CAD och beräkning	13
1.2.2 Beräkningstekniska aspekter	15
2. DATORBERÄKNINGAR I PROJEKTERINGSPROCESSEN	17
2.1 Beräkningsbehov	17
2.1.1 Skisskedet	17
2.1.2 Konstruktionsskedet	19
2.1.3 Kontrollskedet	22
2.2 Funktionskrav	24
2.2.1 Resultat	24
2.2.2 Noggrannhetskrav	29
2.2.3 Tidsfaktor	33
2.2.4 Presentation	35
2.2.5 Indata	37
2.3 Beräkningsmodeller	42
2.3.1 Val av beräkningsmetod	43
2.4 Beskrivning av beräkningsmodeller	47
2.4.1 Handberäkning	47
2.4.2 Datoranpassade handberäkningsmetoder	49
2.4.3 Datorinitierade metoder - FEM	50
2.5 Koppling till generella databaser	52
3. DATORSTÖD I KONSTRUKTIONSSKEDET	55
3.1 Konceptskillnader	55
3.1.1 Konstruktör - dator	55
3.1.2 Konstruktör - program (programmerare)	57
3.1.3 Datormetoder - normer	58
3.2 Programbeskrivning	59
3.3 Speciella svårigheter i samband med FEM	66
3.3.1 Geometridefinition	67
3.3.2 Upplagsvillkor och randvillkor	68
3.3.3 Materialdefinitioner	69
3.3.4 Belastningar	69
4. DATORSTÖD I SKISSKEDET	71
4.1 Konventionella metoder	72
4.1.1 Behov av snabbhet	72
4.1.2 Övergripande datastruktur	75
4.1.3 Felaktig resultattyp	76
4.1.4 Ett kompetensproblem	77
4.1.5 Slutsatser	78
4.2 Ett fungerande projekteringshjälpmedel	79
4.2.1 Grundläggande krav	79
4.2.2 Vad är ett expertsystem?	82
4.2.3 Arbetssätt och systemfunktion	88
4.2.4 Kapacitet och utrustning	97
4.3 Utvecklings- och resursbehov	99
5. UTFORMNING AV BERÄKNINGSSYSTEM	103
5.1 Övergripande organisation	103
5.2 Användaranpassad informationshantering	110

FÖRORD

Föreliggande rapport hänför sig till och är en fortsättning på ett projekt benämnt "Tillförlitlighet hos datorberäkningar i byggnadskonstruktionsarbetet", utfört vid institutionen för Brobyggand vid Kungliga Tekniska Högskolan i Stockholm, och med stöd från Statens Råd för Byggnadsforskning. Tidigare delar av projektet har redovisats i rapport R137:1983.

Arbetet bygger på det BFR-stödda projektet "Tillförlitlighet och kommunikation i en datoriserad byggbransch", redovisat i rapport R35:1982, utfört i samarbete med avdelningarna för Byggnadsmekanik och Bärande konstruktioner vid Tekniska Högskolan i Lund.

Rapport R35:1982 har sökt identifiera de möjligheter och risker som finns med ett ökat datoranvändande inom byggbranschen. I rapporten R137:1983 har intresset främst fokuserats på de risker som en långt driven datorisering av konstruktionsprocessen kan medföra.

I föreliggande rapport har intresset inriktats på de informations- och kommunikationsproblem som kan uppstå i en, i allt högre grad, datoriserad projekteringsprocess. I rapporten diskuteras hur den information om byggnadsdelarnas statistiska funktion, som tas fram under det tidiga skissarbetet, skall överföras till konstruktionsarbetet för att ligga till grund för statistiska beräkningar.

Förutom föreliggande rapport har en artikel publicerats och ett föredrag hållits behandlande vissa delproblem: "Datortillförlitlighet - ett språk- och informationsproblem", PROFIL NYTT, Nr. 4, December 1983, respektive föredraget "Kvalitet och tillförlitlighet vid datorberäkningar" vid Norske Sivilingenjörers Föreningens kurs "EDB i Bygg og Anlegg - beregning og dimensjonering", Golsfjellet, Norge, november 1984.

Rapporten har i sin helhet framställts med hjälp av ordbehandlingssystemet NOTIS-WP i ND-530 datorn Victoria vid Sektionen för Väg- och Vattenbyggnad vid Kungliga Tekniska Högskolan i Stockholm. Även de figurer som förkommer har till största delen framställts med ovan nämnda system.

Jag vill framföra mitt varma tack till Tekn dr Anders Eriksson som bidragit med ovärderlig hjälp i form av värdefulla synpunkter, stimulerande diskussioner och nödvändig inspiration.

Stockholm, Oktober 1985.

Jan Ludvigsson

SAMMANFATTNING

Användningen av datorer i projekteringsprocessen har ökat mycket snabbt. Utvecklingen har huvudsakligen följt två utvecklingslinjer. Den ena är en mycket omfattande satsning på, och utveckling av ett kraftfullt stöd för formgivningsarbetet i form av mer eller mindre generella CAD-system. Den andra är en satsning på kraftfullare datorstöd och metoder för konstruktörens allt noggrannare beräkningar av allt större och mera komplicerade strukturer. Denna utveckling har fått till följd att det uppstått ett "informationsglapp" mellan formgivnings- och konstruktionsskedena.

Det finns idag ett stort, otillfredsställt behov av ett realistiskt, datorbaserat stöd för framtagande av grundläggande information för projektörens val av preliminära dimensioner under projekteringsarbetets tidiga skeden. Ett annat behov är ett ändamålsenligt datorstöd för konstruktörens grova överslagsberäkningar i samband med preliminär dimensionering och som ansatser inför mera noggranna analyser.

När projektören succesivt arbetar fram ett förslag till utformning klarlägger han vilken funktion en viss byggnadsdel skall ha i den färdiga byggnaden, (till exempel vägg, golv, pelare, etc.), samt vilka krav som ställs på dess statiska funktion (hållfasthetskrav, sprickfrihet, nedböjningar, etc.).

Eftersom projektörens kraftfulla datorstöd är mycket dyrt är det viktigt att den information som på detta sätt skapats om byggnaden på något sätt kan tas till vara i konstruktörens beräkningsarbete. I dagens projekteringsprocess har man inget effektivt sätt att dokumentera och vidarebefordra denna typ av information till det efterföljande konstruktionsskedet. För att konstruktören skall kunna använda ritinformationen som grund för beräkningar måste han således återskapa mycket av den grundinformation som projektören en gång har tagit fram.

Rapporten behandlar hur en informationshantering kan organiseras, som beaktar dessa problem och brister. I det system som skisserats har behovet av ett ändamålsenligt datorstöd för projektörens arbete och konstruktörens behov av grundläggande information beaktats.

Rapporten diskuterar olika aspekter på ett ändamålsenligt datorstöd för olika skeden, avseende krav på systemens funktion och möjligheterna att med val av beräkningsmodeller åstadkomma olika typer av resultat. I rapporten konstateras att konventionella beräkningsmetoder och program inte är lämpliga för alla skeden av processen.

Mot bakgrund av detta och den information som finns tillgänglig under olika skeden, de noggrannhetskrav man ställer, de svarstider man kan acceptera etc, har en organisation som bygger på principerna för expert-

system föreslagits för att knyta ihop skedena kring en gemensam informationsstruktur.

Expertsystemet har tre huvuduppgifter:

-dels att åstadkomma en användarvänlig dialog mellan projektör och datorformulerade projekteringsmetoder. I Ludvigsson m.fl. (1983) definieras tillförlitlighetsproblemen i samband med datorberäkningar som ett språk- och informationsproblem.

-dels utgöra ett verktyg för projektören, innehållande metoder för bedömningar av olika lösningars egenskaper och konsekvenser. I vissa situationer sker detta med hjälp av statistiska beräkningar, varvid modifierade konventionella beräkningsmetoder kan användas. Stor omsorg bör läggas ned vid valet av metoder.

-dels att i samspel med projektören komplettera den ritinformation som skapas under skisskedet med information om de ingående delarnas statistiska funktion, egenskaper och förutsättningar samt att säkerställa den informationsöverföring som är nödvändig mellan formgivnings- och konstruktionsskedet. Informationen lagras så att den kan utnyttjas under konstruktionsskedet i samband med utnyttjandet av CAD-systemets ritinformation.

Expertsystemet är således en sammanhållande länk mellan skiss- och konstruktionsskedet. Ur projektörens synvinkel är systemets huvudsakliga uppgift att vara ett hjälpmedel för att ta fram information som skall ligga till grund för de bedömningar som måste göras under skisskedet. Ur konstruktörens synvinkel är systemets främsta uppgift att strukturera och lagra den information som tas fram om byggnadsdelarnas statistiska funktion, så att den kan användas tillsammans med CAD-systemets ritinformation som grund för statistiska beräkningar under konstruktionsskedet.

1. DEN DATORISERADE PROJEKTERINGSPROCESSEN

Som bakgrund till den problemställning som skall diskuteras i denna rapport skall en förenklad bild av det informationsutbyte och samspel som erfordras mellan de inblandade parterna i projekteringsprocessen ges. Dessutom skall de utvecklingstendenser man idag kan se beröras.

Processen från kravspecifikation till färdigt objekt är lång och besvärlig. Den karaktäriseras av ett ständigt informationsutbyte mellan inblandade parter. Det är en mycket stor mängd information som skall samlas, ställas och vägas ihop för att i slutänden utmytna i ett resultat som uppfyller de krav och förväntningar som uttrycks i kravspecifikationen för projektet. Även andra krav som ställs i normer och föreskrifter måste beaktas.

Projekteringsprocessen är en iterativ process. Med detta avses att man, med kravspecifikationen som utgångspunkt, tar fram ett preliminärt förslag till lösning. Denna lösning testas mot de krav som ställs på den färdiga produkten från olika håll. Så länge som den föreslagna lösningen inte tillräckligt bra uppfyller de uppställda kraven, pågår processen med nya skisser av lösningar och förnyade tester. Processen syftar således till att finna en ur vissa aspekter optimal utformning av byggnaden.

1.1 Samspelet mellan projektör och konstruktör

Projekteringsprocessen kan grovt indelas med hänsyn till de aktiviteter som förekommer i två skeden: skissrespektive konstruktionsskedet. En effektiv projekteringsprocess förutsätter ett mycket väl fungerande samspel mellan skiss- och konstruktionsarbetet, eftersom man i respektive skede tar fram bakgrundsinformation som är nödvändig för båda skedena.

Under skisskedet arbetar en projektör, vanligtvis arkitekt, med att grovt undersöka vilka möjliga utformningar och lösningar som uppfyller de uppställda kraven bäst. De krav som lösningen ställs mot kan grovt indelas i fyra huvudtyper:

- Form
- Funktion
- Konstruktion
- Ekonomi

Med form avses de utseendemässiga synpunkter man kan ha på den färdiga konstruktionens utseende. Funktion innefattar hur väl den valda lösningen fungerar för den avsedda användningen. I begreppet konstruktion innefattas förutom traditionella statistiska egenskaper

(såsom hållfasthet, stabilitet, deformationsegenskaper, etc) även andra egenskaper som på något sätt kan beräknas, till exempel ljud- och värmeisolering. Det finns dessutom vissa ekonomiska begränsningar för vad det maximalt får kosta att realisera den föreslagna lösningen.

Under skisskedet görs en grov optimering av lösningen med avseende på form och funktion. Ekonomi och i viss mån statiken utgör bivillkor i denna process. Arbetet grundas till största delen på projektörens egna erfarenheter av liknande projekt.

Under konstruktionsskedet är det konstruktörens uppgift att genom analys verifiera att den utformning som projektören föreslagit är rimlig och kan realiseras. För detta arbete använder konstruktören erfarenheter från tidigare projekt, men framförallt behöver konstruktören de teoretiska kunskaper han besitter i att använda de analysmetoder som står till buds för att analysera konstruktionens egenskaper.

Skiss- och konstruktionsskedet är emellertid inte två succesiva skeden som följer efter varandra. Situationen är snarare den att de i större eller mindre omfattning överlappar och griper in i varandra. Dessutom behöver andra grupper, till exempel el- och VVS-konstruktörer, framföra sina synpunkter på hur konstruktionen bör utformas för att deras behov skall kunna tillgodoses. Framförallt måste hänsyn tas till hålltagningar som måste göras i samband med framdragningen av VVS-installationen.

Projektören hamnar således förr eller senare i en situation där han behöver en ungefärlig uppfattning om hur grova dimensioner som erfordras eller vilka egenskaper man kan förvänta sig att en viss konstruktion/konstruktionsdel kommer att få. När de egna erfarenheterna inte längre räcker till, måste han vända sig till konstruktören för att erhålla en analys av aktuell konstruktion. Konstruktören å andra sidan kan för detta arbete behöva kompletterande information från projektören.

Således pågår under hela projekteringsprocessen ett aktivt samspel mellan projektör och konstruktör. Formerna för detta samspel är mycket väsentliga för kvaliteten hos de resultat som kommer ur arbetet.

I de följande avsnitten skall projektörens respektive konstruktörens arbetssituation belysas.

1.1.1 Informationsflöden i skisskedet

Projektörens uppgift under skisskedet är att omsätta de gällande förutsättningarna till en realiserbar och ur vissa aspekter optimal lösning till projektet. I detta arbete behöver han förutom kravspecifikationen

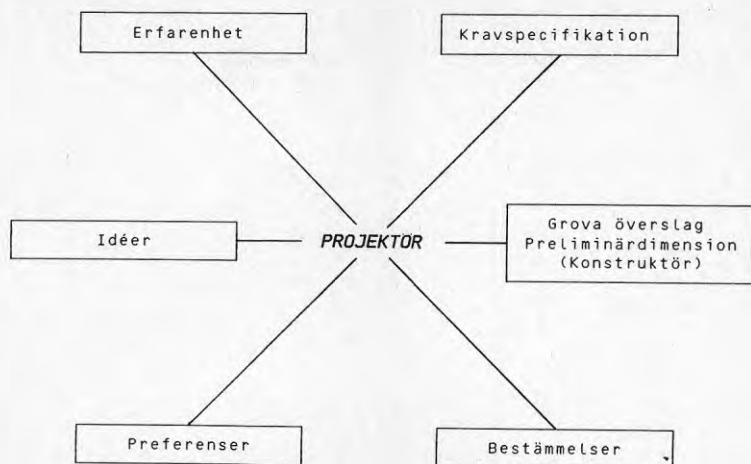


FIG 1.1 Informationskällor i skisskedet

ha tillgång till en hel del annan bakgrundsinformation. Informationssammanhanget som projektören ingår i har skisserats i FIG 1.1.

I figuren är projektören satt i centrum, omgiven av de informationskällor som han är beroende av. Informationskällorna kan indelas i två grupper: "interna" respektive "externa". Till de interna räknas sådana som är knutna till projektören själv, såsom idéer, erfarenheter och något som kallas preferenser. Det senare avser de faktorer som avgör vilken lösning som väljs i valsituationer där alternativen är jämbördiga. Dessa faktorer kan till exempel vara projektörens egen filosofi, allmänna trender, etc. Externa informationskällor utgörs först och främst av kravspecifikationen, men till denna kategori hänförs även bestämmelser som reglerar verksamheten inom det aktuella tillämpningsområdet och överslagsberäkningar. De senare kan dels utgöras av de beräkningar som utförs av konstruktören, men kan även vara överslag som projektören själv utför med hjälp av erfarenhet och/eller överslagsmässiga dimensioneringstabeller.

Den process som leder fram till ett preliminärt lösningsförslag har kravspecifikationen som grund och påverkas av projektörens idéer, tidigare erfarenheter och personliga preferenser. I erfarenheterna innefattas vissa kunskaper om de bestämmelser som reglerar det aktuella området, men till viss del måste vissa uppgifter hämtas från relevant referenslitteratur, till exempel normer och annan litteratur som behandlar det aktuella tillämpningen.

Optimeringsprocessen förutsätter att varje förslag

till lösning på något sätt testas, det vill säga det skall verifieras att den verkligen uppfyller de krav som ställts. Denna test kan företas ur två olika synvinklar: dels bedömningar av lösningens form och funktion, dels verifiering av lösningens ekonomiska konsekvenser och statistiska egenskaper.

När det gäller bedömningar av form och funktion har projektören främst sin egen erfarenhet att lita till. I viss mån gäller även detta för grova bedömningar av den ekonomiska rimligheten i lösningen. När man däremot kommer till utvärdering av lösningens statistiska egenskaper måste en erfaren konstruktör anlitas för att ta fram denna information.

1.1.2 Informationsflöden i konstruktionsskedet

Konstruktörens uppgift är således att bistå med de nödvändiga beräkningar som behöver utföras för att verifiera den tänkta konstruktionen. Vanligen består beräkningsuppgifterna av statistiska analyser, men även andra typer av beräkningsuppgifter förekommer. I FIG 1.2 har de informationskällor som konstruktören omges av i detta arbete skisserats.

Först och främst behöver konstruktören känna till de förutsättningar som gäller för det aktuella problemet. Dessa består dels av projektörens förslag till lösning men även av de krav på den statistiska funktionen som ställs i kravspecifikationen. I dessa specificeras vilken typ av konstruktion det är fråga om och hur den skall se ut. Dessutom skall en beskrivning ges av den

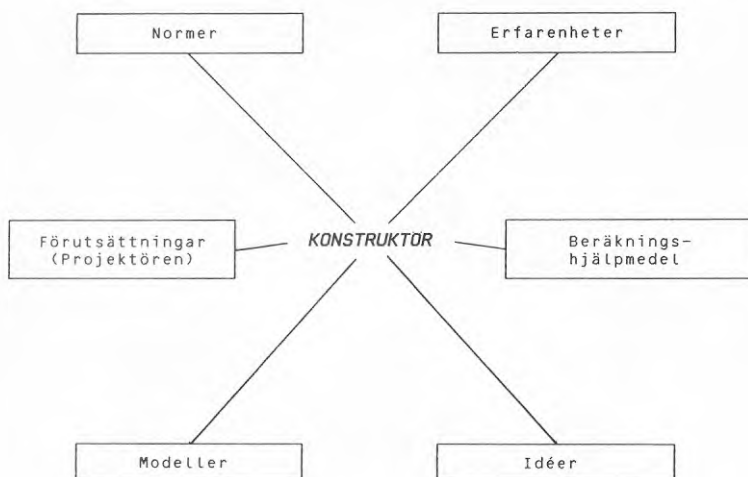


FIG 1.2 Informationskällor i konstruktionsskedet

omgivning som den tänkta konstruktionen skall fungera i. Detta är nödvändigt för att konstruktören skall kunna välja relevanta parametrar till sina beräkningsmodeller.

Valet av beräkningsmetod och utseendet hos den använda beräkningsmodellen bestäms bland annat av konstruktörens tidigare erfarenheter, av de noggrannhetskrav som ställs på lösningen, av normer och förordningar, men dessutom av det beräkningshjälpmedel som konstruktören har tillgång till.

I den valda beräkningsmetoden finns en bestämd uppsättning giltiga modelleringsbegrepp. För att kunna genomföra en beräkning av konstruktionen, måste konstruktören upprätta en matematisk beskrivning, modell, av den tänkta verklighet som han i sina beräkningar skall analysera. Modellens grad av förfining anpassas till de aktuella kraven på noggrannhet i resultaten.

Beräkningsmodellerna har, med införandet av datorer i beräkningsprocessen, genomgått en radikal förändring, avseende dels språk- och begreppsapparat (se avsnitt 3.1) dels modellernas utseende och innehåll. Den tilltagande datoriseringen har också bidragit till att ytterligare komplicera det informationssammanhang som konstruktören ingår i. Detta har utförligare behandlats av Eriksson, m.fl. (1983).

1.2 Utvecklingstendenser

Projekteringsprocessen genomgår för närvarande en snabb utveckling mot en allt högre grad av datorisering. Man kan se två huvudsakliga tendenser i denna utveckling.

Den ena är utvecklingen av avancerade och förfinade beräkningsprogram, främst program av finita element-typ. Den andra tendensen man kan se är ett ökat utnyttjande av mer eller mindre generella CAD-system. Hittills har det främst varit den arkitektoniska formgivningen man, med viss framgång, arbetat med.

Datorkapaciteten har således koncentrerats till de inledande och de sista skedena i projekteringsprocessen, dels på en kraftfull resurs för arkitektens CAD-system, dels på konstruktörens beräkningsresurser avsedd för framförallt stora, generella beräkningar i projekterings slutskede.

1.2.1 Kopplingen mellan CAD och beräkning

I syfte att överbrygga denna sneda fördelning och som ett led i att få de stora CAD-systemen ekonomiskt försvarbara, har på senare tid, ett intensivt utvecklingsarbete drivits med syfte att överföra information

mellan dessa skeden i projekteringsprocessen.

Målsättningen är att, ur de geometridata som arkitekten skapat i CAD-systemet, överföra till en beräkningsmodul de data om strukturens geometri som är nödvändiga för en analys av de egenskaper som i sin tur skall ligga till grund för en dimensionering av strukturen. Hittills har detta arbete drivits med växlande framgång. Ännu så länge har man endast lyckats överföra sina intensioner för relativt enkla, renodlade fall. Man har dessutom tvingats införa begränsningar i de beräkningsmodeller som använts för att med rimliga arbetsinsatser lyckas i sina försök.

Ett projekt i denna riktning har utförts i form av ett examensarbete vid institutionen för brobyggnad, KTH, av Klintmalm och Lind (1983). Arbetet resulterade i ett program som dimensionerar enskilda plattfält med avseende på böjning orsakad av jämnt fördelad last på hela plattfältet. Programmet förutsätter att betong och stålhallfasthet, täckande betongskikt, plattjocklek och inspända ränder ges av användaren. Indata ges interaktivt via tangentbord eller skärm. Moment och armering fås uppritade på skärm och/eller på en papperskopia.

I ett annat examensarbete, av Nystedt (1984), utvecklades ett program som dimensionerar rektangulära pelardäck med reguljära pelardelningar i två vinkelräta huvudriktningar. Belastningen kan bestå av en jämnt fördelad last, samma i alla plattfält. Pelarna förutsättes kvadratiska, utan kapitäl. Ingen hänsyn till håltagningar kan tas. Läsningen ur CAD-databasen som programmet utför, som dock kan ersättas med en manuell inläsning från tangentbordet, består i att användaren pekar på en aktuell punkt, som programmet efterfrågar.

Programmets möjligheter har begränsats delvis med hänsyn till vad man kan åstadkomma inom ramen för ett examensarbets relativt begränsade omfattning. Men man kan trots detta konstatera att man, trots att man lagt ner en relativt stor arbetsinsats, har tvingats begränsa programmets tillämpningsområde mycket snävt.

Programmen specialanpassas för att klara en viss typ av struktur och dessutom har man för denna strukturtyp tvingats införa många restriktioner för hur de får se ut och vilken typ av effekter som kan beaktas, vilka belastningar som kan behandlas, etc. Man utnyttjar således inte de möjligheter till förbättrade beräkningsmetoder som ett datorstött system skulle kunna erbjuda. Kanske kan man komma längre om man istället utgår från det reella behovet av beräkningskapacitet, såväl vad avser metoder som noggrannhet, och utifrån detta organiserar datastruktur och beräkningssystem så att man som, så bra som möjligt, utnyttjar de möjligheter som finns.

1.2.2 Beräkningstekniska aspekter

Den största revolutionen har dock hittills skett på beräkningssidan, i och med datorernas intåg i konstruktionsprocessen. Det är främst två faktorer som starkt bidragit till den snabba datoriseringen av konstruktörens beräkningsarbete.

Den ena är de nya normer som efterhand kommer i användning. I dessa tillåts ett allt högre utnyttjande av konstruktionsmaterialen, under förutsättning att man tillräckligt väl kan visa att man uppfyller de krav som ställs i normerna. Grundfilosofin är att, istället för att anvisa en speciell metod för att lösa vissa typer av problem, ställs vissa grundläggande krav på de statistiska egenskaperna. Den andra faktorn är att de konstruktioner man vill beräkna är större och mera tekniskt komplicerade.

I båda dessa fall uppkommer ett ökat behov av mera förfinade och noggranna beräkningsmetoder. Dessa fordrar i sin tur allt större datorresurser för att inom rimliga tidsramar kunna genomföras.

Den typ av program som kommer till användning i dessa sammanhang är främst numeriska metoder, till exempel sådana som bygger på finita element metoder. Denna metod ställer mycket speciella krav på indata. Framförallt är mängden indata stor, men dessutom är indatagivningen mycket speciell och de modellbegrepp som används bryter starkt med de som förekommer i konventionella metoder. Detta diskuteras utförligare i avsnitt 3.2.

I dessa noggranna beräkningsmetoder fordras att man i indataprepareringen utför allt fler och allt mer komplicerade teoretiska bedömningar som grund för valet av beräkningsparametrar. Dessa bedömningar berör framförallt valet av parametrar i den noggranna beräkningsmetoden, men även problem som är specifika och som endast uppstår i samband med datorberäkningar måste beaktas.

Användandet av förfinade beräkningsmetoder och det faktum att datorer måste användas för beräkningen medför att utdatahanteringen kompliceras i vissa avseenden. I datorberäkningar blir modellerna, framförallt i numeriska metoder där de vanligtvis approximeras i ett antal diskreta punkter, mycket stora. Detta medför dels att mängden utdata från datorbaserade metoder är mycket stor, dels att den tolkning av resultatet som erfordras, för att man skall kunna tillämpa det på den kontinuerliga verklighet det skall representera, kompliceras. För den ovane användaren kan resultatet från ett FE-program vara mycket svårtolkat.

Ett alldeles speciellt problem, som är starkt förknippat med datorberäkningar, är den tillförlitlighet man kan förvänta sig i ett datorberäknat resultat. Även ett program som "alltid" ger riktiga resultat kan, för

vissa olyckliga kombinationer av indata som ger numeriska problem, ge felaktiga resultat som följd.

Utvecklingen innebär att konstruktörens arbete i allt större utsträckning koncentreras på preparering av indata samt tolkning och kontroll av resultat. Emellertid är dessa skeden inte så triviala som de vid första anblicken kan te sig. Metoderna är i sig själva betydligt svårare att överblicka och teoretiskt mera komplicerade. De kräver mycket specialiserad kunskap om metodens bakomliggande teorier och en förståelse för hur de kan användas.

Datorn har gjort det möjligt att modellera och beräkna allt större och allt mera komplicerade strukturer. Den har givit konstruktören en reell möjlighet att göra fler, och mera förfinade beräkningar av sådana konstruktioner som förut varit mycket arbetskrävande.

Utvecklingen har dock även kommit att betyda ett allt större ansvar för konstruktören. Det är i sista hand konstruktören som bär ansvaret för att resultatet från beräkningen är riktigt. Kontrollen av en datorberäkning skiljer sig starkt från den kontroll man genomför av en handberäkning. Beräkningsgången i en datorberäkning är svårare att följa, dels på grund av att många mellanled i beräkningen saknas, dels på grund av att mängden utdata från ett generellt datorprogram, är av en helt annan storleksordning än vid en motsvarande handberäkning. Detta innebär att eventuella fel i en datorberäkning kan vara betydligt svårare att upptäcka och genomskåda.

Detta har ställt konstruktören i en svår situation. För att få utnyttja konstruktionsmaterialen maximalt, enligt vad som tillåts i normerna, måste beräkningsmetoder tillgripas som är mycket noggranna. För många av dessa metoder är den teoretiska bakgrunden så komplicerad att konstruktören inte har möjlighet att i alla delar ha fullständig insikt i dess betydelse. Dessutom känner han kanske inte heller till hur beräkningsmetoden har använts och eventuellt modifierats vid programmeringen av det använda programmet. Ansvarssituationen blir mycket svår och konstruktören kommer i kläm.

Det komplicerade informationssammanhang som konstruktören ingår i, och de tillförlitlighetsaspekter som följer av detta, har utförligare diskuterats i Eriksson, m. fl. (1983), Ludvigsson, m. fl. (1984) och Ludvigsson (1984).

2. DATORBERÄKNINGAR I PROJEKTERINGSPROCESSEN

Avsikten med detta kapitel är att beskriva det behov av beräkningar som finns i projekteringsprocessens olika delar och vilka krav man bör ställa på beräkningshjälpmedlens funktion och organisation.

Diskussionen förs mot bakgrund av de datoriseringstendenser som diskuterades i avsnitt 1.2. Framställningen skall således ses som en inventering av framtida möjligheter snarare än en beskrivning av den situation som råder idag.

2.1 Beräkningsbehov

Vilka beräkningsbehov uppstår under projekteringsprocessen och hur skall ett effektivt beräkningshjälpmedel vara beskaffat för att tillfredsställa dessa behov? Detta avsnitt skall försöka ge några svar på denna frågeställning. Men för att kunna göra detta, måste de förutsättningar som råder i projekteringsprocessens olika skeden närmare analyseras.

Projekteringen har för detta ändamål grovt indelats i tre olika skeden: skiss-, konstruktions- respektive kontrollskedet. Härvid har till skisskedet kopplats den mera övergripande planeringen, medan konstruktionsskedet mera går in på den detaljerade utformningen. Kontrollskedet kan ingå som en del av konstruktionsskedet, men även som en fristående efterhandskontroll och granskning.

2.1.1 Skisskedet

I projekteringsprocessens tidigare skeden finns idag ett stort, otillfredsställt behov av ett snabbt och effektivt datorbaserat projekteringshjälpmedel. Ett sådant hjälpmedel skall ge projektören grundläggande information som kan ligga till grund för de bedömningar som är nödvändiga för projekteringsarbetet. Projektören skall, med enkla handgrepp, kunna manipulera de parametrar som bestämmer lösningens funktion och egenskaper och erhålla resultat som visar den effekt som uppnåtts med den nya uppsättningen parametrar.

Syftet är att, under ett antal bivillkor, finna en optimal utformning av konstruktionen. Intresset riktas i detta skede främst på form, funktion och ekonomi. Statiken utgör ett bivillkor i detta skede av projekteringsprocessen och koncentreras i första hand på att i grova drag bestämma preliminära dimensioner, konstruktionsmaterial, spännvidder, etc.

Verksamheten ställer vissa grundläggande krav på hur byggnadens utrymmen skall kunna disponeras för att uppnå bästa möjliga funktion. Emellertid måste hänsyn tas även till hur det statiska grundsystemet skall utformas för att klara de krav som ställs i normer och föreskrifter: till exempel krav på säkerhet mot brott eller på maximala nedböjningar i konstruktionen. Även den aktivitet som skall bedrivas i den färdiga konstruktionen kan ställa speciella krav på den statiska funktionen, till exempel speciella krav på nedböjningar och sprickfrihet.

Statiska överslagsberäkningar ingår därvid som en viktig del i den optimeringsprocess som konstruktionens olika delar genomgår på detta tidiga stadium. De skall ge projektören en grov uppfattning om konstruktionens funktion, ekonomi och statiska verkningssätt, vid en given utformning.

Beräkningarna rör sig hela tiden på ett övergripande plan, det vill säga inga överdrivet detaljerade eller noggranna beräkningar förekommer. De beräkningsmodeller som används kan därför vara förenklade. Avsikten är att i första hand få ett grovt mått på de erforderliga dimensionerna och en grund för projektörens jämförelser av olika alternativa lösningar. Möjligheterna att prova olika alternativ skall härvid inte enbart begränsas till att gälla mindre justeringar av materialtjocklekar och spännvidder, utan även idealt sett ge möjlighet att jämföra olika konstruktionsmaterial i den bärande grundstommen mot varandra. Detta ställer en del speciella krav på de eventuellt utnyttjade programmens funktion, med avseende på indata, typ av resultat och presentation.

Idag tillfredsställs detta beräkningsbehov i viss mån genom mer eller mindre grova "gissningar" från projektörens sida, men framförallt genom samråd med en erfaren konstruktör. Om projektören hade tillgång till ett projekteringshjälpmedel som kunde utföra de enkla överslagsberäkningar som behövs, skulle detta kunna innebära en betydande effektivisering av projekteringsprocessen.

De fördelar man på detta sätt uppnår, består inte enbart av en optimering av den aktuella konstruktionen, utan även i att man på detta sätt erhåller ett bättre underlag för övriga aktiviteter i projekteringen. Ju tidigare i projekteringsprocessen riktiga, eller åtminstone nästan riktiga dimensioner kan erhållas, desto större vinst kan uppnås i de senare skedena. Ändringar som måste utföras på ett senare stadium i projekteringsprocessen, såsom en ändring vid den slutliga dimensioneringen av det statiska grundsystemet kan medföra stora komplikationer för andra inblandade parter. Till exempel kan en ändring i den statiska grundstommen leda till behov av ändringar i VVS-installationen.

Användare av sådana program är projektörer, det vill säga vanligen en arkitekt. För vissa typer av projekt kan dock en konstruktör fungera som projektör, vanligtvis då i samband med projektering av byggnader för industriella ändamål. Programmen på denna nivå skall således anpassas till en person med stor erfarenhet av formgivning av byggnader men med mindre djupgående intresse och kunskaper om konstruktion och dimensionering. Detta innebär att speciell omtanke bör läggas på programmens hanterlighet och tydlighet, samt på valet av beräkningsmetod. Framförallt bör det, inte i något läge, fordras att användaren måste ta ställning till något som han egentligen inte har kompetens för. Grundläggande principer för val av beräkningsmetod skall utförligare diskuteras i avsnitt 2.3.1.

2.1.2 Konstruktionsskedet

Konstruktörens behov av beräkningsresurser förändras under projekteringsprocessens olika skeden.

Två olika behov kan därvid urskiljas. Dels ett behov av kraftfulla program som kan lösa de mera komplicerade och känsliga beräkningsuppgifter man kan ställas inför, dels ett behov av ett något mindre noggrant beräkningshjälpmedel med vilket man kan utföra enklare analyser. Behoven kan i princip hänföras till två olika skeden av projekteringsprocessen.

Behovet av de mindre noggranna metoderna uppstår under skisskedet då konstruktören skall bistå projektören med grova överslagsberäkningar. Underlaget för dessa beräkningar består av grova skisser av tänkta lösningar. Noggrannheten i de uppgifter som beräkningen skall bygga på är mycket osäker varför det inte är meningsfullt att i beräkningen använda metoder med onyanserat hög noggrannhet.

De noggranna metoderna behövs i ett senare skede, när man tror sig ha funnit en lämplig och ur vissa aspekter optimal lösning. Konstruktörens uppgift i detta skede är att utföra en optimering av de enskilda strukturelementen och verifiera att den slutliga lösningen uppfyller uppställda krav.

Förutsättningarna för beräkningarna i de båda fallen är i vissa avseenden olika. I det första fallet ingår beräkningsuppgifterna som en del i ett övergripande optimeringsarbete. Det andra fallet inträffar i ett senare skede, när man tror sig ha funnit den bästa övergripande utformningen. Detta innebär att kraven på beräkningsresursens kapacitet och organisation i vissa avseenden skiljer sig mellan dessa två skeden.

Syftet med beräkningarna under den inledande delen av skisskedet är att ge en tämlig grov uppfattning om vilka konsekvenser olika lösningsförslag har för den statiska funktionen. Beräkningarna skall således ge

ett underlag för den övergripande systemoptimeringen. Intresset är främst inriktat på att ta reda på om en viss föreslagen lösning är statistiskt och ekonomiskt rimlig, snarare än att ta reda på hur de statistiska problemen skall lösas i detalj.

I detta sammanhang bör beräkningsresursen innehålla enkla, relativt grova överslagsmetoder för olika typer av strukturer. Av stor vikt i detta skede är således dels att de beräkningshjälpmedel som skall användas inte får förutsätta alltför detaljerade indata, dels att resultaten skall kunna erhållas med rimliga arbetsinsatser.

Konstruktören skall erhålla underlag för att kunna bilda sig en uppfattning om huruvida en lösning är tekniskt och ekonomiskt realistisk och genomförbar. För detta behöver han oftast inte några fullständiga eller överdrivet noggranna resultat. Noggrannheten i de tillgängliga indata och den säkerhet som i övrigt råder under denna del av skisskedet innebär att man, även om en "noggrann" beräkningsmetod används, inte kan räkna med en noggrannhet i erhållna resultat som motiveras av den arbets- och resursinsats som behövs för att genomföra beräkningen.

Grova överslagsmässiga metoder passar bättre in i detta arbete än noggranna och förfinade metoder. I många fall räcker det med konstruktörens "tumregler". I andra fall behöver man ett något noggrannare resultat, kanske kan någon datoranpassad konventionell handberäkningsmetod vara tillräcklig. Det är inte nödvändigt, eller ens önskvärt, med en högre noggrannhet.

När man kommer över till det andra skedet förändras kraven på beräkningskapaciteten radikalt. I detta skede har man under det övergripande optimeringsarbetet kommit fram till en viss utformning av konstruktionen. Det blir nu konstruktörens uppgift att utföra en optimering av enskilda strukturelement och verifiera att de krav som ställts från olika håll uppfylles.

Konstruktören skall nu gå in på detaljerna i strukturernas verkningssätt och bestämma vilka statistiska utformningar som är mest fördelaktiga för den totala lösningen. För detta behöver konstruktören ha tillgång till mera noggranna metoder än under skisskedet. Informationsstrukturen har nu kompletterats så att detta också är möjligt. Under skisskedets optimeringsprocess har övergripande systemparametrar valts, till exempel har konstruktionsmaterial och spännvidder bestämts. Inom dessa ramar har konstruktören att söka den utformning som, ur statisk och ekonomisk synpunkt, är den mest optimala.

Emellertid upphör inte behovet av de grova överslagsmetoder som användes under skisskedets inledande del. Dessa program fyller i princip tre olika behov under detta skede:

För det första finns det situationer när de noggranna och kraftfulla metoderna inte är lönsamma att använda. Detta inträffar till exempel när den besparing man gör, genom att "finräkna" en struktur, är mindre än den kostnad i tid och därmed pengar som åtgår för detta, eller när kravet på noggrannhet är måttligt.

För det andra är de noggranna beräkningarna i regel mycket dyra att utföra. I praktiken måste man utföra flera beräkningar för att erhålla det slutliga resultatet. I syfte att minska antalet iterationer och därmed snabbare uppnå ett godtagbart slutresultat, kan grova överslagsberäkningar tjäna som första approximation inför en mera förfinad och noggrann beräkning med ett stort generellt program.

För det tredje måste man på något sätt övertyga sig om att det resultat man erhållit från ett noggrant program är rimligt. Detta kan åstadkommas på flera olika sätt. Ett enkelt medel är att kontrollera att kraft- och momentjämvikt råder. Med en sådan kontroll kan många misstag uppdagas, dock räcker det inte för att man fullständigt skall kunna lita på den erhållna lösningen. För detta fordras en mera oberoende kontroll. En sådan är att jämföra det beräknade resultatet med resultatet från en parallell kontrollberäkning. Denna beräkning behöver då inte ha samma noggrannhetsnivå som den noggranna beräkningen. Det är viktigare att strukturen har modellerats och beräknats på ett oberoende sätt, än att den arbetar med samma grad av noggrannhet. Om kontrollmetoden är för noggrann uppstår i sin tur problem att kontrollera den.

Till sin hjälp i optimeringsprocessen behöver konstruktören således ett kraftfullt, datorbaserat beräkningshjälpmedel. Ett sådant bör erbjuda olika nivåer av noggrannhet i modellering och resultat. Dessutom skall man, inom ramen för ett sådant, kunna analysera allt ifrån relativt enkla, renodlade strukturer till stora, komplexa specialfall. Beräkningarna skall underlätta och ligga till grund för de jämförelser och bedömningar som utföres i optimeringsarbetet. De skall även kunna utgöra grunden för den slutliga dimensioneringen och redovisningen av färdiga konstruktions- och arbetshandlingar.

Det gäller således för konstruktören att finna en metod och ett beräkningshjälpmedel som är "lagom" noggranna för den aktuella tillämpningen. I det utbud som finns idag är detta behov, av en på olika noggrannhetsnivåer och metoder differentierad beräkningskapacitet, dåligt tillgodosedd.

En tendens idag är att utvecklingen av de mindre noggranna metoderna och programmen får stå tillbaka till förmån för satsningen på stora och generella programsystem, gärna med någon form av koppling till de generella CAD-systemen. Programmen är i många fall

alltför stora och generella för att man med ekonomi skall kunna använda dem för analys och dimensionering av enkla, renodlade strukturer samt i de fall man har relativt måttliga krav på noggrannheten. Man tvingas att ta till det tunga artilleriet, när man i själva verket bara behövde ett relativt enkelt beräkningshjälpmedel för sitt arbete.

De förfinade och kraftfulla programmen är normalt tämligen resurskrävande. Inte enbart på datorkapacitet, utan också på personella resurser när det gäller preparation av indata och indatagivning men framförallt för tolkning och kontroll av erhållna resultat. Detta innebär att den totala tidsåtgången för varje beräkning blir så lång, att man tenderar att godkänna resultatet när man funnit en utformning som "håller". Någon optimeringsprocess i egentlig mening kommer inte i fråga. Med alltmer avancerade beräkningsmodeller blir det alltför kostsamt att driva optimeringsprocessen vidare.

Målgruppen för dessa program är naturligtvis i första hand den "vanlige" konstruktören. Men man kan även tänka sig en situation där en specialist på ett specifikt område genomför de mera avancerade beräkningarna, då företrädesvis med något av de stora generella programmen, till exempel ett finit element program. Sådana speciella situationer kan uppstå om särskilda hänsyn måste tas till effekter med en avancerad teoretisk bakgrund, till exempel membran effekter eller andra speciella beteenden hos konstruktionen.

2.1.3 Kontrollskedet

Det beräkningsunderlag som ligger till grund för en dimensionering av en konstruktion måste alltid utsättas för någon slags kontroll. Datorberäkningar används i allt större omfattning som dimensioneringsunderlag. I takt med att de stora beräkningsprogrammen utvecklas och blir allt mer generella, blir i motsvarande grad de nödvändiga kontrollerna som måste utföras allt svårare att genomföra. Med stora utdatamängder kan denna kontroll bli mycket arbetskrävande och komplicerad, men framförallt ökar risken att man missar något.

I en dimensionering som i huvudsak bygger på handberäkningar, kan man mer eller mindre tydligt följa det logiska resonemanget steg för steg fram till det färdiga resultatet. Efterhand som datorberäkningar har övertagit allt större del av beräkningarna har denna logiska kedja blivit allt kortare, och saknar allt fler mellanled- fler ju mera generellt program som används.

Behovet av kontroll uppstår i två olika situationer. Dels behöver konstruktören kontrollera resultatet från egna beräkningar för att övertyga sig om att de antaganden och de modelleringar som gjorts är rimliga.

Dessutom kommer någon granskande myndighet att utföra en kontroll av utförda beräkningar. Förutsättningarna för kontrollen i de båda fallen skiljer sig i vissa avseenden.

I konstruktionsskedet uppstår behovet av en datorstödd kontrollmöjlighet oftast i samband med användningen av de stora generella programmen. Dessa ger i regel så stora mängder utdata att det är svårt, nära nog omöjligt, att genom en manuell sifferkontroll, konstatera om resultatet är riktigt. En förenklad kontroll kan ske genom att kontrollera kraft- och momentjämvikten i resultatet för vissa utvalda representativa snitt.

Om denna kontroll visar att jämvikten uppfylles, kan man dra den slutsatsen att beräkningen, med de indata som beräkningen bygger på, åtminstone är numeriskt riktig. Men man kan för den skull inte dra den slutsatsen att resultatet på ett realistiskt sätt överensstämmer med den verkliga konstruktionens verknings sätt. Dels kan oupptäckta fel i indatapreparering och -generering, dels modelleringar, ha förstört resultatet. Därför bör jämviktskontrollen kompletteras med en fristående, oberoende kontrollberäkning.

Den granskande myndigheten har normalt inte möjlighet att utföra en detaljerad kontroll av de fullständiga resultaten. I denna situation får kontrollen i stället inriktas på bedömningar om riktiga antaganden, modelleringar och tolkningar gjorts. Som en hjälp vid dessa bedömningar kan då en parallell beräkning utföras med hjälp av ett datorprogram. Noggrannhetsnivån i dessa beräkningar bör anpassas till den betydelse den aktuella strukturen har för den totala säkerheten. Medan man i vissa situationer kan nöja sig med en enkel rimlighetskontroll, måste man i andra utföra en mer eller mindre fullständig analys av den aktuella strukturen.

Kontrollberäkningen behöver inte alltid omfatta hela strukturen, utan denna kan med fördel uppdelas och kontrolleras i mindre delar var för sig. Man får på så sätt enkla och lätt hanterbara delstrukturer att behandla.

För denna typ av datorstödda kontrollberäkningar kan ofta ett relativt enkelt och överslagsmässigt beräkningsprogram var ett tillräckligt noggrant hjälpmedel. Fördelen med att hålla beräkningarna på en relativt låg noggrannhetsnivå är, dels att resultaten från denna typ av program ger resultat som är begrepps- och omfångsmässigt enkla att kontrollera, dels att mängden indata till denna typ av program oftast håller sig på en för ändamålet rimlig nivå.

Målgruppen för denna typ av program kan sammanfattas under begreppet granskande instanser. Under detta sorterar dels konstruktören själv som önskar kontrollera de beräkningar han utfört med ett annat, mera noggrant och förfinat program, dels andra konstruktörer eller granskare som är satta att granska utformningen av en

given konstruktion. Gemensamt för alla dessa är dock att de har en konstruktörmässig kunskapsbakgrund.

2.2 Funktionskrav

I detta avsnitt skall närmare diskuteras de krav på beräkningsresursens funktion som ställs under projekteringsprocessens olika skeden.

Beroende på i vilket skede av processen man befinner sig, ställer man olika krav på hur ett ändamålsenligt och effektivt projekterings- och beräkningshjälpmedel skall se ut. I den framställning som ges här har kraven diskuterats utifrån 5 utgångspunkter, som presenteras av:

- den typ av resultat som förväntas
- de noggrannhetskrav som ställs
- den tidsfaktor som kan accepteras
- den omfattning av presentation som behövs
- de indata som finns tillgängliga

Med dessa utgångspunkter har de synpunkter som bör beaktas under skiss-, konstruktions- och kontrollskedet diskuterats.

2.2.1 Resultat

-Skisskedet

De resultat som behövs under skisskedet skall ingå som en del i det underlag projektören behöver för att utföra en optimering av den aktuella konstruktionen. Optimeringsarbetet kräver, för att man skall kunna jämföra olika lösningars konsekvenser, att viss grundläggande information finns tillgänglig.

De resultat man behöver skall ge en övergripande uppfattning om vilka konsekvenser den föreslagna utformningen har för strukturens bärförmåga, dess statiska funktion och andra mera sekundära egenskaper. Dessutom behöver man få ett mått på de kostnader den medför.

Intresset när det gäller det statiska verkningssättet koncentreras främst på om antagna dimensioner är rimliga och praktiskt genomförbara, om deformationerna ligger inom rimliga gränser, etc. De sekundära konsekvenserna, såsom brand- och värmeisolering, som mer eller mindre är en följd av den konstruktiva utformningen, kan kontrolleras genom till exempel att undersöka om det är möjligt att åstadkomma tillräcklig isolering inom den föreslagna konstruktionens volym.

Eftersom konstruktionselementen ingår endast som mindre delar av den totala bilden, går man inte in på någon detaljerad analys av de enskilda konstruktionsele-

menten, utan arbetar på ett mera övergripande plan. På detta stadium är det inte nödvändigt eller ens lämpligt att redovisa de "primära" resultaten såsom den momentfördelning som erhållits i strukturens delelement. Konsekvensen av detta är enbart att resultatet får en sådan omfattning att överskådligheten går förlorad.

Resultaten bör i stället ligga på ett mera praktiskt och projektörmässigt plan. Ett sätt att åstadkomma detta är att i stället för att redovisa "primära" resultat i ren obearbetad form, bör redovisas konsekvenserna av dessa i form av vad man skulle kunna kalla "härledda" resultat. Exempelvis för en betongplatta kan, i stället för momentfördelningen, en minsta erforderlig plattjocklek och maximal nedböjning vara ett lämpligare sätt att presentera resultatet på.

Ett mått på utnyttjandegraden av de konstruktionsmaterial som ingår i den aktuella konstruktionen är en typ av resultat som är nödvändigt som underlag för den grova optimeringen av det statiska bärverket. Detta kan ges som en enkel procentangivelse av hur stor andel av den tillåtna hållfastheten man utnyttjar i det mest ansträngda snittet i den aktuella konstruktionsdelen. Utifrån detta kan en grov uppskattning göras, vilken lösning som bäst utnyttjar materialet.

En annan typ av resultat som i detta skede kan vara lämplig att få är varningar eller fingervisningar för eventuella, ur konstruktionssynpunkt, känsliga punkter eller områden. Denna information kan vara värdefull i kombination med ett mått på utnyttjandegraden, så att man i ett kritiskt parti av konstruktionen inte utnyttjar materialet så hårt att konstruktören inte har några marginaler att spela med på konstruktionsstadiet.

Det räcker dock inte att enbart jämföra alternativen med avseende på statiska egenskaper. Hänsyn måste också tas till de ekonomiska konsekvenser som den föreslagna utformningen medför. En sådan ekonomisk konsekvens är kostnaden för det arbete man måste lägga ned i samband med uppförandet av konstruktionen, en annan är kostnaden för det material som åtgår.

Det är dock inte rimligt att beräkna kostnaderna ingående för varje enskilt fall. En schablonmässig behandling är nödvändig för att man skall kunna erhålla ett resultat med en rimlig arbetsinsats.

Till exempel kan arbetskostnaden kopplas till något mått på konstruktionsytan. För att kunna jämföra kostnaden för olika konstruktionsmaterial, kan en grov uppskattning av de ingående mängderna för olika alternativa utformningar redovisas. För en betongkonstruktion kan detta erhållas antingen i ett antal kubikmeter armerad betong eller specificerat i betongmassa och armering var för sig och en total konstruktionsyta som grund för erforderlig formsättning. För stålkonst-

ruktioner är kanske erforderlig mängd stål av viss kvalitet ett tillräckligt noggrant mått på kostnaden.

Att gå in djupare än så på ekonomiska beräkningar är inte lämpligt eller ens önskvärt, eftersom man ändå inte kan förvänta sig särskilt hög noggrannhet i resultaten man kan erhålla på detta stadium. Dessutom är en ingående ekonomisk kalkyl som grundar sig på prissatta aktiviteter och material mycket svår att utföra. Framförallt är uppbyggnad och aktualisering av en relevant och aktuell "prislista" mycket svårt och resurskrävande.

-Konstruktionsskedet

Där skisskedet avslutar den övergripande systemoptimeringen tar konstruktionsskedet vid med statisk optimering av de ingående statistiska grundelementen.

En del av bivillkoren som gäller för denna process har utarbetats under skisskedet, såsom geometrisk utformning och speciella krav på den färdiga byggnadens statiska funktion, till exempel begränsningar av tillåten nedböjning för golvbjälklag. Dessutom har vissa ekonomiska ramförutsättningar givits som skall uppfyllas. Andra bivillkor, till exempel grundläggande krav på statisk funktion och säkerhet, regleras genom normer och föreskrifter.

Den typ av resultat som önskas är i hög grad beroende av det syfte man har med beräkningen. Man kan särskilja i huvudsak två syften och motsvarande två stadier. I det första, "optimeringsstadiet", utgör beräkningen ett mellanresultat i konstruktionsskedets optimeringsprocess och skall ligga till grund för fortsatta beräkningar. I det andra, "redovisningsstadiet", skall resultatet från beräkningen ligga till grund för den slutliga bearbetningen och presentationen av det färdiga resultatet. Optimeringsstadiet övergår gradvis i redovisningsstadiet när man finner en acceptabel lösning. Det som främst skiljer dessa två åt, är de olika behoven av bearbetning av resultatet.

I optimeringsprocessens inledning vill man relativt snabbt kunna konstatera om en lösning uppfyller ställda krav eller inte. Arbetet under detta skede syftar i första hand till att i grova drag finna den lösning som kan uppfylla givna krav och som samtidigt innebär ett acceptabelt utnyttjande av de använda materialen.

Resultaten skall således i detta skede visa om och i så fall hur bra den föreslagna lösningen klarar kraven på den statistiska funktionen. De skall ligga till grund för kontroll av att tillåtna gränsvärden inte överskrids. De parametrar man studerar uttryckes i första hand genom "primära" statistiska begrepp, såsom moment och tvärkraft, spänningar och deformationer. Efter hand som alltmer förfinade lösningar arbetas fram, ökar behovet av mera bearbetade resultat.

Förutom de rent statistiska egenskaperna måste dock även andra egenskaper kontrolleras. Till exempel om kravet på värmeisolering kan uppfyllas. I detta skede är dock dessa typer av egenskaper underordnade de statistiska, och fordrar därför inte samma höga bearbetningsgrad. Kanske kan det i detta skede räcka med en enkel uppskattning av k-värdet. Vad man vill veta är om tillräcklig isolering kan åstadkommas inom de föreslagna dimensionerna, inte i detalj hur isoleringen skall utföras för att undvika till exempel uppkomsten av köldbryggor.

Förutom detta skall en bedömning ske av de ekonomiska konsekvenser som den föreslagna lösningen medför. Liksom under skisskedet är det inte, i detta tidiga skede av konstruktionsprocessen, realistiskt att som grund för denna utföra en fullständig mängdförteckning. En sådan skulle innehålla alltför stora osäkerheter för att det nedlagda arbetet skulle kunna motiveras. I stället kan en förenklad typ av redovisning vara tillräckligt noggrann som grund för en överslagsmässig bedömning.

Vad man egentligen är ute efter är ett mått på en konstruktions relativa kostnad i förhållande till en annan. Arbetar man med samma noggrannhet i alla beräkningar bör ett någorlunda riktigt förhållande mellan de olika utformningarnas ekonomiska konsekvenser kunna erhållas. Ett tillräckligt noggrant mått kan bestå av en uppskattning och redovisning av konstruktionens begränsningsytor som grund för eventuell formsättning, de ingående materialens kvalitet och mängd, kompletterat med ett mått på den utnyttjade hållfastheten i materialen. Detta kan även ge en tillräckligt god uppfattning om man håller sig inom de ekonomiska ramar som ställts upp.

Ju närmare en färdig lösning man kommer, desto större krav ställs på bearbetningsgraden i resultatet. När man funnit den utformning som, under aktuella bivillkor, bedömes uppfylla de ställda kraven tillräckligt bra, skall det slutliga resultatet verifieras och dokumenteras. De resultat som använts under optimeringsarbetet är i regel inte tillräckligt detaljerade och utförliga för att direkt kunna användas. Därför måste dessa resultat bearbetas i större eller mindre omfattning. Dokumentationen skall innehålla dels hur uppställda krav klaras vad avser form, funktion, statik och ekonomiska ramar, dels ett underlag för hur konstruktionen skall realiseras för att få dessa beräknade egenskaper.

Framförallt består arbetet i att sammanställa svårtillgänglig information till handlingar som kan användas vid produktionen av byggnaden. Den slutliga och fullständiga dokumentationen skall innehålla information om hur lösningen ser ut, vilka egenskaper den har, hur den skall realiseras och hur mycket detta kostar i material och pengar.

Som grund för detta arbete behöver konstruktören förutom de "primära" resultaten, (till exempel de moment och tvärkrafter, som han erhållit under optimeringsfasen), även de resultat som man kan härleda ur dessa, (såsom dimensioner, armering, etc.). De statistiska resultaten skall bearbetas och sammanställas i ritningar: konstruktions- och arbetsritningar. Dessa skall vara så detaljerade att man kan använda dem för att åstadkomma en fullständig mängdavgivning, vilken skall kunna utgöra grunden för redovisningen av den slutliga lösningens ekonomiska konsekvenser.

-Kontrollskedet

För kontrollen av en beräkning fordras att, förutom resultaten från beräkningen, de förutsättningar och antaganden som beräkningen bygger på redovisas. Dessa skall ligga till grund för en bedömning hurvida konstruktören har gjort en rimlig modellering och dimensionering av den aktuella konstruktionen. Exempel på redovisade storheter kan moment, tvärkrafter, nedböjningar vara. Eventuellt kan en vidare bearbetning av resultaten ske så att även armeringsdata i grova drag kan erhållas. Härvid är det inte alltid nödvändigt att en detaljerad fördelning av armeringen erhålles, ett grövre mått på armeringsmängden är tillräcklig i detta fall. Till exempel kan det vara tillräckligt att ange armeringsmängden i form av en genomsnittlig armeringsprocent inom en viss del av strukturen.

Eftersom detta skede snarare handlar om att göra rimlighetsbedömningar än detaljerade analyser bör detta vara tillräckligt som grund.

-Sammanfattning

De resultat som behövs under skisskedet ingår som en del i det underlag som projektören behöver för att utföra en övergripande optimering av den aktuella konstruktionen. På detta stadium går man således inte in på detaljerad optimering av de enskilda konstruktions-elementen, utan intresset sträcker sig i första hand till att bestämma preliminära spännvidder och grova dimensioner, övergripande materialval, etc. För detta behöver i princip inte "primära" resultat redovisas (såsom moment och tvärkrafter, spänningar och deformationer). Istället bör vissa "härledda" resultat redovisas (till exempel armering, erforderliga dimensioner), som kan tas fram genom bearbetning av de "primära" resultaten.

Under konstruktionsskedet däremot, riktas intresset främst på den "primära" informationen. Det är under detta skede som de i byggnaden ingående strukturerna skall utsättas för en detaljerad undersökning och verifiering. För detta behöver konstruktören tämligen utförliga resultat. Ju närmare en färdig lösning man kommer desto högre bearbetningsgrad fordras. Ur de "primära" resultaten tas "härledda" resultat fram.

Under kontrollskedet kan man behöva både "primära" och "härledda" resultat. Behovet varierar beroende på syftet med kontrollen. Ibland anses en mera översiktlig kontroll (till exempel att beräkningens förutsättningar och modellering verkar rimliga) vara tillräcklig, medan man i andra fall önskar utföra en mer eller mindre fullständig beräkning och redovisning av resultatet. I princip kan detaljeringsgraden under detta skede variera allt i från den låga detaljeringsgrad som förekommer under skisskedet till den som är aktuell under konstruktionsskedet.

2.2.2 Noggrannhetskrav

När man diskuterar noggrannhet i datorberäkningar finns två olika begrepp att skilja på, som har att göra med beskrivningen av en struktur. Den första aspekten är en beräkningsmässig förenklad modellering av en tänkt strukturs verkningssätt, det vill säga ett antagande om hur laster bärs o s v. Den andra har att göra med de matematiska förenklingar man gör för att kunna utföra en beräkning.

Exempelvis antas för en platta ofta att bärning sker i form av plattbärning, det vill säga genom böjning. Man antar också ofta att elasticitetsteorin gäller. Inom ramen för denna modellering, som ju ger en differentialekvation för plattans beteende, måste man sedan göra olika approximationer i samband med den numeriska behandlingen, till exempel i form av en elementindelning, en ansats att plattan deformeras som en sinusfunktion, eller dylikt.

För att få ett mått på noggrannheten skulle man i princip på något sätt behöva mäta den verkliga konstruktionens beteende och jämföra detta med det beräknade resultatet. Detta låter sig emellertid inte göras. I stället gör man i praktiken ofta så att man jämför två beräkningar med något olika antaganden i beräkningen. Med dessa som grund skaffar man sig en uppfattning om noggrannheten i beräkningarna. I princip är det förändringen mellan resultaten som studeras och läggs till grund för en bedömning av noggrannheten. Man antar då att ett gränstillstånd existerar vid en oändligt noggrann beräkningsansats.

Det bör då observeras att detta endast "mäter" noggrannheten i själva beräkningen. När det gäller förutsättningarna om verkningssätt och dylikt, har man normalt endast sin erfarenhet att lita till. Den enda möjlighet man har att verifiera noggrannheten i detta avseende är att göra alternativa beräkningar där olika effekter beaktas, och ur skillnaden mellan dessa få något mått på noggrannheten.

Det är också viktigt att konstatera att noggrannheten i resultatet beror på de indata som givits som förutsättningar för beräkningen. Oavsett hur noggrann be-

räkningsmetod man än använder, kan man aldrig erhålla högre noggrannhet i de resultat man erhåller från en noggrann metod, än den noggrannhet med vilken man känner förutsättningarna.

-Skisskedet

Under skisskedet utarbetas övergripande lösningar som uppfyller krav som ställs i kravspecifikationen. Eftersom man därvid inte närmare går in på detaljer i utformningen, är tillgängliga data om den aktuella strukturen inte heller särskilt detaljerade och noggranna. Noggrannheten i de beräkningar som utförs på detta stadium bör således anpassas till den tämligen låga noggrannhetsnivå man arbetar med.

Det är inte meningsfullt att ställa högre krav på precisionen i beräkningarna, än den man kan förvänta sig i de bedömningar och beräkningar man gör i de övriga delarna av processen. Det är dock mycket svårt att ange ett allmängiltigt riktvärde för noggrannheten, eftersom det helt och hållet beror på vilken typ av resultat som avses. Något riktigt användbart siffermått på noggrannhet kan knappast ges då till exempel 20 procent kan vara ganska mycket när man talar om erforderliga platttjocklekar, medan det för spänningar kan vara en fullt acceptabel osäkerhetsnivå.

En målsättning man dock bör ha är att beräkningen skall ge resultat som ligger på den "säkra" sidan. Se avsnitt 2.3.1. Detta motiveras av två aspekter. Dels för att den statistiska tillförlitligheten och säkerheten skall upprätthållas, men även för att de dimensioner som erhålles vid den slutliga dimensioneringen skall "rymmas" inom de utrymmen man givit under skisskedet. Om man på skisskedet, för den förenklade modellen, har "pressat" materialet så att dess hållfasthet helt utnyttjats kan problem uppstå under konstruktionsstadiet när man upptäcker att valda dimensioner inte räcker till, utan utnyttjande av extra höga materialkvaliteter eller dylikt.

Noggrannheten i modelleringen måste också sättas i relation till den tid och beräkningskostnad man kan acceptera, typ av resultat som avses och framförallt den noggrannhetsnivå man behöver för projekteringsarbetet. Ju högre noggrannhetskrav man ställer, desto längre tid och mera resurser måste ställas till förfogande för beräkningsarbetet. Detta innebär för skisskedet att noggrannhetsnivån bör hållas relativt låg. Beräkningarna under skisskedet skulle kunna klassificeras som "grova överslagsberäkningar", vars syfte i första hand är att ge en uppfattning om den föreslagna lösningen ter sig rimlig. Tidsaspekten kommer att närmare diskuteras i avsnitt 2.2.3.

-Konstruktionsskedet

Noggrannhetskraven under konstruktionsskedet varierar mycket starkt beroende av vilket syfte man har med be-

räkningen och beräkningarna kan kan grovt indelas efter dessa syften.

Överslags- och kontrollberäkningar hör till en kategori beräkningar där man ställer relativt måttliga krav på noggrannhet. Målsättningen med dessa är att i grova drag ge användaren en uppfattning om strukturens beteende, för att bedöma rimligheten i de antaganden som gjorts. Ibland kan dock en överslagsmässig beräkning vara tillräckligt noggrann som enda beräkning och underlag för en grovdimensionering. I dessa fall eftersträvar man kanske en något högre noggrannhetsnivå, men den kan ändå föras in under de tämligen grova beräkningarna. Noggrannhetskraven är för denna typ av beräkningar i samma storleksordning som under skisskedet.

Inför beräkningar där man ställer högre krav på noggrannheten måste man, från fall till fall, utföra en bedömning av hur höga krav man kan ställa. I princip är det fråga om en lönsamhetsbedömning, där man tar reda på hur mycket noggrannheten får kosta för att det skall vara mödan värt.

I en sådan kalkyl kommer en rad aspekter in. En aspekt är strävan efter att utnyttja materialen så effektivt som möjligt. En annan aspekt som är viktig är hur mycket det kostar att utföra beräkningen. Varje förbättring av noggrannheten kostar i form av beräknings-tid och kostnaden ökar ofta snabbare ju närmare den "exakta" lösningen man vill komma.

Man kan dock inte enbart se till hur mycket effektiva man utnyttjar materialet och därmed tjänar in i förhållande till kostnaden för beräkningen. Man måste också ta ställning till hur hårt noggrannhetskraven kan sättas för att över huvud taget vara relevanta. Hänsyn måste tas till dels den aktuella beräkningsmetodens egenskaper, dels den säkerhet med vilken man känner övriga parametrar som har avgörande betydelse för resultatet, (såsom laster och materialparametrar). Beräkningsmetoden i sig kan ha egenskaper som gör att om man ställer alltför höga krav på noggrannheten erhålles "dåliga" resultat. Detta skall belysas med ett enkelt exempel.

Antag att man skall analysera en betongstruktur med ett Finita Elementprogram. Linjärelastisk teori förutsättes. Antag vidare att strukturen innehåller inåtgående hörn. Om man i anslutning till ett av hörnen ställer alltför höga krav på noggrannheten, det vill säga gör en allt för tät elementindelning, kommer resultatet att visa mycket höga spänningar i anslutning till det aktuella hörnet. Detta stämmer dock dåligt med situationen i den verkliga strukturen. På grund av att materialen har begränsad hållfasthet, och inte oändlig som elasticitetsteorien förutsätter, kommer genom uppsprickning det beräknade värdena på spänningar aldrig att uppnås. Det erhållna resultatet speglar således på grund av den olämpligt valda model-

leringsnoggrannheten dåligt det verkliga beteendet.

Först när man gjort dessa bedömningar kan man ställa relevanta krav på beräkningsnoggrannheten. Det är således inte möjligt att generellt ange en lämplig noggrannhetsnivå för konstruktionsskedet. Detta måste bedömas från fall till fall.

-Kontrollskedet

Noggrannhetskraven under kontrollskedet varierar, liksom under konstruktionsskedet, mycket starkt. Normalt arbetar man dock, liksom under skisskedet, med förhållandevis måttliga noggrannhetskrav. I första hand skall man på detta stadium kontrollera hurvida en föreslagen lösning är rimlig eller ej. Man går i dessa beräkningar vanligtvis inte in på detaljer, utan granskar de modelleringar och antaganden som gjorts och försöker konstatera om dessa är riktiga och om det resultat som presenteras verkar rimliga i förhållande till antagandena.

Dock måste man ibland, med hänsyn till speciella krav på säkerhet, göra mera detaljerade analyser för sina bedömningar. I dessa fall måste man således ha tillgång till i princip lika noggranna beräkningsmetoder som konstruktören har tillgång till. Noggrannhetsnivån bör styras av den aktuella konstruktionens utseende och den betydelse den har för den totala säkerheten mot brott i konstruktionen.

-Sammanfattning

Noggrannhetskraven under skisskedet är i allmänhet måttliga. Detta beror bland annat på osäkerheten i indata, de beräkningstider och -kostnader man kan acceptera och den noggrannhet man behöver som grund för det övriga överväganden som görs under projekteringsarbetets fortskridande.

Under konstruktionsskedet däremot, kan kraven på noggrannhet vara mycket högt satta, men beroende på syftet med beräkningen kan det också ibland vara tämligen måttliga krav som ställs. I överslagsberäkningar är noggrannhetskraven i nivå med de man har under skisskedet, medan man i de noggranna beräkningar man utför kan fordra i det närmaste "exakta" resultat.

Också under kontrollskedet är kraven på noggrannhet mycket varierande. I princip samma noggrannhetsnivåer kan förekomma, men de "genomsnittliga" noggrannhetskraven är i detta skede lägre än vad som fordrades under konstruktionsskedet.

2.2.3 Tidsfaktor

-Skisskedet

Kravet på snabbhet är primärt under skisskedet. Man har större nytta av att kunna prova olika kombinationer av parametrar, än att erhålla överdrivet noggranna resultat. Resultaten bör kunna presenteras tillräckligt snabbt och på sådan form att möjligheten att manipulera parametrarna upplevs som en möjlighet och inte som ett hinder i arbetet. Ju snabbare resultatet föreligger, desto längre kan optimeringsprocessen drivas. Även detta talar för att man bör eftersträva så enkla beräkningsmodeller som möjligt, med speciell tanke på att minimera den erforderliga beräkningstiden.

Det är vanskligt att försöka ge en maximal tid för hela processen, från indatagivningen till det att resultatet ligger i användarens hand. Denna är i hög grad beroende på användarens förtrogenhet med det aktuella programsystemet. Som ett mycket grovt riktvärde för enbart den rena beräkningstiden kan en minut vara rimlig. Vid längre svarstider blir beräkningstiden alltför lång för att man skall kunna vänta på resultatet utan att företa sig något annat under tiden.

Beräkningstiden måste givetvis sättas i relation till graden av komplexitet i den analyserade konstruktionen, men på detta stadium bör dock modellerna vara så förenklade att de "ryms" inom denna tidsram. Målsättningen bör vara att projektören skall arbeta med denna typ av program interaktivt, det vill säga att efter det att man givit ett parametervärde skall tiden till svar vara så kort att det är rimligt att vänta på resultatet vid terminalen/bordsdatorn.

Det är dock viktigt att tidsåtgången inte enbart räknas som den beräkningstid programmet fordrar för att utföra själva beräkningen. Den tid som åtgår för indatagivning och resultatbearbetning är ofta mera intressant. Således bör indata och utdata från beräkningarna hållas korta och enkla för att befrämja snabbheten.

-Konstruktionsskedet

Den tidsfaktor man under konstruktionsskedet arbetar med varierar starkt beroende på syftet med beräkningen, den noggrannhetsnivå man valt och på den typ och storlek av konstruktion man arbetar med. Om beräkningen skall utgöra grunden för ett ytterligare förfinat beräkningsmoment, är tidstoleransen betydligt snävare än om beräkningen skall utgöra den slutliga beräkningen.

På detta stadium kan man acceptera en annan fördelning mellan effektiv beräkningstid och den tid som åtgår för användarens preparering, kontroll och tolkning. Normalt lägger man ned förhållandevis mera tid på

användarens aktiviteter jämfört med vad som var fallet under skisskedet.

För en preliminär beräkning eller en grov dimensionering kan kanske den accepterade beräkningstiden uppgå till 5 å 10 minuter, i mycket grova drag beroende på konstruktionens komplexitet och storlek, medan man för en förfinad beräkning av en stor och komplicerad struktur kan acceptera tider som räknas i antal timmar. En uppskattning av tidsåtgången för den användarberoende behandlingen är mycket svår att göra. Den beror mycket på hur avancerade och noggranna metoder man använder och hur väl användaren känner till dessa.

-Kontrollskedet

Tidsfaktorn man arbetar med under kontrollskedet är i regel tämligen kort, men kan beroende på beräkningens syfte variera inom vida gränser. Man bör kunna utföra många olika beräkningar utan att uppleva det som tidsödande. Tiden måste naturligtvis sättas i relation till den noggrannhet i resultatet man fordrar, men som ett riktvärde kan en upp till kanske tio minuter ges.

För mera komplicerade fall, där en mera förfinad beräkning är nödvändig, blir tidsramarna av en helt annan storleksordning. I dessa fall kommer helt andra typer av program in i bilden.

-Sammanfattning

Under skisskedets optimeringsarbete kan man inte tolerera långa svarstider. Optimeringsarbetet fordrar att de program som används skall kunna användas interaktivt, det vill säga det skall vara rimligt att sitta framför sin terminal/bordsdator och vänta på resultatet. En övre gräns för beräkningstiden uppskattades därför till cirka en minut.

Eftersom noggrannhetskraven normalt är betydligt högre under konstruktionsskedet kan användaren med större förståelse acceptera att beräkningen tar ganska lång tid. Beroende på noggrannhetskraven och den storlek på den aktuella beräkningsmodellen kan man acceptera från 5 å 10 minuter upp till flera timmar.

Under kontrollskedet fordrar man däremot relativt korta svarstider, dock accepteras något längre svarstider än under skisskedet. Upp till 10 minuter har angivits som en rimlig svarstid. Dock finns det tillfällen när man vill göra en mera fördjupad analys av en struktur, i detta fall får man naturligtvis räkna med tider i nivå med vad som accepteras under konstruktionsskedet.

2.2.4 Presentation

-Skisskedet

Resultaten från beräkningarna skall ligga till grund för dels konstruktiva, dels ekonomiska och funktionella överväganden. Det sätt på vilket resultatet presenteras för mottagaren bör avpassas till denna användning.

Mängden resultat som skall presenteras vid varje beräkning får bli en kompromiss mellan kravet på utförlighet, överskådlighet och det utrymme man har till sitt förfogande. Presentationen bör allmänt hållas kortfattad och koncentrerad på de intressanta punkterna, för att därmed förbättra överskådligheten och underlätta tolkningen av dessa.

Målsättningen bör vara att presentera resultatet på maximalt en sida. Med sida menas i detta sammanhang en sida på en normal bildskärmsterminal. Med ett vettigt urval av redovisade parametrar och med en lämplig disposition av presentationsutrymmet kan användaren på detta sätt få en tydlig, komprimerad och snabb redovisning av resultatet som underlättar en helhetsbedömning av resultatet. Dock bör det finnas möjlighet för användaren att få kompletterande och mera fördjupad information om han så önskar.

Som ett komplement till denna redovisningsform bör det finnas en möjlighet för användaren att enkelt beordra en papperskopia av det resultat som för tillfället visas på bildskärmen. Detta för att spara resultat från beräkningar som kan innehålla intressanta resultat för det fortsatta arbetet, till exempel som grund för indatagivningen till ett annat program. På både denna papperskopia och på den på skärmen redovisade utskriften måste framgå vilka indata som legat till grund för resultatet, så att de efter provande av ett antal varianter kan återskapas.

-Konstruktionsskedet

Under konstruktionsskedet används beräkningsresultaten på huvudsakligen tre sätt: för rimlighetskontroll av beräkningen, som mellanresultat i en sekvens av beräkningar och som underlag för vidare bearbetning samt eventuellt som slutlig redovisning.

Den form på vilken resultaten skall presenteras måste kopplas till användningen av resultatet. I vissa fall är en utskrift på bildskärmsterminal det enklaste och effektivaste sättet att presentera resultatet. För att detta skall vara möjligt fordras att användaren kan välja omfattning på resultatet, eftersom det normalt inte får plats på en normal bildskärm. I andra fall behövs en möjlighet att erhålla en pappersutskrift för att granska resultatet i sin helhet eller för att kunna spara resultat för senare behov.

För kontroll av beräkningar är det värdefullt om man kan erhålla grafiska framställningar av den geometri som använts vid beräkningen, strukturens deformationer utseende, etc. Denna presentationsform "koncentrerar" informationen och presenterar den på en form som mycket snabbt och effektivt kan tolkas av användaren. Emellertid är inte den grafiska presentationen tillräcklig som enda resultat från en beräkning. Ofta måste den kompletteras med numeriska resultat för att en noggrannare sifferkontroll skall kunna utföras. Till exempel måste deformationernas och momentens storlek kontrolleras.

Om resultatet skall användas för en slutlig dimensionering och redovisning av konstruktionen, måste naturligtvis andra krav ställas på dess framställning. I detta fall måste man kanske ha en viss, eventuellt interaktiv, efterbehandling av resultaten för att erhålla en lämplig presentationsform. Denna efterbehandling kan bestå i konstruktion av tabeller och diagram, inläggande av kommentarer och markeringar till viktiga resultat, sammanställningar av intressanta och viktiga delar ur resultatet, med mera. En dylik bearbetning kan göras möjlig och effektiv genom utnyttjande av post-processor teknik.

Ett lämpligt koncept för resultatbehandling under konstruktionsskedet bör bygga på att en uppsättning "grundresultat" sparas från den aktuella beräkningen. Beroende på vilket syfte man har med beräkningen kan ur grundresultatet ett lämpligt utsnitt väljas och bearbetas till lämplig form. Graden av bearbetning anpassas till resultatets ändamål. Bearbetningen kan bestå av allt ifrån framtagande av "härledda" resultat såsom armering, till tabell- och diagramkonstruktion, uppritning av figurer, upprättande av slutliga ritningar och arbetshandlingar.

-Kontrollskedet

Arbetsituationen vid granskning av utförda beräkningar är i regel att man framför sig har ett dimensioneringsunderlag. Med hjälp av de ritningar man har av den aktuella byggnadskonstruktionen skall en verifiering ske av de, på något sätt, framtagna dimensionerna.

Den främsta skillnaden jämfört med skiss- och konstruktionsskedet är att det i detta skede är användaren själv som är mottagare av informationen. Syftet är i första hand att sammanställa informationen så att man lättare kan se huvuddragen i de erhållna resultaten. Intresset för detaljerna är ibland relativt begränsat. Det kan vara tillräckligt att få reda på maximi- och minimivärden för olika parametrar för att kunna bedöma rimligheten hos dem.

Den form man vill ha sina egna kontrollberäkningar presenterade på beror på den omfattning och komplexitet aktuell konstruktion har. För enklare fall kan

en enkel framställning på en enstaka A4- eller bildskärms sida räcka. I andra fall är resultaten så omfattande att en mera utförlig presentation är nödvändig. En allmän strävan är att resultatet presenteras i så kort form som möjligt för att ge användaren en så god överblick som möjligt.

-Sammanfattning

Under skisskedet är man i stort behov av att snabbt kunna skaffa sig en överblick över de erhållna resultaten. För detta fordras att presentationen är mycket komprimerad och väl strukturerad. En sida (bildskärms-sida) angavs som en lämplig omfattning. Dock bör det finnas möjlighet att, när så önskas, erhålla en mera utförlig presentation.

Under konstruktionsskedet blir ofta mängden utdata mycket stor. Detta är delvis en följd av den ökade användningen av beräkningsmetoder med numerisk bakgrund. En utförlig redovisning av resultaten är en förutsättning för att konstruktören skall kunna genomföra en detaljerad analys av konstruktionerna, men det är dock inte alltid nödvändigt att få resultaten redovisade i alla punkter. Användaren bör ha möjlighet att välja i vilka punkter redovisningen skall ske. Detta kan åstadkommas genom att man vid beräkningen sparar en uppsättning "grundresultat" som kan bearbetas med hjälp av en post-processor.

I samband med resultatpresentation kan grafiska hjälpmedel vara till stor hjälp. Dessa komprimerar informationen så att den är lättare tolkbar för användaren. Om strukturen uppvisar ett oväntat beteende i den grafiska framställningen kan en närmare kontroll göras av de numeriska värdena som ligger bakom. Grafisk presentation kan användas under i alla skeden av processen.

Presentationens omfattning under kontrollskedet kan variera beroende på vilket syfte man har med beräkningen, men normalt vill man ha en relativt enkel och kortfattad redovisning, koncentrerad på de intressanta punkterna. Det kan vara lämpligt att användaren anger i vilka punkter och hur utförligt resultat skall presenteras.

2.2.5 Indata

-Skisskedet

Eftersom tiden för indatapreparation och indatagivning skall medräknas i den totala omloppstiden för en beräkning bör indatagivningen till programmen i detta skede vara så snabb och enkel som möjlig. Indatarutinererna skall i första hand anpassas för ett interaktivt arbetssätt. Det är dock inte någon nackdel om man på ett enkelt sätt kan utnyttja information om exempelvis geometrin från en CAD-databas. Detta får dock inte

medföra att rutinerna för den manuella inmatningen blir lidande.

För att uppnå en enkel och snabb indatagivning bör mängden indata som skall ges vid varje beräkning reduceras till ett minimum. Man bör eftersträva att begränsa mängden indata så att de, liksom resultatet, ryms inom ramen för en bildskärmsida. För att åstadkomma detta kan en schablonmässig och "konservativ" datahantering användas.

Noggrannhetsnivån på detta stadium tillåter att man med tillräckligt stor noggrannhet kan ge schablonvärden på många parametrar. Med detta avses att man till en viss användning av den färdiga konstruktionen kopplar ett antal defaultsatta (standard-) statistiska begrepp.

Vid användande av defaultsatta värden i detta sammanhang skall man dock särskilja två olika huvudtyper av parametrar. Nämligen sådana som är specifika för varje problem och sådana som är mer eller mindre oberoende av problemets art.

Till den första kategorien kan geometridefinitionen hänföras. Dessa parametrar bör inte ges standardvärden, utan skall alltid, åtminstone i det första beräkningssteget, matas in av användaren. Den andra kategorien av parametrar kan dock med fördel ges som standardvärden. Ett typiskt exempel på sådana parametrar är laster och materialkonstanter. Exempelvis kan användaren genom att ange användningsområdet kontorslandskap och konstruktionsmaterialet betong, automatiskt erhålla motsvarande defaultsatta värden för relevanta last- och materialparametrar.

Genom konservativ databehandling kan ytterligare tidsvinster uppnås. Med detta menas att de indata som man givit vid en beräkning skall sparas, åtminstone mellan två på varandra följande beräkningar. Dessa kan då utgöra en grund för nästa beräkning. Endast parametrar som skall ändras, behöver då matas in på nytt inför nästa beräkning. Ytterligare vinster kan erhållas om användaren dessutom kan spara en godtycklig uppsättning parametrar, "den bästa hittills", på ett mera permanent sätt. Denna möjlighet ger större frihet genom att man inte behöver vara så "rädd om" sina parametrar, utan kan göra större och mera radikala förändringar, i flera beräkningssteg, utan att gå miste om sin hittills "bästa" lösning.

En sådan övergripande indatahantering bör kunna vara tillräckligt noggrann i detta skede av projekteringsprocessen. För speciella konstruktioner där man till exempel har stora laster som kommer att få stor betydelse för utformningen av den bärande konstruktionen, kan dessa komplettera eller ersätta givna schablonvärden. Liksom om man har speciella krav på de ingående konstruktionsmaterialen eller andra speciella effekter som man vill ta hänsyn till på detta tidiga

stadium. Dock bör vissa rimlighetskontroller utföras och varningar ges, så att inte material av orimligt hög hållfasthet förutsättes.

Med en sådan övergripande filosofi i indatahanteringen bör arbetsinsatsen vid indatagivningen kunna hållas på en rimlig nivå, vilket är nödvändigt för att optimeringsprocessen inte skall avstanna på grund av ett alltför betungande arbete med indatagivningen.

-Konstruktionsskedet

Optimeringsarbetet under konstruktionsskedet sker till stor del "hantverksmässigt", det vill säga interaktivt mellan program och användare. Användaren preparerar indata och genomför beräkningen för att därefter, med resultatet som utgångspunkt, besluta om ny beräkning erfordras eller inte. För att denna interaktion skall kunna ske så friktionsfritt som möjligt krävs att stor möda läggs ned på effektivitetshöjande åtgärder i detta led.

Koppling till ett generellt CAD-system kan utgöra en sådan effektivitetshöjande åtgärd, men får inte utgöra ett villkor för programmets effektivitet och användbarhet. Indatarutinerna skall finnas anpassade till ett interaktivt, manuellt arbete.

Mängden indata som skall ges vid varje beräkning beror dels på den noggrannhetsnivå man befinner sig på, dels på den beräkningsmetod som används. Metoder som baseras på "handberäkningsmetoder" arbetar vanligen med förhållandevis mindre mängder indata än sådana som grundar sig på numeriska, matematiska metoder, exempelvis FEM. Indata till program av den förra typen är dessutom mera "konstruktörmässiga" och kan därför lättare förstås och hanteras av konstruktörer.

De tunga delarna i indatagenereringen är främst geometridefinitionen samt hantering och kombination av olika belastningsfall. Beroende på den använda beräkningsmetoden, kan ibland också definition av randvillkor fordra stora mängder indata. Materialdefinitionen fordrar normalt inte stora mängder indata, däremot kan valet av relevanta parametrar vara en källa till problem.

Geometridefinitionen kan, speciellt i samband med FEM, med fördel automatiseras och effektiviseras med någon form av nätgenererare. Detta kan ske med en så kallad pre-processor. Med en sådan styr användaren elementmodellens utseende med speciella kommandon. Själva inmatningen av enskilda noder och element har automatiserats, men det är fortfarande användaren som bestämmer hur elementnätet skall se ut. Man skulle kunna driva denna tanke ännu längre genom att automatiskt anpassa elementmodellen till en av användaren specificerad noggrannhetsnivå. Beskrivningen av den övergripande geometrin, som skall ligga till grund för den automatiska genereringen, bör så nära som möjligt an-

sluta sig till konstruktörmässiga begrepp. Ett sådant koncept närmar sig det som används i handberäkningsmetoder.

Även hantering av laster och kombination av olika lastställningar och lastfall bör kunna ske mer eller mindre automatiskt.

Definition av randvillkor hör till de delar av indata som mycket beror av vilken beräkningsmetod man använder. För de metoder som kan hänföras till kategorien numeriska, matematiska metoder, FEM till exempel, kan denna del av indatagenereringen vara både arbetskrävande och begreppsmässigt komplicerad. I dessa metoder modelleras strukturen i diskreta punkter. Denna diskretisering kan medföra att modellerna blir mycket stora, speciellt om strukturen är stor och/eller noggrannhetskraven är högt ställda.

I syfte att minska modellernas storlek och därmed beräkningstiden, försöker man ofta att utnyttja symmetrier i modellen. För att uppfylla de statiska kontinuitetsvillkoren längs symmetrisnittet, måste man även i dessa snitt definiera randvillkor. Detta kan innebära att det för större modeller kan bli en hantering av avsevärda mängder information. Därför vore det en stor fördel om denna bit kunde förenklas och automatiseras så att begreppen blir mer lätthanterliga för användaren.

Ett optimeringsförfarande innebär att flera beräkningar måste utföras med olika alternativa formgivningar och lösningar, som sedan jämföres. De första beräkningarna i denna sekvens sker kanske med en relativt enkel och grov beräkningsmetod och -modell, för att eventuellt senare kompletteras med en mera förfinad beräkning. Med tanke på detta och att indata mängderna kan bli mycket stora, bör hanteringen av data så långt som möjligt, inom konstruktionsskedet, vara konservativ.

Med detta menas att grunddata för en konstruktion skall kunna sparas och användas som grund för flera beräkningar. Den grundmodell som erhållits som förut-sättning från skisskedet skall enkelt kunna läsas in (eventuellt via en koppling till ett CAD-system) och därefter användas som grund för alla de beräkningar man skall utföra. Detta bör innefatta även övergången mellan mindre noggranna beräkningar och noggranna beräkningar. Man skall således kunna arbeta med samma grunddata oavsett på vilken noggrannhetsnivå man befinner sig på. Konservativ indatabehandling blir än mer angelägen då man skall arbeta med program på högre noggrannhetsnivåer, eftersom mängden indata då tenderar att bli tämligen stor.

-Kontrollskedet

Indata till program i detta skede kan i princip ha samma omfattning och innehåll som de grova, överslags-

mässiga programmen under konstruktionsskedets optimeringsstadium.

Oavsett om man har tillgång till de indata som legat till grund eller inte bör indata till dessa kontrollberäkningar alltid ges på nytt. Detta för undvika att oupptäckta indatafel överförs till kontrollberäkningen.

Indata till dessa program bör vara så enkla som möjligt. Om den kontrollerande instansen inte har tillgång till de data som en gång genererades i konstruktionsskedet, som fallet oftast är vid en "extern" kontroll, skall indata ändå kunna läsas in "för hand" med en rimlig tidsåtgång.

I princip kan samma koncept som används i konstruktionsskedets grova beräkningar användas även i detta sammanhang.

-Sammanfattning

Under skisskedet bör man, för att nedbringa mängden indata och därmed uppnå en så snabb och effektiv indatahantering som möjligt, utnyttja möjligheten att ge parametrar defaultsatta värden. Defaultsättningen kan vara schblonmässig, det vill säga att man kopplar en viss användning av den färdiga konstruktionen med en uppsättning defaultsatta parametrar. En sådan förenklad indatagenerering kan, med tanke på de stora osäkerheter som i övrigt finns i indata på detta stadium, vara fullt tillräcklig. Ytterligare tidsvinster kan dessutom uppnås genom att indata från en beräkning sparas och kan efter erforderliga ändringar användas på nytt.

Indatagivningen kan under konstruktionsskedet bli mycket betungande, speciellt om man använder numeriska beräkningsmetoder, såsom Finita Element Metoder. Förutom en konservativ indatabehandling bör möjligheterna till automatisk indatagenerering utnyttjas, till exempel i form av automatisk geometri- och modelldefinition i samband med FE-modeller. Om man dessutom kan åstadkomma en koppling till det CAD-system som projektören använt för den geometriska definitionen kan detta också vara till stor nytta.

Mängden indata som skall ges vid en kontrollberäkning är beroende på ambitionsnivån i kontrollen. Normalt är man i första hand ute efter en rimlighetskontroll. För denna typ av beräkning bör indatagivningen inte bli så betungande. När man däremot önskar göra en mera noggrann kontroll kan den erforderliga mängden indata vara av samma storleksordning som för noggranna beräkningar under konstruktionsskedet.

2.3 Beräkningsmodeller

För att utföra beräkningar måste matematiskt formulerade beräkningsmodeller av de strukturer som skall analyseras upprättas. Dessa modeller skall, under vissa förutsättningar, så bra som möjligt approximera den verkliga, tänkta konstruktionens statistiska verkningsätt för att ge tillförlitliga resultat med lämplig noggrannhet. Modellerna upprättas framförallt för statistiska beräkningar, vilket skall behandlas i detta sammanhang, men de skall även ligga till grund för bedömningar av konstruktionens funktion och ekonomiska konsekvenser.

I det tidigare skedena, skisskedet, är syftet att ge konstruktionerna preliminära dimensioner. Man kan arbeta med tämligen enkla och grova beräkningsmetoder. Kravet man ställer på konstruktionen är att utformningen skall vara ekonomiskt rimlig och statistiskt möjlig. Under konstruktionsskedet skall, med de förutsättningar som givits under skisskedet, konstruktionens dimensioner och utformning optimeras. För detta behöver man ett större urval av beräkningsmetoder på olika noggrannhetsnivåer.

Modelleringar kommer således in under skiss-, konstruktions- respektive kontrollskedet. Noggrannhet och innehåll varierar dock starkt beroende på i vilket skede av projekteringsprocessen som beräkningen skall användas och i vilket syfte.

Upprättande av beräkningsmodeller är ett av de mest betydelsefulla skedena i beräkningsprocessen. Det är i detta skede man, genom att på ett realistiskt sätt modellera den verklighet man skall beräkna, lägger grunden för tillförlitliga resultat. Det är därför av stor vikt att man behärskar det språk och den begreppsapparat som används i detta sammanhang. Denna problemställning har utförligare behandlats av Ludvigsson & Eriksson (1983).

För att man över huvud taget skall kunna diskutera begreppen, är det nödvändigt att man är överens om vad man lägger i begreppet beräkningsmodell.

För att utföra beräkningar, oavsett om det sker för hand eller med datorstöd, måste man införa antaganden och förutsättningar.

Exempel på överväganden man måste göra är att:

- bestämma uppläggningsförhållanden för strukturen,
- avgöra om tvärkraftens inverkan på resultatet är av betydelse,
- bedöma vilka belastningar och kombinationer av laster som är dimensionerande,
- välja hur materialets beteende skall modelleras

Allt detta ingår som delar av det som, i detta sammanhang, definieras som beräkningsmodell. Det vill säga att förutom den geometriska beskrivningen faller lastantaganden, upplagsvillkor, antaganden om verknings sätt och materialbeteenden inom beräkningsmodellens ram.

Utvecklingen och användningen av datorbaserade beräkningsmetoder har inneburit stora förändringar både vad avser innehållet i beräkningsmodellerna och sättet att definiera dem. Språket och den begreppsapparat som förekommer i dessa sammanhang har genomgått en stark förändring och har i många avseenden gått mot ett mera specialiserat och datoranpassat språk, en utveckling som inte kan anses gynna tillförlitligheten och effektiviteten i samband med datorberäkningar.

Det är således nödvändigt att man börjar se över och bättre användaranpassa det språk och den logik som används i samband med datorberäkningar. Genom en sådan anpassning skulle man kunna uppnå en positiv inverkan både vad avser effektivitet vid användningen av datorprogram och den tillförlitlighet man skulle uppnå i resultaten. Anpassningen måste ske såväl i indatarutiner som vid presentation av resultat. Genom att det modellspråk som användes redan är bekant och inarbetat behöver användaren inte använda dyrbar tid till att sätta sig in i och förstå specialbegrepp. Genereringen av indata löper på så sätt smidigare.

En annan konsekvens blir att det är enklare att upptäcka de eventuella felaktigheter som ändå har uppstått vid inmatningen. Man har således, förutom en effektivitetsvinst, erhållit en förbättrad tillförlitlighet vid datorberäkningarna. En utförligare diskussion om detta har redovisats i Ludvigsson (1984).

2.3.1 Val av beräkningsmetod

Vid valet av beräkningsmetod för analys och dimensionering, är det i första hand metodens giltighet för den aktuella tillämpningen man tänker på. Naturligtvis är detta viktigt, men vi skall här se valet av beräkningsmetod i ett något vidare perspektiv. Inte enbart konstruktörens val av beräkningsmetod avses, utan även principerna för valet av metoder under andra skeden av projekteringsprocessen.

När man diskuterar val av beräkningsmetod på de olika stadierna av projekteringsprocessen, måste hänsyn tas till de olika användarkategorier som skall utföra beräkningarna. En skiljelinje finns mellan skiss- respektive konstruktions- och kontrollskedet. En generell kategorisering av användarna ger att, under skisskedet, det främst är projektörer som programmen vänder sig till. Projektörer har i regel arkitektbakgrund, medan användarna under konstruktions- och kontrollske-

det främst utgörs av konstruktörer. Mellan dessa två personalkategorier finns stora skillnader i bakgrund och erfarenhet samt i fråga om inriktning. Medan arkitektens intresse i första hand inriktas på att åstadkomma en optimal utformning och funktion hos byggnaden, är konstruktören mera inriktad på att erhålla en fungerande och optimal statistisk utformning.

Det som dock mest markant skiljer mellan dessa två personalkategorier är deras bakgrund i fråga om teoretisk utbildning och erfarenhet av statistiska beräkningar.

Arkitektens kunskaper om konstruktioner bygger till övervägande delen på erfarenheter från tidigare projekt. På detta sätt har han skaffat sig en uppfattning om vilka dimensioner som "brukar" behövas för de allra vanligaste typerna av strukturer. Dessa erfarenheter gäller dock endast för mycket enkla renodlade "normalfall". För nya typer av strukturer måste någon form av beräkning utföras för denna första uppskattning.

Konstruktören har naturligtvis också skaffat sig erfarenheter från tidigare projekt, men i botten ligger en utbildning och kompetens vad avser beräkningsmetodernas egenskaper, tillämpningar och strukturers verkningssätt.

Detta faktum bör avspegla sig i det val av beräkningsmetoder man gör för de olika skedena. En grundprincip bör vara att de krav som beräkningsmetoden ställer på användarens teoretiska kunskaper, inte får vara större än vad kompetensen på området medger. Vissa metoder fordrar till exempel att användaren utför ett antal beräkningar med något olika förutsättningar, exempelvis brottfigurer vid analyser med brottlinjeteori. Varje enskild beräkning ger inte ensam en korrekt bild av erforderliga dimensioner. Med resultaten som grund skall användaren dra slutsatser om konstruktionens bärförmåga och verkningssätt. Dessa typer av metoder kan vara mindre lämpliga att använda på skisstadiet, men kan mycket väl användas på konstruktionsstadiet.

Andra aspekter som man bör hålla i minnet är vad resultaten skall användas till och i vilket skede, samt vilka krav man ställer på noggrannheten. På skisstadiet syftar man till att finna en utformning som är ekonomiskt optimal och som uppfyller de funktionskrav och bivillkor som ställs. Dessutom fordras att den skall vara statistiskt realiserbar. Man skall på konstruktionsstadiet kunna finna en praktiskt genomförbar utformning som klarar de normgivna statistiska kraven, och som inte skiljer sig på ett avgörande sätt från den man erhållit på skisstadiet.

En grundprincip för valet av beräkningsmetod på skisstadiet bör vara, förutom att metoden skall vara lämplig för avsedd tillämpning, att den på detta stadium skall ge resultat som ligger på "den säkra" sidan. Det vill säga beräkningen skall resultera i dimensioner

som alltid "håller". Man kan naturligtvis inte acceptera att man ger konstruktionen orimligt "grova" dimensioner, men man bör heller inte försöka att "pressa" dem för mycket. Anledningen till detta är dels hänsyn till den statistiska tillförlitligheten, dels att konstruktören inte skall bli tvungen att öka konstruktionens dimensioner för kunna klara de uppställda kraven. Beroende på vilken parameter man väljer att mäta, kan man sträva efter att hålla resultatet inom en viss angiven felmarginal.

På konstruktionsstadiet eftersträvas i första hand en "optimering" av konstruktionens dimensioner så att man så ekonomiskt som möjligt utnyttjar materialet och samtidigt klarar de krav som ställs på den statistiska funktionen. Användarens kompetens och djupare teoretiska kunskaper om konstruktioner och beräkningsmetoder samt deras egenskaper medger ett friare val av beräkningsmetoder på detta stadium. Förutom de metoder som ger resultat på den säkra sidan kan man tänka sig att använda metoder som ger "osäkra" resultat. Detta fordrar mera tolkning av resultatet, vilket i sin tur ställer större krav på teoretiska kunskaper om metodernas egenskaper.

För att konkretisera principen skall ett förenklat exempel ges. Verkligheten är mera komplex än vad detta exempel visar, men ger ändå en relativt god bild av grundprinciperna bakom valet av beräkningsmetod.

Antag att den konstruktion man vill analysera och dimensionera är en platta av armerad betong. Vid valet av beräkningsmetod kan man välja mellan två metoder med stora principiella skillnader, metoder som grundar sig på jämviktsteori eller brottlinjeteori.

I jämviktsteori ser man till att moment- och kraftjämvikt råder i konstruktionens alla delar. Jämviktsteori ger ett "undre" gränsvärde på konstruktionens bärförmåga. Det vill säga att den beräknade bärförmågan är mindre eller, i bästa fall, lika med den teoretiska bärförmågan.

Om man dimensionerar för de krafter och moment som erhållits enligt denna teori, vet man att resultatet som erhålles, enligt plasticitetsteori, alltid ligger på den "säkra" sidan. Man vet dock inte hur nära den teoretiskt optimala lösningen man befinner sig, med andra ord, hur mycket man underskattat bärförmågan. Genom att gradvis göra alltmer förfinade analyser kan man närma sig den teoretiskt sanna lösningen, hela tiden från den säkra sidan. Metodens nackdel är att man inte erhåller en realistisk brottmekanism. Av denna anledning ger metoden inte några säkra indikationer för hur konstruktionen beter sig i brottgränstillståndet.

Brottlinjeteori däremot lägger tonvikten på att åstadkomma en teoretiskt möjlig brottmekanism i konstruktionen. Man får då istället inte kraft- och momentjämvikt i varje punkt. Brottlinjeteori ger, till

skillnad från jämviktsteori, ett "övre" gränsvärde för bärförmågan. Detta innebär att den sanna bärförmågan, i bästa fall, kan vara lika med den beräknade, men den kan också vara mindre. För att övertyga sig om att den beräknade bärförmågan ligger tillräckligt nära den teoretiskt sanna, utför man ett antal beräkningar med ett antal alternativa brottfigurer. Den brottfigur som ger den lägsta bärförmågan lägges till grund för armeringen av plattan.

Man har således inte samma "säkerhet" i brottlinjeteori då man hela tiden befinner sig på den osäkra sidan. Hur noggranna beräkningar man än gör, kan man aldrig komma över på den "säkra" sidan med sina resultat. Gränsen går vid den enligt teorien exakta lösningen. Det krävs således en god portion kunskaper och erfarenheter för att kunna dra slutsatser om den verkliga bärförmågan. Metodernas principiella väg mot den sanna lösningen kan illustreras med FIG 2.1.

En slutsats man kan dra av detta är att det fordras avsevärt större erfarenhet och kunnande för att använda brottlinjeteorien. Av denna anledning skulle en sådan beräkningsmetod inte vara lika lämplig att använda på skisstadiet som en metod grundad på jämviktsteori. Dels har man på detta stadium en användarkategori som formellt sett inte har de nödvändiga teoretiska kunskaperna om metodernas innersta egenskaper, dels erhåller man med brottlinjeteori en konstruktion som "inte håller". Det senare innebär att konstruktören kan få svårt att hitta en statistiskt realistisk utformning inom de begränsningar som givits på skisstadiet och därför måste öka dimensionerna.

Resonemanget om "osäkra" sidan är dock bara giltigt så länge man antar sedvanliga förenklingar i plattan. Brottlinjeteori har nämligen "dolda" reserver i bärförmågan genom bidrag från valv- respektive membranbärning som normalt inte beaktas. En förutsättning för att man skall kunna utnyttja dessa bidrag är att upplagen är tillräckligt "styva", eller att konstruktionsens form är sådan att krafterna kan tas upp "internt" i konstruktionen. Med det senare menas att den geometriska formen skall vara sådan att de rörelser som fordras för membranbärning, förhindras genom den geometriska kontinuiteten. Man kan kontrollera om en viss brottlinjefigur är förenad med membranverkan, genom att försöka vika en pappskiva efter brottlinjerna.



FIG 2.1 Vägen mot den "sanna" lösningen

Man skall dock observera att dessa bidrag till bärförmågan, trots att upplagen formellt är tillräckligt styva för att uppta dessa krafter, kan falla bort på grund av olämplig geometri. Detta är speciellt allvarligt eftersom resultatet enligt brottlinjeteori redan från början ligger på den osäkra sidan.

För att bidragen från valv- respektive membranverkan skall bli av avgörande betydelse, förutsättes dessutom att deformationerna är tillräckligt stora, vilket normalt innebär att de får betydelse först i brottgränstillstånd. I bruksgränstillståndet riskerar man att få en besvärande sprickbildning och deformationer. Bidragen bör således, i normalfallet, ses som en extra säkerhet mot brott i konstruktionen och inte som en del av en konstruktions bärförmåga i bruksgränstillståndet. En beräkning enligt elasticitetsteori kan i stället ligga till grund för bedömningen av uppsprickning och nedböjningar, vilket också anvisas i betongnormerna.

Av detta kan man dra slutsatsen att det fordras mycket ingående kunskaper om dessa effekters egenskaper och betydelse för den totala bärigheten. Dessa kunskaper kan man inte påräkna att finna under projekteringsprocessens alla skeden.

2.4 Beskrivning av beräkningsmodeller

Alla konstruktioner som skall analyseras, måste på ett eller annat sätt beskrivas med matematiska formuleringar för att kunna analyseras med hjälp av tillgängliga beräkningsmetoder. Detta gäller för så väl analytiska och numeriska metoder som för hand- respektive datorberäkningar. I mellan de koncept som används i de olika fallen förekommer dock stora skillnader.

Analytiska metoder kan användas både vid handberäkningar och datorstödda beräkningar. Numeriska metoder däremot, till exempel FEM, är av framförallt praktiska skäl nästan uteslutande avsedda för datorberäkning, då beräkningsarbetet snabbt blir alltför betungande. Dessutom medför mängden beräkningar att det blir praktiskt taget omöjligt att för hand åstadkomma en beräkning som inte innehåller räknepfel.

Nedan skall en förenklad bild ges av det språk- och den begreppsapparat som förekommer vid modellering i konstruktionsprocessens olika sammanhang.

2.4.1 Handberäkning

Handberäkningsmetoder bygger vanligen på analytiska och/eller empiriska härledningar. Dessa har genom lång tids användning kommit att utgöra grunden för konstruktionsläran inom undervisning och praktiskt konst-

ruktörsarbete. Utvecklingen har gått så långt att man inte längre uppfattar dem som modeller som approximerar ett verkligt beteende, utan snarare ser dem som den absoluta sanningen om strukturens beteende.

Detta tar sig bland annat uttryck i att de avvikelser från de analytiska resultaten som regelmässigt erhålles vid numeriska beräkningar, uppfattas som ett fel i de numeriska resultaten. Man har dock inte någon grund för att påstå att någon beräkningsmetod, varken den analytiska/empiriska eller numeriska, ensamt återger sanningen. Oavsett vilken metod man arbetar med måste man hålla i minnet att de endast utgör en förenklad approximation av en komplex verklighet. De kan, tillsammans, ge en uppfattning om det sanna beteendet, dock aldrig hela sanningen. Med goda kunskaper om de olika metodernas teoretiska bakgrund och egenskaper kan man, i bästa fall, dra slutsatser beträffande vilken metod som sannolikt, för just detta fall, ger det bästa resultatet.

De begränsningar som införs i handberäkningsmetoderna blir inte medvetna på samma sätt då de inte längre uppfattas som en förenklad modell, utan snarare som en objektiv beskrivning av verkligheten. Om man antar att de utgör den absoluta sanningen, skulle det, i princip, till varje struktur finnas en entydig lösning. Att så inte är fallet kan man inse om man låter två konstruktörer, oberoende av varandra, utföra en analys av en inte alltför renodlad konstruktion. Resultaten kommer med största sannolikhet att avvika från varandra. Detta beror inte enbart på att de arbetat med olika beräkningsnoggrannhet i beräkningarna, utan på att de valt att modellera strukturen och infört antaganden på litet olika sätt.

En annan konsekvens av att man, både i utbildning och praktik, använt dessa metoder är att det språk och den begreppsapparat som används, blivit väl förtrogen. Metoderna och språket har utvecklats parallellt och har standardiserats mot varandra. Detta har naturligtvis sina fördelar i att konstruktören enkelt och effektivt kan arbeta med sina modeller. Eftersom dessa beräkningsmodeller använts under så lång tid har de även fått en stark förankring i de normer och föreskrifter som reglerar dimensionering av byggnadskonstruktioner.

De begrepp som förekommer har vanligen en logisk koppling till de företeelser de avser att beskriva. Beskrivningen av geometrin sker med välkända begrepp som bredd, längd, spännvidd, tjocklek. Lasterna kan karakteriseras med hänsyn till deras utbredning, (punktlast, linjelast, utbredda laster) eller med hänsyn till deras variation med tiden (korttidslast, långtidslast eller utmattningslast). Det vill säga att modellbegreppen svarar mot en logisk och fysisk verklighet som väl passar in i den mänskliga begreppsapparaten.

En annan fördel som finns med handberäkningsmetoderna, är att användaren kontinuerligt får mellanresultat som, på ett tidigt stadium, kan visa om en beräkning kommer att resultera i ett acceptabelt resultat eller inte. Vad man uppnår är alltså en kontinuerlig rimlighetskontroll av beräkningen, och kan på så sätt hitta enstaka fel som skulle vara svåra att genomskåda i det färdiga resultatet. Beroende på resultaten kan konstruktionens dimensioner eller formgivning ändras så att krav som ställs på konstruktionens funktion uppfylles.

2.4.2 Datoranpassade handberäkningsmetoder

När datorer började användas som beräkningshjälpmedel i projekteringsprocessen, bestod programmen man använde i första hand av datorformuleringar av gamla välkända handberäkningsmetoder. Programmen saknade den generalitet som utmärker dagens datorprogram. Varje program var i princip avsett för en viss typ av strukturer, till exempel kontinuerliga balkar eller ramar.

Eftersom programmens teoretiska bakgrund byggde på de välkända beräkningsmetoderna innebar övergången till datorbearbetning inte några stora begreppsmässiga problem. I stort sett samma modelleringsteknik och begrepp kunde användas. Snarare var datorprogrammen, på grund av sin begränsade generalitet, enklare i sin beräkningslogik eftersom vanligen endast enkla typfall kunde analyseras. Beräkningen av en konstruktion fick delas upp i en rad beräkningssteg, ofta i kombination med handberäkningar, där man i varje steg analyserade en enkel, renodlad delstruktur.

Situationen karaktäriseras av att modellspråket fortfarande var anpassat till den språk- och begreppsapparat som konstruktören normalt använde. Tankarna och ideerna bakom programmen hade således sin grund i de sedan länge välkända och bekanta modellerna. Omställningen för konstruktören blev därför inte särskilt stor i detta avseende.

Dock skall framhållas att datorn på detta stadium inte var ett verktyg som användes av alla konstruktörer. Först och främst var det en liten grupp "datorentusiaster" som kom att använda detta hjälpmedel i någon större utsträckning. Detta berodde dels på dålig spridning av datorprogram, dels på att programmen och datorerna inte var speciellt användarvänliga. De problem man hade var till största delen av datorteknisk natur, det vill säga problem med handhavandet av datorn och programmen.

Den största omställningen och anpassningen bestod i att förse datorn med information om den aktuella modellen. Detta kunde i de tidigare skedena av datoriseringen ha sina speciella svårigheter då programmen oftast var av "batch"-typ. Det vill säga att man gav in data i form av stansade kortbuntar. Förfarandet ställ-

de stora krav på en noggrann indatakontroll innan körningen påbörjades. Kontrollens uppgift var i första hand att kontrollera att de indata som stansats verkligen överensstämde med den modell man upprättat och kanske mindre på att den antagna modellen på ett realistiskt sätt beskriver strukturens beteende och verkningssätt. De redigeringsmöjligheter som stod till buds var en hel eller delvis omstansning av kortbuntarna.

I och med att programmen i allt större utsträckning kunde styras från olika typer av terminaler underlättades redigering och kontroll avsevärt. Fortfarande arbetade man dock oftast med så kallade "batch"-körningar med speciella indatafiler, men nu kunde indata ges i klartext och redigeringsmöjligheter erbjöds via speciella editeringsprogram.

En nackdel som man bör framhålla är att detta arbetsätt dåligt utnyttjar datorns speciella möjligheter, att behandla mera förfinade beräkningsmodeller. I handberäkningsmetoderna har, för att hålla beräkningsarbetet på en rimlig nivå, en rad approximationer och förenklingar införts. Många av dessa är inte nödvändiga att införa när man arbetar med datorer. Däremot blir man tvungen att införa andra som bättre tar hänsyn till datorns möjligheter och begränsningar.

2.4.3 Datoriniterade metoder - FEM

Med datorns intåg på konstruktionsområdet har metoder utvecklats och tagits i bruk som inte varit realistiska att använda vid handberäkning. De metoder man kanske i första hand tänker på i detta sammanhang är Finita Element metoder. Användning av denna innebär, idag, att konstruktören helt måste bryta med sitt gamla sätt att beskriva sina modeller. Finita Elementmetoden är en matematiskt härledd metod, med sitt speciella språk och koncept som helt skiljer sig från det som konstruktören normalt använder i sitt dagliga arbete.

Den skiljer sig från handberäkningsmetoderna i ett mycket viktigt avseende. Medan teorierna bakom handberäkningsmetoderna bygger på analytiska och/eller empiriska härledningar och resultat, är finita elementmetoden en matematisk metod som saknar direkt förankring i byggnadskonstruktionsarbete. Metoden är från grunden en matematisk metod att lösa system av differentialekvationer med matrisformulering. Kopplingen till byggnadskonstruktion är att problemen man vill lösa, ofta kan formuleras just som differentialekvationer.

Mot denna bakgrund skall man se uppbyggnaden av det mycket speciella modellspråk som används i program av finita elementtyp. Språket är således i första hand anpassat till den matematiska bakgrunden. Viss anpassning av språket och begreppsapparaten har skett för

vissa modellbegrepp. Till exempel har programmen ofta något kommando, som givits en logisk koppling till begrepp i statisk tillämpning, för definition av materialegenskaper och laster.

En faktor som bidrar till den dåliga anpassningen till konstruktörens begreppsvärld, är att metoden är mycket generell. Man har inte ett program för varje typ av struktur eller tillämpning, såsom program för plattor, ramar, fackverk eller statiskt bestämda och obestämda konstruktioner, etc. Alla dessa strukturer och tillämpningar kan normalt analyseras i ett och samma program. Det är användaren som själv styr programmet så att den avsedda strukturen analyseras på avsett sätt. I princip skulle alla konstruktörmässiga beräkningsuppgifter som ingår i konstruktionsprocessen kunna behandlas i ett enda program.

Ett pris för denna generalitet är att det modellspråk som används också måste vara generellt vilket innebär att det är mycket dåligt förankrat i en aktuell problemställning och användarens begreppsapparat. Modellspråket har en närmare koppling till de matematiska än till de konstruktörmässiga modellbegreppen. Den geometriska beskrivningen kommer att beskrivas med begreppen noder och element, upplagsvillkor med fixerade frihetsgrader, etc. Anpassningen till konstruktörens normala begreppsapparat är i detta avseende dålig, eller helt obefintlig. Vad man egentligen gör vid modelldefinitionen är att ge villkoren för hur ekvationerna skall se ut och hur de hänger samman.

De modellbegrepp som används i handberäkningsmetoderna finns inte definierade och färdiga i denna typ av program. Det blir i stället användarens uppgift att själv definiera funktioner och egenskaper hos generella modellelement. Detta kan göras genom att definiera geometri, materialegenskaper och randvillkor. Eventuellt kan man i vissa program även ge elementbundna laster, simulerande exempelvis egenvikt.

Modellelementen som man har att tillgå är dock inte helt fria från "inbyggda" numeriska och därmed statiska egenskaper. De approximeras numeriskt, vad avser geometri, förskjutningar, kraft- och momentvariation inom elementet, av ett antal funktioner. Egenskaperna hos dessa funktioner ger elementen vissa numeriska egenskaper som har avgörande betydelse för ett elements lämplighet i olika situationer. Medan vissa skall användas när skjuvdeformationer är av betydelse, kan andra över huvud taget inte ta hänsyn till detta. Dessa egenskaper, som alltså har stor betydelse för valet av elementtyp, kan för en "vanlig" konstruktör vara svåra att genomskåda. I många fall är det också svårt att inse deras betydelse för noggrannheten i beräkningen.

Ett annat problem, av numerisk natur, som användaren kan ställas inför är att välja antalet integrationspunkter som skall användas vid den numeriska integra-

tionen. Den noggranne användaren som, med den hedervärda avsikten att erhålla noggranna resultat, väljer att använda många punkter kan med vissa typer av element hamna i svårigheter. Det kan nämligen för vissa fall inträffa något som kallas locking-effekt, till exempel då skjuvdeformationer beaktas i balkar och plattor.

Sammantaget innebär alltså användningen av dessa metoder att användaren dels tvingas att använda ett främmande modelleringspråk, dels kan ställas inför valsituationer som han egentligen inte har tillräcklig teoretisk kompetens att klara.

2.5 Koppling till generella databaser

Tidigare har nämnts det arbete som pågår med att överföra information om strukturers geometriska utseende som lagrats i CAD-databasen, mer eller mindre, direkt till beräkningsskedet i konstruktionsprocessen. Den information som härvid överförs från CAD-systemet till beräkningsenheten måste, för att man skall erhålla en realistisk beräkningsmodell, bearbetas och modifieras.

Svårigheterna ligger främst i det koncept de generella CAD-systemen har för att beskriva den geometriska utformningen av en struktur.

Den information som finns i CAD-databasen avser beskrivning av en konstruktion i form av ritningsdata. Begrepp som volymer, ytor, linjer, etc, används för den geometriska beskrivningen. Det finns ingen koppling mellan dessa begrepp och den funktion de har i den färdiga konstruktionen, utan är i första hand ritningsinformation. Databasen är således inte organiserad så att man enkelt kan urskilja vad som är väggar, tak, balkar. Detta gör att tolkningen av databasens information, till något som har någon betydelse i konstruktionssammanhang, blir mycket komplicerad och svår.

Konceptet för geometridefinitionen är avsedd att kunna beskriva generella strukturer med krökta ytor. Detta har sin orsak i att CAD-systemen från början utvecklades för att användas inom andra industriella områden, elektronik- och maskinkonstruktion, där de geometriska formerna kan vara betydligt mera komplicerade än vad som normalt förekommer inom byggnadskonstruktion.

Inom byggnadskonstruktion är de allra vanligaste geometriska begränsningsarean plana ytor och/eller linjer. Dessa behandlas som specialfall av en generellt krökt yta eller linje. Det innebär således att dessa geometriskt enkla begränsningsbegrepp beskrivs på ett onödigt komplicerat sätt. Detta kan medföra stora problem att ur en sådan geometridefinition plocka ut de förhållandevis triviala data som fordras för konst-

ruktionsberäkningar.

Även om man ur dessa relativt komplicerat formulerade geometridata lyckas plocka ut den nödvändiga informationen om den struktur som skall analyseras, så återstår en viktig del, nämligen att tolka informationen så att en beräkningsmodell kan upprättas. Man måste vara medveten om att den geometriska beskrivningen i ett CAD-system inte på något vis utgör en beräkningsmodell. Det är snarare så att geometridefinitionen i CAD-systemet endast utgör ett underlag vid upprättandet av beräkningsmodellen. För att man skall kunna betrakta geometridefinitionen som en sådan måste man, förutom att komplettera den med annan information som inte finns representerad i ett CAD-system (laster till exempel), införa vissa antaganden, (enligt vad som angavs i avsnitt 2.3), om strukturens randvillkor, materialegenskaper, etc. Dessutom är det inte säkert att den geometri som CAD-systemet beskriver exakt överensstämmer med den som beräkningsmodellen arbetar med.

Således utgör informationsöverföring i detta fall endast en överföring av en grundförutsättning för en formulering av beräkningsmodeller. För att ur denna information åstadkomma en beräkningsmodell måste en mera intelligent bearbetning och komplettering av informationen ske.

3. DATORSTÖD I KONSTRUKTIONSSKEDET

3.1 Konceptskillnader

Av det ovan förda resonemanget framgår att det föreligger en avgörande skillnad mellan hur en konstruktör vanligen beskriver sin beräkningsmodell och hur ett datorprogram vill få beräkningsmodellen presenterad. I detta avsnitt skall ytterligare aspekter diskuteras som kan innebära kommunikations- och tolkningssvårigheter för konstruktören, i samband med användande av datoriniterade beräkningsmetoder, speciellt Finita Elementmetoder.

Orsaken till skillnaderna kan sammanfattas under begreppet konceptskillnader mellan konstruktör och datormetoder i allmänhet. Två olika sådana skillnader kan urskiljas. Dels en skillnad mellan människors sätt att uttrycka sig och kommunicera och det sätt som datorn behandlar den information som den behöver för lösandet av ett visst problem. Dels en skillnad i konceptet mellan konstruktören och det använda programmet.

3.1.1 Konstruktör - dator

Om man analyserar det mänskliga språket närmare finner man att det innehåller en rad oprecisa och vaga uttryck som vi använder för att värdera och måttsätta olika företeelser. I det mänskliga språket används en rad relativa måttsättningar, det vill säga vi jämför med ett liknande eller närbesläktade tillstånd. Detta "mjuka" språk konfronteras med datorns mera absoluta och "hårda" språk, med enbart ettor och nollor som grundelement.

En människa uppfattar sin omvärld genom de fem sinnen. Dessa samlar information om den kontinuerliga verkligheten. Bland en enorm mängd information som ständigt flödar in, kommer endast en bråkdel att bli medveten hos människan, resten gallras bort som ovidkommande. Det vill säga enbart den för människan intressanta informationen tolkas och bearbetas vidare. På samma sätt fungerar konstruktören i sitt arbete. Han har förmågan att koncentrera sitt intresse till de för det aktuella problemet intressanta punkterna. På så sätt får han en överskådlig och lätthanterlig bild av situationen.

Datorer saknar förmågan att sovra i information, arbeta med helhetsintryck och uppfatta verkligheten som kontinuerlig. Datorn arbetar med en, så när som på de förenklingar man infört, komplett uppsättning information i alla situationer, dessutom gäller denna enbart

för ett bestämt ögonblick. Ett verkligt kontinuerligt förlopp måste diskretiseras för att kunna beskrivas i datorn. För att noggrant beskriva ett kontinuerligt förlopp måste diskretiseringen göras tillräckligt "tät" för att man inte skall förlora alltför mycket i noggrannhet. En avvägning måste ske för att ta hänsyn till dels de kostnader det innebär att arbeta med små diskreta steg, dels till den noggrannhet man behöver i lösningen till problemet.

Man kan, med ett enkelt exempel illustrera denna grundläggande skillnad med sättet att avläsa tid. En människa som "avläser" en vanlig analog urtavla, gör vanligtvis inte någon exakt avläsning utan nöjer sig med den noggrannhet man kan få genom att betrakta visarnas inbördes ordning i förhållande till urtavlans markeringar. Kravet på noggrannhet växlar beroende på det aktuella tillfället och syftet med tidsangivelsen. Tiden avrundas, mer eller mindre omedvetet, till en för tillfället tillräcklig noggrannhet. Om man tänker sig datorn i motsvarande situation, har den ett helt annat angreppssätt. Den avläser alltid med högsta möjliga precision och representerar tiden med en kombination av ettor och nollor, unikt för den aktuella tidpunkten. Se FIG 3.1.

Denna skillnad i språkuppbyggnad och arbetsmetodik, kan ställa till problem när det mänskliga språket konfronteras med det "digitala" datorspråket. Så är fallet när en komplicerad och nyanserad verklighet skall brytas ned och modelleras med hjälp av det hårda datorspråket. Det blir nödvändigt att förenkla verkligheten till en nivå som är möjlig att representera i datorn. Många förlopp som i verkligheten är kontinuerliga, måste diskretiseras för att kunna representeras och simuleras i datorn.

Problemen uppstår dels i programmeringsskedet, dels i indataskedet, när modellen skall beskrivas. Vid programmeringen ges programmet en förmåga att, med ett ändligt antal mellelement, modellera vissa typer av

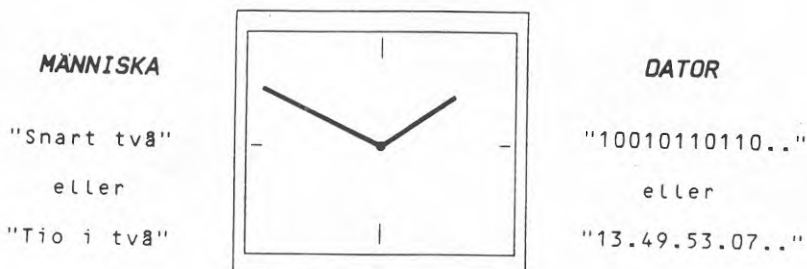


FIG 3.1 Tolkning av information

strukturer. Med dessa skall användaren av programmet, konstruktören, modellera den struktur som skall analyseras. Man har således en diskretiserings- och modelleringsprocess vid två oberoende tillfällen. För att de resultat man erhåller från beräkningen skall ha någonting med verkligheten att göra, krävs att programmerare och användare tolkar och översätter den fysiska verkligheten på ett kompatibelt sätt.

3.1.2 Konstruktör - program (programmerare)

Det språk och den modelleringslogik som används i beräkningsprogram, har utformats under påverkan från, dels programmeraren och hans bakgrund, dels den beräkningsmetod som används, och dels kravet på generalitet i modellspråket.

Programskaparen är idag vanligen en person med erfarenhet av datorer och datorteknik, samtidigt som man har en konstruktörsbakgrund. I sitt arbete med datorer har han skaffat sig ett språk och arbetssätt som färgats av datormiljön. Detta innehåller en avsevärd flora av mer eller mindre försvenskade engelska datortermer. Programmeraren har dessutom i sitt arbete med den avancerade beräkningsmodellen tillägnat sig ett språk och en begreppsapparat som är starkt kopplad till den aktuella beräkningsmetoden. Denna kombination av språk och begrepp kommer att genomsyra det språk och den begreppsapparat som används i programmet.

Detta specialiserade språk kan, för den ovane datoranvändaren, vara främmande och svårt att förstå. Konstruktören tvingas att sätta sig in i detta språk och använda detta för att beskriva sina beräkningsmodeller.

Ett annat problem består i att den beräkningsmetodik som används i programmen avsevärt skiljer sig från det som konstruktören normalt använder vid beräkning för hand. Till exempel vid användande av Finita Elementmetoder beräknas primärt förskjutningarna i strukturen och ur dessa beräknas sedan motsvarande snittkrafter, medan det normala vid handberäkningar är att man ur de beräknade snittkrafterna beräknar motsvarande förskjutningar.

Ett annat område som har stor betydelse för tillförlitligheten är den logik som används i dagens program. Med logik menas i detta avseende de konventioner som förutsättes i samband med modellering, till exempel antagna riktningar för laster, förskjutningar, olika styvhetsbegrepp, etc. Den logik som används i dagens program överensstämmer dåligt med den konstruktören traditionellt är van vid.

Logiken är i första hand anpassad till datorer och de speciella beräkningsmetoder som används. Detta har i många fall fått till följd att, till exempel, rikt-

ningar på laster och förskjutningar definierats positiva med hänsyn till den teoretiska bakgrunden. Till exempel att en last och nedböjning är positiva uppåt för golvbjälklag. Dock skall man observera att man i vissa program har en sådan teoretiskt motiverad konvention, medan i andra har andra, mera användaranpassade konventioner.

En sådan logikkrock kan dels innebära svårigheter vid beskrivningen av modellen, dels förorsaka att ett fel inte upptäcks i ett resultat eller modell då man förvillas av att storheten har ett motsatt tecken mot vad man förväntat sig. Motsvarande svårigheter uppstår när resultatet skall kontrolleras och tolkas. Ett sätt att komma till rätta med detta problem är att använda någon form av grafisk presentation, till exempel en bild av deformationsfiguren.

Det språk och den begreppsapparat som förekommer i de program som för närvarande erbjuds, blir alltmer komplicerat och specialiserat. Konstruktören tvingas in i en begreppsvärld som han inte känner igen från sitt ingenjörsmässiga arbete. Detta innebär naturligtvis vissa komplikationer. Bland annat kommer effektiviteten i arbetet att påverkas negativt, då en större del av tiden åtgår till tolkning och förståelse av det använda språket och begreppen. Dessutom kan denna begreppsförvirring leda till att tillförlitligheten i resultaten blir sämre än vad de annars skulle behöva vara.

3.1.3 Datormetoder - normer

De normer och föreskrifter som reglerar byggverksamheten är idag till övervägande delen, nästan uteslutande, anpassad och avsedd för de traditionella handberäkningsmetoderna. Anpassningen till dagens moderna metoder, datorberäkningarna, är i många avseenden mycket svag.

Skillnaden utgörs bland annat av att man i de datorberäknade resultaten tagit hänsyn i sin modellering till effekter som vanligtvis försumrats eller schablonmässigt behandlats i handberäkningsmetoderna. Många handberäkningar bygger på första ordningens teori, det vill säga man har försummat de sekundära effekter förskjutningar och deformationer, har på moment- och kraftfördelningen i konstruktionen. Att ta hänsyn till dessa effekter i ett konventionellt datorprogram utgör inga speciella svårigheter. Den noggranne konstruktören som utnyttjar denna möjlighet att erhålla denna "förbättring" av sina resultat, kan få problem när han skall jämföra resultaten med de normgivna värdena.

3.2 Programbeskrivning

Den alltmer tilltagande användningen av datorprogram har således inneburit att en del nya problem har uppkommit. Ovan konstaterades det att en typ av problem till stor del beror på olika former av kommunikations-svårigheter.

Ett annat kan spåras till att allt fler programanvändare använder program som de själva inte har utvecklat eller där de inte ens deltagit i utvecklingsarbetet. Utvecklingen går mot en alltmer utpräglad specialisering, där vissa har specialiserat sig på programutveckling och -underhåll, medan andra i allt större utsträckning blir renodlade användare av program. Avståndet mellan programskapare och programanvändare har således ökat, vilket i sin tur har medfört att ett informationsproblem har uppstått.

Det enda sättet att komma till rätta med detta är att se till att nödvändig information om programmen och dess egenskaper verkligen når fram till den som skall använda programmen. Informationen kan överföras dels direkt via meddelanden i programmet, men framförallt genom en bra och väl strukturerad programbeskrivning. Det är framförallt utformningen av den senare som är avgörande för kvaliteten hos informationsöverföringen. Man måste således ställa allt högre krav på programbeskrivningarna, både vad avser innehåll och organisation.

I en studie som redovisas i Eriksson m. fl. (1983), framgår att standarden hos programbeskrivningar är mycket varierande. Man kan finna beskrivningar av tämligen omfattande program som endast innehåller en eller ett fåtal sidor, ofta ganska bristfällig, information. Ibland består den av ett eller kanske några tillämpningsexempel. Det finns dock också gott om exempel på motsatsen. Det vill säga att programbeskrivningen i och för sig innehåller den nödvändiga informationen, men att den är strukturerad på ett sätt så att viktig information inte framträder på ett tillräckligt tydligt sätt.

Anledningen till dessa missförhållanden kan ofta hänföras till att beskrivningen av programmet inte kopplas till programutvecklingen, utan ses som en separat del av projektet. Programbeskrivning hamnar långt ned på prioritetsslistan och kommer därför i kläm i en snäv budget och/eller tidsram. Man satsar förhållandevis mera resuser på programmets fulländning än på programmets beskrivning. Bell m. fl. (1983), anser att det i själva verket är programbeskrivningen som ofta är det säkraste måttet på programvarans kvalitet, vilket förmodligen är sant. Oavsett hur bra ett program är, kan det bli fullständigt ruinerat om programbeskrivningen inte förmedlar den nödvändiga informationen för att användaren skall kunna använda programmet på ett riktigt sätt.

Kraven på informationsinnehåll, utformning och omfattning kan dock vara olika beroende på vilken typ av program som avses beskrivas. Det är inte rimligt att ställa samma krav på beskrivningen av ett litet, specialiserat program som på ett stort och generellt beräkningssystem. Speciella hänsyn måste tas till hur stor mängd information som är nödvändig, för att man skall kunna förstå och använda ett program riktigt, och hur denna information lämpligen skall presenteras. För att belysa detta skall en jämförelse göras mellan två program som representerar ytterligheterna väl.

Som ett exempel på ett litet och specialiserat program har programmet BETONGBALK valts. Programmet utför statisk och nedböjningsberäkning av fritt upplagda och kontinuerliga strimlor och balkar, med relativt stora möjligheter att välja olika typer av randvillkor och belastningar. BETONGBALK ingår i beräknings- och rit-systemet BERIT, vilket utvecklats och ägs av Jacobson & Widmark AB, J&W.

Som kontrast till detta har det mycket stora och generella Finita Element programmet ANSYS valts. ANSYS är ett av de mest allmängiltiga programmen som finns på marknaden. Det ger användaren möjlighet att lösa praktiskt taget alla typer av problem som kan formuleras med Finita Elementmetoder.

Naturligtvis är skillnaderna vad avser programbeskrivningen stora mellan dessa två program. Programbeskrivningen omfattar i fallet BETONGBALK totalt cirka 19 A4-sidor. Den innehåller beskrivning av användningsområde, anvisningar för indata, beskrivning av beräkningsmetoder och förutsättningar samt beräkningsexempel.

5 sidor avser anvisningar för indata förutom de 4 indata tablåer som vardera omfattar en sida. Totalt alltså 9 sidor för behandlingen av indata. Detta räcker för att användaren skall förstå innebörden av de beteckningar som används, välja riktiga indata och mata in dem på rätt sätt.

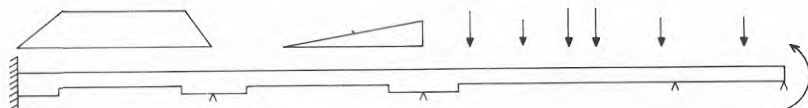


FIG 3.2 Programmet BETONGBALK
Jacobsson & Widmark AB, (1980)

Anvisningarna för indata för BETONGBALK är således mycket enkelt och ändamålsenligt uppställd. Antalet parametrar som skall ges av användaren är relativt få och får plats inom ramen för de mycket "luftiga" indatatablåerna. FIG 3.3 visar ett exempel på hur en tablå ser ut. Denna omfattning på anvisningar för indata är tillräcklig för denna typ av program, dock inte för ett program med ANSYS komplexitet.

INDATABLANKETT

ARBETS-NR	KONTOR	SIGN	TEXT (MAX 56 TECKEN)

FÄLT	LFL	ST8DV	ST8DH	SPEC
ANTAL				0

L(1)	L(2)	L(3)	L(4)	L(5)	L(6)	L(7)	L(8)	L(9)
M	M	M	M	M	M	M	M	M

EI(1)	EI(2)	EI(3)	EI(4)	EI(5)	EI(6)	EI(7)	EI(8)	EI(9)
0	0	0	0	0	0	0	0	0

UTBREDDA LASTER VILANDE

PU(1)	PU(2)	PU(3)	PU(4)	PU(5)	PU(6)	PU(7)	PU(8)	PU(9)
KN/M	KN/M	KN/M	KN/M	KN/M	KN/M	KN/M	KN/M	KN/M

UTBREDDA LASTER RÖRLIGA (OM LFL > 1)

PU(1)	PU(2)	PU(3)	PU(4)	PU(5)	PU(6)	PU(7)	PU(8)	PU(9)
KN/M	KN/M	KN/M	KN/M	KN/M	KN/M	KN/M	KN/M	KN/M

SLUT

FÖRKLARINGAR

FÄLT: ANTAL FÄLT, MAX 9 ST.

LFL : 1=ENDAST VILANDE LAST, ETT LASTFALL.
2=ST8DMOMENT OCH TVÄRKRAFT BERÄKNAS MED FULL LAST.
FÄLTMOMENT BERÄKNAS MED ÖGYNNSAM PLACERING AV RÖRLIG LAST.
3=FÄLTMOMENT, ST8DMOMENT OCH TVÄRKRAFT BERÄKNAS MED ÖGYNNSAM PLACERING AV RÖRLIG LAST.

ST8DV, ST8DH: INSPÄNNINGSGRAD I VÄNSTER RESP. HÖGER ÄNDE.

L() : BALKFÄLTENS SPÄNNVIDDER.

EI() : BALKFÄLTENS STYVHETER ANGIVNA SOM RELATIVA TAL.

PU() : UTBREDDA LASTER.

SLUT: 0=SISTA BERÄKNINGEN.

1=MINST EN BALK TILL SKALL RÄKNAS, BÖRJA ÖM MED RADEN ARBETS-NR

FIG 3.3 Indatatablå till programmet BETONGBALK
Jacobsson & Widmark AB, (1980)

Enbart användarhandledningen för ANSYS omfattar två normala A4-pärmar. I denna ingår då inte den teoretiska bakgrunden, den finns i en annan skrift.

I FIG 3.4 visas en del av ett schema hur indata skall ges till detta program. Schemat, som i sig självt fyller två sidor, kompletteras med en kortfattad förklaring för varje parameter (totalt 79 sidor), och en detaljerad indatabeskrivning om totalt 56 sidor. Till detta kommer de olika indata som gäller för de cirka 60 olika elementtyperna som kan användas.

Man inser således att betydligt mera arbete måste läggas ned på att strukturera informationen om ett så stort och generellt program som ANSYS än i fallet BETONGBALK. Detta är nödvändigt för att informationen över huvud taget skall nå fram till användaren och göra det möjligt för honom att använda programmet på avsett sätt och förstå de resultat som erhålles.

Trots att ANSYS programbeskrivning är välstrukturerad, fordras omfattande kunskaper för att kunna göra även en mycket enkel beräkning. Även för ett ganska litet och begränsat problem måste ofta ett tämligen stort antal parametrar matas in till programmet och man måste kanske dessutom ta ställning till parameterval som helt saknar relevans i det aktuella fallet. För att underlätta användningen av denna typ av program, har man för MARC, ett annat mycket generellt FE-program utvecklat ett speciellt expertsystem, SACON. Detta skall hjälpa användaren med bland annat val av parametrar, (se avsnitt 4.2.2.).

Även om nu dessa exempel skiljer sig starkt från varandra, finns ändå ett antal grundläggande krav och ambitioner som är gemensamma i de båda fallen och som är oberoende av det aktuella programmets storlek och komplexitet.

Programbeskrivningen kommer till användning i tre skeden under programmets livstid och har därvid olika syften. Under programutvecklingsskedet skall programbeskrivningen säkerställa informationsutbytet mellan de i utvecklingsarbetet inblandade parterna. När programmet tas i praktisk användning behöver användaren och den organisation som skall ansvara för programmets underhåll och drift, information om programmet, dess funktioner och egenskaper. De krav som ställs på programbeskrivningen under dessa skeden är mycket olika. I detta avsnitt skall användarens, i detta fall konstruktörens, behov av information diskuteras.

Dess syfte under användningsskedet är att möjliggöra för en användare, med nödvändig grundläggande kompetens men utan tidigare kunskap om programmet, att använda programmet korrekt och effektivt. Bell m. fl. (1983), har liknat programbeskrivningen med en beskrivning av andra komplexa produkter såsom byggnader, flygplan eller TV-apparater, men med den påtagliga skillnaden att datorprogram är immateriella. I fallet

ANSYS INPUT DATA SUMMARY

CARD	FIELD																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A	Title - (20 A4 (Alpha-numeric) Fields) [†]																			
B	Name - (4 A4 Fields) [†] NONT NSTP A4 [†] A4 [†] -- IEQM -- ICOR																			
C1	NCHK	KAN	KCE	KCDF	KTB	KNL	KRF	KBC	KGP	KSE	KED	KPRE	KPST	KAY1	KAY2	KAY3	KAY4	KAY5	KAY6	KAY7
	KAY8	KAY9	KY10	--	--	--	--	NOFS	--	--	KPRP	KNR	NOCL	KAPO	(These values are in Fields 21-34)					
C2	TREF	TUNF	ALPD	BETD	--	KRST	TOFS	--	KMOD	KORD	KGEO									
D	ITYP	JSTF	K1B	K1A	K1	K2B	K2A	K2	NJ	INPR										
DA	See Chapter 5 (Preprocessing)																			
D2	RC1	RC2	RC3	RC4	RC5	RC6	RC7	RC8												

FIELD COLUMNS	VARIABLE	MEANING
A CARD *** PROBLEM TITLE		
1-80	IHEDD	TITLE FOR OUTPUT. IF COLUMNS 77-79 ARE LEFT BLANK AND A COMMA PUNCHED IN COLUMN 80, THE TITLE MAY BE CONTINUED ON THE FOLLOWING CARD. NO LIMIT. SLASH (/) CARD DIRECTIVES FOR SPECIAL PROBLEM CONTROLS MAY ALTERNATELY BE INPUT AT THIS LEVEL. SEE SECTION 2.26.
B CARD *** NAME CARD (FREE-FORMAT NOT USED) ON THIS CARD SINCE NAME AND IACCNT FIELDS ALLOW COMMA AS A VALID ALPHA-NUMERIC CHARACTER)		
1-16	NAME	(OPTIONAL) USFR IDENTIFICATION NAME
18	NONOTE	0 - PRINT NOTES (NEW FEATURES, MODIFICATIONS, ANNOUNCEMENTS, ETC.) AT END OF SOLUTION 1 - SUPPRESS PRINTOUT OF NOTES (NOT RECOMMENDED)
19-24	NSTEPS	0 - LOAD STEPS (CARDS L-Q) END AT L CARD TERMINATOR N - TERMINATE LOAD STEPS AFTER N (OFTEN USED TO PARTIALLY READ PREVIOUSLY GENERATED LOAD STEP FILE)
25-32	IACCNT	(SYSTEM OPTION) ACCOUNT NUMBER, SEE APPENDIX 5
37-42	IEQMAX	(OPTIONAL) MAXIMUM NUMBER OF EQUATIONS USED IN WAVE FRONT (TO CHECK FOR ADEQUATE CORE STORAGE)
73-80	ICORE	(SYSTEM OPTION) CORE SIZE PARAMETER. SEE APPENDIX 5

Maximum Number of Equations Used (IEQMAX). This optional bit of information is intended to be a safeguard against a job terminating because of insufficient core storage during the wave front procedure. The model check problem (see Section 2.7), or any solution problem, prints the maximum equations used, the maximum equations allowed for the requested core storage (see this card, ICORE), and the core storage or data area required for this problem. The maximum equations used may then be input for IEQMAX of the solution problem to insure that the program will not start the solution unless adequate core space is available. The use of this optional check is recommended for large problems.

Core Size Request (ICORE). The amount of core storage is requested on a system control card but may also be required as input on this ANSYS data card. The data check problem (or any solution problem) prints the core storage or data area required for the solution of the problem. This required core storage or data area should be requested for the run. The ANSYS coordinator at your computer facility or Appendix 5 should be consulted to determine the form of input in this field, if any.

FIG 3.4 Indatamall för ANSYS
Control Data Corporation (1978)

programbeskrivningen är det beskrivningen som i många avseenden skall ge en bild av de abstrakta ideer som ligger bakom programmets funktion.

För att tillfredsställa alla de informationsbehov som förekommer, måste programbeskrivningen vara tillräckligt utförlig, men den får för den skull inte bli för omfattande. En bra beskrivning måste kompromissa mellan dessa krav för att åstadkomma en balanserad programbeskrivning. Vidare skall programbeskrivningen vara precis, rakt på sak och komplett. Den skall vara målinriktad och rikta sig till en speciell målgrupp.

För att uppnå allt detta torde en nivåindelad informationsstruktur vara nödvändig, där man delat upp beskrivningen i ett antal relevanta delar. Delarna skall kunna sammansättas till en helhet riktad till en viss målgrupp. På detta sätt kan informationen få en lämplig struktur. Dessutom bör det innebära att man under upprättandet av beskrivningen får mera lätthanterliga bitar att arbeta med. I FIG 3.5 som hämtats från Bell m. fl., har sex olika huvuddelar definierats. De olika delarnas innehåll, målgrupp, primära syfte och framställningssätt har angivits.

Programbeskrivningen skall således ge användaren den bakgrundsinformation som han behöver för att kunna: dels välja rätt program, dels använda det på avsett sätt, dels tolka de resultat som erhålles.

För valet av program behöver konstruktören information som gör det möjligt att avgöra om ett aktuellt program passar för den avsedda tillämpningen. Denna information skall hållas mycket kort och skall ge en översiktlig bild av programmets teoretiska bakgrund, möjligheter och begränsningar, tillgänglighet och helst också kostnad.

När han funnit ett program som verkar vara lämpligt för den aktuella tillämpningen, behöver han närmare studera de förutsättningar som gäller för användningen av programmet. För detta behöver han en fullständig programbeskrivning. Nedan skall ges en del allmänna synpunkter på vad en programbeskrivning bör/skall innehålla.

Först och främst skall programbeskrivningen redogöra noggrant för de typer av strukturer som kan analyseras, vilka möjligheter och begränsningar det aktuella programmet har. Men det kan vara lika viktigt att redogöra för vilka typer av problem som programmet inte kan eller är lämpligt att användas till. Till exempel närbesläktade problem som av någon anledning inte kan behandlas.

Konstruktören är den som har det slutliga ansvaret för att de beräknade resultaten är riktiga. Det faktum att ett datorprogram har använts för hela eller vissa delar av en beräkning kan inte på något sätt frita honom från ansvar för resultatet. Därför måste konstruktören

Document	Content	Target readership	Primary use	Format
General description	Description of most important system functions, and features	Management Potential users	"Marketing"	Easily understood prose
User's manual	All information necessary for correct and efficient use of the program	Users	Use	Precise and complete text illustrated by examples. Users own notation
Functional specification	Complete and detailed definition of all system functions	Programmers Users	Development	Text, tables, charts
Design specification	Internal construction of the system	Programmers	Development Maintenance	Data flow, data dictionary, program structure, pseudo-code
Program description	Detailed description at code level	Programmers	Maintenance	Listings, variable lists, core pointers, file lay-out
Verification manual	Test examples	Users Programmers	Use Maintenance	Problem description, data input, printout, judgement of results

FIG 3.5 Dokumentation av programvaruprodukter
Enligt Bell m. fl. (1983)

alltid ha tillgång till och noggrant kunna kontrollera den teoretiska bakgrunden som det använda programmet arbetar efter. Om den använda analysmetoden är en allmänt känd och vedertagen metod, kan det vara tillräckligt att ange denna, kompletterat med de eventuella förutsättningar som därvid antagits. Om några principiella undantag eller ändringar har gjorts skall dock dessa presenteras mycket noggrant.

De indata som skall ligga till grund för beräkningen måste beskrivas. Både vad avser innehåll och hur de skall ges. Likaså skall de utdata som erhålles från programmet anges, till typ och helst också med vilken noggrannhet. Speciellt värdefullt är också en anvisning om hur utdata skall tolkas. Med detta avses inte att man skall ge en exakt redovisning, punkt för punkt, hur utdata skall tolkas, utan snarare att ge en sammanställning av de förutsättningar redovisade utdata har kommit till under.

I de flesta program förekommer felmeddelanden. Dessa är vanligtvis mycket korta och knapphändiga i programmet på grund av det begränsade utrymmet som står till förfogande. Därför bör i programbeskrivningen dessa ges extra utrymme, med noggranna förklaringar till vad de i många fall korta och kryptiska meddelandena man fått på skärmen betyder. En bedömning av vad som är den troliga orsaken till felet och hur det kan ha påverkat eventuellt lämnade resultat bör också ges.

Till sist skall dessutom en redogörelse ges för de dator tekniska förutsättningar som programmet fordrar. Minneskapacitet, programstorlek, typ av dator, programmeringsspråk, eventuella grafiska utdatamedia som fordras eller kan användas, uppgifter om vilka beräkningstider vissa typiska problem fordrar, kostnader, etc., är den typ av information som bör tas upp i en sådan.

Programbeskrivningar har betydligt utförligare behandlats av Bell m. fl. (1983) och The Association of Professional Engineers of the Province of Ontario, Canada (1977).

3.3 Speciella svårigheter i samband med FEM

Det är främst i finita elementprogram som modellspråket avviker från konstruktörens normala modellbegrepp. I den ovan förda diskussionen konstaterades det att det på åtminstone två områden finns förbättringar att vidta för att bättre anpassa dagens program till konstruktörens behov. Det första området är det språk och den begreppsapparatur som används vid modellbeskrivning, det andra området rör den logik som förekommer i samband med FE-program.

Det fordras av användaren mycket gedigna kunskaper och en god portion erfarenhet för att de resultat som

erhålles från ett finit elementprogram skall kunna användas som grund för dimensionering. Dels är det den matematiska bakgrunden som ställer till problemen. Dels innebär elasticitetsteorin att det för vissa strukturer, till exempel betongplattor, inte är lämpligt grunda sin dimensionering på enbart en FE-beräkning.

3.3.1 Geometridefinition

Nodpunkter och element utgör grundstenarna vid geometridefinitionen i ett finit elementprogram. Med dessa grundelement skall användaren bygga upp en matematisk modell som så bra som möjligt beskriver den verkliga strukturens utseende och funktion. Det är dock inte i alla sammanhang lämpligt att elementnätet helt överensstämmer med den verkliga geometrins konturer. Av beräkningsekonomiska skäl tvingas man ibland göra vissa förenklingar av geometrin för att erhålla en mera ekonomiskt realistisk modell.

Förutom att med elementmodellen söka efterlikna den verkliga geometrin, skall elementindelningen, genom lokala förtätningar och utglesningar, styra beräkningsnoggrannheten kring vissa känsliga punkter eller områden. Punktupplag, hörn, plötsliga ändringar i tvärsnitt, punktlaster, inspända kanter med mera utgör sådana intressanta punkter.

Den noggranne konstruktören kan lätt, i sin iver att uppnå så noggranna resultat som möjligt, förledas att alltför mycket förtäta sitt elementnät i dessa områden. Det är dock inte så enkelt att en onyanserad förtätning av elementnätet innebär bättre och noggrannare resultat. Ett sådant förfarande kommer istället att innebära att man får resultat som inte kan användas som grund för armering av konstruktionen. Starkt förenklat kan man säga att ju tätare man indelar i element i anslutning till ett hörn, singulär punkt med Finita Element termer, desto större påkänningar kommer man att erhålla. Spänningarna kommer att gå mot en oändligt stort värde. Detta är i och för sig korrekt enligt elasticitetsteorien, men det är inte en realistisk spänningsfördelning i praktiken.

I den verkliga konstruktionen kommer dock detta inte att inträffa. I FE-modellen, som normalt bygger på elasticitetsteori, tas inte hänsyn till att de ingående materialen har begränsade hållfastheter. Uppsprickning och plastiska deformationer kommer att medföra en omlagring av moment och krafter, som gör att påkänningarna fördelas inom ett område i anslutning till hörnet.

Om armering utförs enligt den onyanserat noggranna FE-beräkningens resultat kommer lokalt ett onödigt stort armeringsinnehåll och framförallt en opraktisk fördelning att erhållas.

Ett annat problem som konstruktören ställs inför är valet av elementtyp. Detta val skall ske dels med hänsyn till elementens statistiska egenskaper (Tas hänsyn till tvärkraft? Hur många gausspunkter skall användas i den numeriska integrationen? etc), dels med hänsyn till modellens geometri (anpassning till strukturens form, tex runda kanter eller hål). Floran av olika elementtyper är stor. Inte ens för "experten" är detta val trivialt.

För att kunna göra dessa bedömningar måste användaren vara mycket medveten om de konsekvenser som de har för noggrannheten i de resultat som erhålles. Att genomskåda dessa fordrar mycket gedigna kunskaper om Finita Elementmetoder. Dessa ingående kunskaper har normalt inte den genomsnittlige konstruktören.

Numreringen av de i elementen ingående noderna är en aspekt som inverkar starkt på ekonomin i beräkningarna. En olämplig numrering kan leda till att kostnaderna för en beräkning, jämfört med en optimal numrering, mer än fördubblas. Detta beror på det sätt som informationen lagras och bearbetas i datorn. I många program finns rutiner som utför en, intern, omnumrering för att spara beräkningstid. Dock kan den tid som det tar att utföra denna numreringsoptimering mer eller mindre äta upp den vinst man erhåller i beräkningsskedet.

3.3.2 Upplagsvillkor och randvillkor

Beskrivningen av konstruktioners upplagsvillkor sker via frihetsgrader i de nodpunkter som definierats i elementnätet. Frihetsgraderna kan ges fixerade förskjutningsvärden, simulerande vanliga upplag, men även tvångsdeformationer kan simuleras på detta sätt.

Ytterligare en möjlighet, med att ge frihetsgraderna fixerade värden, är att utnyttja symmetrier i beräkningsmodellen för att minska beräkningsarbetet och därmed kostnaden för beräkningen. För att klara detta måste man dock känna till hur olika slags symmetrier skall modelleras med en sådan metodik. Misstag i detta avseende innebär att resultaten blir felaktiga.

Frihetsgradsbegreppet kan verka mycket främmande för den som inte är invigd i den breppsapparat och logik som förekommer i Finita Elementmetoder. Den logiska kopplingen mellan upplag och frihetsgrader är svag om man inte besitter grundläggande kunskaper om den teoretiska bakgrunden.

I allmänhet innebär denna behandling av randvillkor att man för stora modeller får stora mängder indata att ge. Detta innebär risker för att enstaka randvillkor "glöms" bort och dessutom att det blir svårt att kontrollera riktigheten i modellen.

3.3.3 Materialdefinitioner

Beskrivningen av de material som ingår i konstruktionen kan för vissa elementtyper vara tämligen lik de materialparametrar som förekommer i konstruktörens normala begrepp, det vill säga parametrar som elasticitetsmodul, skjuvmodul, tvärkontraktion. För andra elementtyper kan de materialparametrar som erfordras vara betydligt mera komplicerade att välja. Dels kan själva parameterbegreppen vara nya och obekanta för konstruktörer i allmänhet, dels kan det sätt som parametern skall väljas vara av stor och inte självklar betydelse för resultatet.

Ett specifikt problem som uppstår i samband med Finita Elementmetoder, är de numeriska problem man får om man ger elementen styvheter som avviker från varandra för mycket. Vad som i sammanhanget menas med "för mycket" går inte att entydigt definiera, detta beror på den övriga beräkningsmodellen och de övriga styvheter som strukturen innehåller. Olämpliga kombinationer innebär att vekare delar av strukturen inte kommer att ge något bidrag till den totala styvheten, på grund av den begränsade precisionen i datorn, med missvisande eller helt felaktiga resultat som följd.

När man övergår till att använda materialmodeller avsedda att behandla icke-linjära material kommer man genast in på ett område som fordrar mera djupgående kunskaper för att klara av. I och med detta övergår man från de förhållandevis enkla linjära beräkningar till iterativa lösningsmetoder. Valet av materialparametrar blir också ett avsevärt större problem. Valet påverkar inte enbart resultatets kvalitet, utan också om man över huvudtaget kommer att erhålla några resultat. Det vill säga hurvida lösningen konvergerar eller inte.

Denna typ av beräkningar förekommer nästan inte alls i samband med vanliga konstruktionsberäkningar, utan är mera att se som tillhörande forskningen på området.

Man kan med lite knep och knåp behandla problemtyper som programmet egentligen inte är avsett för, genom att ge fiktiva parametrar. Detta kan innebära tillförlitlighetsproblem då programmet inte är testat för sådana tillämpningar.

3.3.4 Belastningar

Lastbegreppen i FE-sammanhang skiljer sig i vissa avseenden från det som konstruktören normalt är van vid. Laster kan, åtminstone i princip, enbart anbringas i elementens nodpunkter. Detta ställer normalt inte till några större problem när det gäller belastningar som

skall angripa i en speciell punkt, om de kan anbringas i motsvarande nod. Om däremot lasten inte skall anbringas i själva noden, vilket är fallet för utbredd last och ibland vissa punktlaster, blir lasthanteringen inte lika trivial.

Eftersom alla belastningar måste angripa i nodpunkter, måste ekvivalenta nodlaster beräknas som motsvarar den lasteffekt man vill uppnå. För att på ett riktigt sätt kunna beräkna dessa måste man känna till hur förskjutningar och moment approximeras i elementmodellen. En automatisk behandling av dessa typer av laster ges i vissa program. Lasterna kan ibland ges som en materialparameter, liksom eventuell last på grund av egenvikt.

Ett annat problem, liknande det som uppstår i närheten av hörn och punktformiga upplag, uppstår när man belastar modellen med stora koncentrade laster, till exempel punktlaster, linjelaster eller plötsliga förändringar i utbredda laster. Dessa problem är svåra att undvika. Det man i princip kan göra är att se till att man inte gör elementmodellen i anslutning till dessa "för fin" så att man där igenom får alltför stora lokala spänningskoncentrationer och därmed missvisande resultat.

4. DATORSTÖD I SKISSKEDET

Projektören befinner sig i en situation där han står inför ett val mellan ett antal alternativa utformningar av en byggnad/byggnadsdel. För att erhålla ett underlag för valet, behöver alternativen jämföras utifrån vissa kriterier. Alternativen jämförs dels ur vad man skulle kunna kalla arkitektens synvinkel, dels ur en mera konstruktörmässig synvinkel.

Ett annat väsentligt mått på ett alternativs lämplighet utgörs av någon form av ekonomisk utvärdering. Denna hamnar logiskt någonstans mitt emellan arkitektens och konstruktörens aspekter eftersom den består både av bedömningar och beräkningar.

Till arkitektens synvinklar hänförs egenskaper som i stor utsträckning består av bedömningar- till exempel bedömningar av form och funktion. Dessa bedömningar grundar sig dels på projektörens tidigare erfarenheter, dels på subjektiva preferenser. Egenskaper som kan beräknas på ett eller annat sätt- till exempel statistiska egenskaper, brand-, stegljuds-, värmeisolerings, etc, hänförs till de konstruktörmässiga aspekterna.

De statistiska beräkningar som behöver utföras under skisskedet består, dels av översiktliga kontroller av egenskaper hos renodlade delstrukturer, dels av mera komplicerade beräkningar på ett mera övergripande plan. Till den senare kategorien räknas problemställningar som- "Klaras byggnadens stabilitet med dessa dimensioner?". Mellan dessa två ytterligheter existerar ett oräkneligt antal tillämpningar med varierande komplexitet.

I detta kapitel skall diskuteras och skisseras hur ett datorbaserat hjälpmedel avsett för projektören skulle kunna se ut. Hjälpmedlet skall bistå med råd och anvisningar i samband med de beräkningsuppgifter som projektören ställs inför. Dels skall enklare beräkningar kunna utföras, dels skall systemet ge varningar när en mera omfattande analys fordras i samråd med en erfaren konstruktör.

Oavsett hur effektivt och genomtänkt beräknings- och dimensioneringssystem man kan åstadkomma, kommer man inte ifrån behovet av en kommunikation och samspel mellan projektör och konstruktör under den inledande projekteringen. Att helt separera projekteringskedet från konstruktionsskedet är inte praktiskt möjligt. Se avsnitt 1.1.

Genom att åstadkomma ett projekterings- och beräkningshjälpmedel anpassat till projektörens behov, eftersträvas en mera långtgående och effektivare optimering av byggnadsobjekten på ett så tidigt stadium som möjligt i projekteringsprocessen. Optimerings-

hjälpmedlet skall inte enbart behandla statistiska problem, utan även problem av annan natur, till exempel brand-, ljud- och värmeisolering. Dessa står dock vanligen i någon form av förhållande till den statistiska utformningen.

4.1 Konventionella metoder

De beräkningsmetoder för konstruktionsberäkningar som idag finns tillgängliga har utvecklats under de förutsättningar som råder under konstruktionskedet. Detta har haft konsekvenser för dessa metoders krav på beräkningsförutsättningar. Metoderna fordrar att man tämligen noggrant kan definiera och beskriva förutsättningarna för strukturernas utseende och verknings-sätt, dessutom klarar de vanligtvis bara att analysera vissa bestämda delar av ett komplext problem.

Användaren måste vara väl insatt i beräkningsmetodernas bakomliggande teorier för att på ett riktigt sätt definiera problemet, genomföra beräkningens alla delar och använda resultatet.

Förutsättningarna under projekteringskedet skiljer sig starkt från dem som gäller under konstruktionskedet. Detta gör att konventionella beräkningsmetoder inte alltid passar så bra in eller är relevanta i den beräkningsmiljö som råder under detta skede. Några av de mest påtagliga anledningarna till detta är:

- att tidsramen för beräkningarna är snäv
- att datastrukturen är övergripande
- att fel sorts resultat förväntas
- ett kompetensproblem

I de följande avsnitten skall problematiken diskuteras och några försök till lösningar presenteras.

4.1.1 Behov av snabbhet

I avsnitt 2.2.3 konstaterades att man i projekteringskedet arbetar med relativt snäva tidsramar för utvärdering av alternativ. Tidsramen för enbart beräkningsarbetet i datorn uppskattades till cirka en minut. Till detta skall dock även den övriga hantering läggas som fordras i samband med beräkningen. Preparering, inläsning och kontroll av indata samt tolkning och kontroll av erhållna utdata är exempel på aktiviteter som skall medräknas i den totala omloppstiden.

För att åstadkomma de noggranna resultat som de konventionella metoderna är avsedda att resultera i, fordras en relativt detaljerad modellering och beskrivning följt av en noggrann beräkning. Detta tar en inte försumbar tid att åstadkomma med dagens resurser.

De möjligheter som står till buds för att minska omloppstiden för en beräkning består dels i att minska den effektiva beräkningstiden i sig, dels i att effektivisera den användarberoende behandling av indata och utdata som alltid är nödvändig. Man bör därvid observera att den senare ofta utgör en stor, ibland en dominerande, del av den totala tiden för en beräkningscykel.

Om man väljer att angripa problemet genom att minska den erforderliga beräkningstiden finns i princip två olika vägar att gå. Dels kan de datorer som används göras snabbare, dels kan programmen/metoderna modifieras och effektiviseras.

Eftersom datorernas snabbhet inte är påverkbar, återstår att angripa problemet genom att modifiera och effektivisera beräkningsalgoritmen i programmen.

Den främsta anledningen till att man inte klarar tidsgränsen en minut, är att beräkningsmetoderna är - för användning på detta stadium - onyanserat noggranna. Alltför mycket möda läggs ned på att utföra beräkningen så noggrant som möjligt. En noggrannhet som i detta sammanhang inte är nödvändig eller ens önskvärd. Man bör dessutom hålla i minnet att de förutsättningar som beräkningen bygger på, är så osäkra, att man ändå inte kan tillmäta resultatet den noggrannhet och tillförlitlighet som skulle kunna göras, om förutsättningarna varit bättre kända.

Uppsnabbning av beräkningsprogrammen i sig framstår således som ofrånkomlig. Det är i detta sammanhang framförallt modifiering av gamla och utveckling av nya beräkningsmodeller/metoder som avses. Utveckling av nya metoder torde, i jämförelse med modifiering av gamla, vara en mera mödosam väg att gå.

För att pressa den åtgångna beräkningstiden fordras att man i, från begynnelsen relativt noggranna metoder, inför begränsningar som innebär påtagliga tidsvinster. Detta kräver dock viss omtanke. Man måste därvid vara observant på den risk som föreligger att man med dessa förenklingar, i kombination med osäkra indata, erhåller resultat som ligger så långt från sanningen, att de inte är lämpliga som underlag för den fortsatta projekteringen.

Modifieringen resulterar i förenklade beräkningsmodeller vilka kan vara svåra att representera med hjälp av datorlogik. Datorer och konventionella datorprogram bygger på att de skall ha precis och fullständig information för att kunna fungera och prestera relevanta resultat. Problematiken i samband med detta belystes i avsnitt 3.1.1.

När man arbetar med att minimera tidsåtgången för en enstaka beräkningscykel, får man inte glömma den begränsande faktor som användaren kan tänkas utgöra. Det vill säga den del av hanteringen som användaren av

systemet förväntas utföra. Indatagivning, kontroller och kanske framförallt tolkning av erhållna resultat är exempel på denna typ av verksamhet. Att driva beräkningsoptimeringen utan hänsyn till detta är inte optimalt. Det kan till och med vara bättre att låta programmet arbeta något längre med problemet, till exempel om man genom bra presentation av resultatet kan åstadkomma tidsvinster i den manuella behandlingen.

Mängden indata som krävs för att genomföra en beräkning har stor betydelse för omloppstiden för en beräkningscykel. Vissa metoder kräver större mängd indata än andra. En numerisk metod som till exempel FEM kräver speciellt stora indatamängder, ty modellen delas i denna metod upp i ett mer eller mindre stort antal delelement. Varje element skall definieras var för sig och ges dess rätta egenskaper.

I princip kräver varje beräkning som skall genomföras, lika stor mängd indata. Man kan dock med en ändamålsenlig datahantering och utnyttjande av standardvärden göra vissa tidsvinster. För vissa programsystem har man automatiserat indatagivningen med hjälp av så kallade pre-processorer. Med dessa åstadkommer man i princip en möjlighet för användaren att bearbeta modellen i större enheter som automatiskt, utifrån användarens instruktioner, definieras geometriskt och tilldelas vissa egenskaper. Det är dock användaren som styr hur denna indelning och tilldelning skall ske.

Processorerna kan således vara ett bra hjälpmedel för den erfarna användaren att skapa, kontrollera och tolka beräkningsmodeller, samt bearbeta erhållna resultat, men de kan inte ersätta konstruktörens modelleringskunskaper. I skisskedet strävar man inte mot att behandla så stora och detaljerade modeller som möjligt, utan istället att förenkla hanteringen av mera övergripande, inte så noggranna modeller. Därför fordras helt andra egenskaper.

Förutom den rent "mekaniska" biten måste viss intelligens byggas in som klarar att, utifrån projektörens beskrivning av det aktuella objektet, upprätta en "lagom" noggrann beräkningsmodell, genomföra en beräkning och presentera resultat med lämplig "tolerans".

Oavsett hur effektiv man än lyckas göra en dylik processor, kommer det dock alltid att finnas en övre gräns för den tidsvinst man kan erhålla. Denna ligger i användarens behov av tid för att göra alla de förnuftsstyrda kontroller och val som alltid måste finnas med i beräkningens olika skeden.

Ett system får aldrig utformas så att användaren inte har fullständig kontroll över vad som händer i beräkningens olika skeden. Det rent numeriskt mekaniska beräkningsarbetet kan ske utan användarens ingripande, men i alla moment där förnuftsstyrda kontroller och val måste komma in, skall användaren ha åtminstone nå-

gon möjlighet till styrning av skeendet. Ett absolut minimikrav är att användaren skall ha full insyn i hur ett val görs och de förutsättningar som gäller. Naturligtvis innebär detta en betydande uppbromsning av beräkningen, men den är helt nödvändig.

Man bör beakta att en alltför långt driven automatisering eller stor tidspress på användaren kommer att innebära en större andel felaktiga beräkningar. Detta innebär framförallt att den tidsvinst man kan tänkas ha uppnått går förlorad, men dessutom kan oupptäckta fel vilseleda och spoliера projekteringsarbetet.

4.1.2 Övergripande datastruktur

Konventionella beräkningsmetoder är utvecklade för att ge så noggranna och detaljerade resultat som möjligt. För att man skall kunna åstadkomma detta, fordras att man relativt noggrant kan specificera förutsättningarna för beräkningen. När projekteringsarbetet kommit så långt som till konstruktionsskedet har man arbetat fram ett underlag som relativt väl uppfyller detta krav. Om man inte redan har bestämt den exakta utformningen, har man i vart fall ett ganska begränsat intervall inom vilket utformningarna kan väljas.

Under projekteringsprocessens tidiga skede skall man däremot söka finna den lösning som, för den aktuella situationen är den bästa. En stor mängd, vitt skilda alternativ måste undersökas. Situationen karaktäriseras av att man arbetar på att finna övergripande systemlösningar snarare än detaljlösningar. Detta innebär att man inte har möjlighet att gå närmare in på detaljer i varje enskild lösning. Bland annat provas olika konstruktionsmaterial, spännvidder, bärande grundsystem, etc. Detaljstudierna lämnas till den efterföljande konstruktionsfasen.

Konsekvensen av detta är att de data som finns tillgängliga om strukturerna har ett mycket övergripande innehåll och således passar dåligt in i de konventionella beräkningsmetoderna. Mer eller mindre omfattande komplettering och bearbetning måste till för att dessa metoder överhuvudtaget skall kunna användas.

Naturligtvis kan en erfaren konstruktör, med dessa översiktliga data som grund, åstadkomma en överslagsmässig kontrollberäkning som ger en uppfattning om strukturens beteende och egenskaper. Men för att detta skall låta sig göras, fordras att han tar preliminär ställning till hur vissa detaljlösningar skall utformas.

Detta innebär att projekteringsprocessen belastas med en hel del arbete med att åstadkomma vettiga konstruktionslösningar för att man över huvud taget skall kunna erhålla några resultat. Dessa visar sig kanske senare inte alls passa in i den slutliga lösningen.

Situationen skall belysas med ett enkelt exempel. Antag att en preliminär dimension för en bjälklagsplatta skall bestämmas. Förutsättningarna som erhålles från projekteringen föreskriver vissa bestämda mått och egenskaper, till exempel en spännvidd och maximal nedböjning. Man kan på detta stadium anta en förenklad bild av komponenternas samverkan. Till exempel kan en inspänningsgrad av noll procent antas gälla för alla anslutande plattor och pelare. Vid den slutliga dimensioneringen visar det sig kanske att konstruktören väljer en annan fördelning, för att åstadkomma en så effektiv lösning som möjligt, som ger helt andra dimensioner. I detta inledande skede är det inte så intressant att veta exakt hur konstruktören kommer att välja plattans randvillkor- inspänningsgrad i de anslutande väggskivorna och pelarna.

4.1.3 Felaktig resultattyp

Ytterligare en aspekt på användande av konventionella metoder är att de tar fram resultat som i många avseenden saknar intresse på detta tidiga stadium. Mycket av det som kommer ut från dessa metoder används aldrig. Dels på grund av att man för det aktuella fallet inte behöver dem, dels på grund av att mottagaren av informationen inte har möjlighet att tillgodogöra sig resultatet.

De konventionella metoderna presenterar resultat av rent statistisk natur. Moment, normal- och tvärkrafter, spänningar och deformationer. Under skisskedet är intresset mera inriktat på att erhålla en prognos för plattans funktion och egenskaper, samt de dimensioner som erfordras. Dessutom förväntar man sig en "prognos" för vilka konsekvenser en lösning får för andra funktioner, till exempel luft-, ljud- och värmeisolering. Förutom att ge en grov uppskattning, skall prognosen fungera som påminnelse så att man inte glömmet att ta hänsyn till någon viktig aspekt. För att det sedan skall vara möjligt att bestämma vilken lösning som är den bästa, behöver man till slut någon form av ekonomisk utvärdering av konsekvenserna.

Konventionella beräkningsmetoder kan ge endast en mindre del av de resultat man behöver på skisstadiet. Dessutom erhålles de relevanta resultaten på en form som inte är ändamålsenlig. Generellt sett ges de alltför detaljerat och med en onyanserat hög noggrannhet vilket kan göra dem svåra för användaren att tillgodogöra sig.

4.1.4 Ett kompetensproblem

Beräkningsmodellens betydelse för kvaliteten av de resultat som erhålles från en beräkning har redan tidigare påpekats. Oavsett hur noggrann den valda beräkningsmetoden är, kan den aldrig kompensera en dåligt utförd modellering av strukturen.

Innan man kommer så långt som till upprättande av beräkningsmodell, måste man först och främst välja en lämplig beräkningsmetod. Enbart detta fordrar en hel del grundläggande kunskap om beräkningsmetoder och deras egenskaper.

När man väl valt metod skall strukturen modelleras med, i beräkningsmetoden, giltiga modelleringsbegrepp. Detta ställer krav på en gedigen kunskap om dels tillgängliga modellbegrepp och hur de kan användas, dels hur valet av parametrar påverkar resultaten. Den erforderliga kompetensen för detta byggs upp från grunden först och främst genom en grundläggande teoretisk utbildning, men dessutom genom lång erfarenhet av användande av olika metoder.

Modelleringen innehåller moment där man tar ställning till vilka egenskaper den aktuella strukturen skall ha. Dessa ställningstaganden innehåller inte enbart geometriska egenskaper utan i än större grad statistiska egenskaper. Denna typ av indata går således inte alltid att mäta i en skiss av den lösning man föreslår. En hel del parametrar måste alltid väljas av användaren. Materialegenskaper, laster, antaganden om strukturens uppläggning är några exempel på sådana parametrar. Det som gör detta val så problematiskt är att det inte finns något entydigt svar på hur man lämpligen skall välja dessa parametrar. Inte ens för en erfaren konstruktör är detta någon helt trivial uppgift. I viss mån styrs valet av normer eller andra regelverk, men det är framförallt användarens kunskaper och tidigare erfarenheter som avgör valet av parametrar och därmed också kvaliteten hos de resultat som erhålles.

Under konstruktionsskedet är det konstruktören som ställs inför uppgiften att utföra dessa parameterval. Erfarenheterna som valet bygger på har konstruktören samlat på sig under årens lopp och är en personbunden kunskaps- eller erfarenhetsbank. Kunskaperna kan knappast definieras som en samling data, utan är snarare en blandning av teoretiska kunskaper och en undermedveten känsla/erfarenhet för vad som brukar ge rimliga resultat.

Mellan projektör och konstruktör, och därmed mellan projektör och konventionella beräkningsmetoder, råder en grundläggande skillnad i sättet att se på ett byggnadsobjekt. Projektören uttrycker sig helst i termerna golv, väggar, tak, etc, medan konstruktören i motsvarande situation talar om understödda plattor, skivor, pelare, etc. Således måste en tolkning av projektörens

beskrivning utföras och översättas till en form som kan behandlas i den valda beräkningsmetoden. Det man uppnår med detta, är en anpassning av konventionella beräkningsmetoder för användning på projekteringsstadiet.

Det torde således vara mycket svårt, att från ett projekteringsunderlag, utan medverkan av en konstruktörskunnig person, åstadkomma en realistisk beräkningsmodell. För vissa väl definierade delområden kan man förmodligen lösa problemen, men för ett mera generellt fall tycks svårigheterna oöverstigliga. Alltför stora tillförlitlighetsproblem kommer att byggas in i ett sådant system. Det logiska "klivet" direkt från projekteringsunderlaget till konstruktionsberäkningar tycks vara för stort.

Även om man lyckas med detta, återstår en mycket viktig bit av beräkningssteget, som alltid åligger användaren av programmet att utföra, nämligen tolkningen av utdata.

För att de utdata som erhållits från beräkningen skall kunna anses utgöra ett resultat, måste alltid en tolkning utföras. Denna har två syften. Dels att kontrollera hurvida uppställda kriterier har uppfyllts, det vill säga om strukturen "håller", men framförallt att konstatera om vald beräkningsmetod varit lämplig för det aktuella syftet.

Den förra låter sig inte utföras som en enkel jämförelse av siffror mellan krav och resultat. Beroende på vilken beräkningsmetod som använts och de förutsättningar som gäller för beräkningen, måste man i större eller mindre omfattning bearbeta de erhållna resultaten för att de över huvud taget skall vara jämförbara med de krav som ställs från olika håll.

Den senare kan vara ännu svårare. Man kan ju ha erhållit ett godtagbart resultat, men hur vet man att resultatet stämmer överens med strukturens verkliga beteende? För detta fordras att användaren väl känner till och förstår de bakomliggande teorierna. Om en sådan teoretisk kompetens inte föreligger så kan man inte lägga resultatet som grund för en tillförlitlig bedömning av strukturens egenskaper.

4.1.5 Slutsatser

Om man sammanfattar det som sagts kan man konstatera att konventionella beräkningsmetoder:

- ger resultat som inte tillfredsställer alla de behov man har på projekteringsstadiet och dessutom inte klarar de tidsbegränsningar som finns.

- fordrar omfattande och tidskrävande manuell insats av användaren och att man inte kan automatisera

denna hur mycket som helst.

-bygger på alltför noggranna beräkningsmodeller. Man får alltför noggranna resultat, med andra ord man lägger ned för mycket arbete och erhåller en önskat hög noggrannhetsnivå. Men eftersom man inte har motsvarande noggrannhet i givna indata, kan man inte garantera denna precision.

-kräver, för bibehållen tillförlitlighet, viss grundläggande teoretisk och praktisk kompetens.

Sammantaget kan man konstatera att ett datorbaserat beräkningssystem för användning i de tidigare stadierna av projekteringsprocessen, åtminstone inte enbart, bör bygga på konventionella beräkningsmetoder.

4.2 Ett fungerande projekteringshjälpmedel

I detta avsnitt skall principerna för ett fungerande projekteringshjälpmedel skisseras. Systemet skall anpassas och grundas på det behov av beräknings- och bedömningsunderlag som uppstår under det tidiga skissarbetet. Tanken är att med detta hjälpmedel införa optimeringsmöjligheter, på ett så tidigt stadium som möjligt i projekteringsprocessen. Hjälpmålet skall och kan heller inte ersätta det arbete som konstruktören utför under projekteringen fullt ut. Systemet avses ersätta endast en del av detta nämligen den del som består av de allra första överslagen för att få en viss uppfattning om vilka preliminära dimensioner och egenskaper strukturerna skall ha.

4.2.1 Grundläggande krav

Innan själva systemet skisseras skall målsättningar och de grundläggande krav som ställs på systemet beröras.

-Projekteringshjälpmedlet skall bistå projektören med beräkningskapacitet, dels vid övergripande val av systemparametrar (till exempel val av bärande system), dels vid grovdimensionering och kontroll av enskilda strukturelement (till exempel balk eller platta).

-Systemet skall fungera fristående. Med detta avses att det, som villkor för dess effektivitet, inte får förutsätta understöd från andra program, till exempel CAD-system för den geometriska beskrivningen av strukturen. Det är dock inte någon nackdel om en sådan understöd/koppling är möjlig. Mängden information som programmet behöver skall därför hållas på en rimlig nivå, för att de skall kunna ges manuellt i dialogform.

-Systemet skall i möjligaste mån nyttiggöra kunskap och erfarenhet, som erfarna projektörer/konstruktörer använder i en motsvarande situation, i de analyser och beräkningar som görs.

-Användaren skall inte vara tvungen att definiera hela strukturen för att analysera endast en del där av, till exempel en balk. Programmet skall tas till hjälp endast när det verkligen behövs. Användaren skall dessemellan kunna utnyttja sin egen projekteringserfarenhet. På detta sätt erhålles ett effektivare resursutnyttjande. Projektören är, när förutsättningarna väl är kända, mycket snabbare i sin beslutsprocess än vad som kan åstadkommas med hjälp av ett programsystem för projektering. Detta hänger främst samman med att kommunikationen mellan system och användare är förhållandevis långsam. En annan orsak är att systemet måste prova alla möjliga lösningar innan en slutsats kan dras, medan projektörer lätt kan sovra bort ett antal alternativ.

-Systemet skall kunna utföra och förklara logiska resonemang och teorier som ligger bakom det resultat som det kommit fram till, antingen det gäller ett förslag till lösning eller kontroll av en föreslagna lösning. Detta är nödvändigt för att användaren skall ha möjlighet att kontrollera rimligheten i resultatet. Antingen huruvida den är formellt riktig eller om den bygger på riktiga förutsättningar.

-All kommunikation med användaren skall ske på dialogform med användarens naturliga språk som grund. Anledningen till detta är dels kravet på användarvänlighet, dels kravet på snabbhet. Förklaringar enligt ovan, inhämtande av information, blir på så sätt säkrare och snabbare i den del av processen som användaren representerar.

-Vid beskrivningen av de krav och förutsättningar som skall gälla för problemlösningen, skall systemet analysera den givna informationen och ha förmågan att upptäcka misstag och ofullständigheter samt att ställa relevanta frågor för att eliminera dessa. Dessutom bör förslag eller påminnelser ges till ytterligare undersökningar som bör företas.

-Informationen bör lämpligen ges i en elementbaserad form. Det vill säga att det i systemet skall finnas ett antal grundläggande strukturtyper/element. Till exempel balkar, pelare, plattor, skivor. Användaren namnger dem och definerar de förutsättningar som gäller. Varje element skall ha en uppsättning väl definierade "interna" och "externa" egenskaper. Det förra avser till exempel en balks deformations-, brand-, ljudisolerings och värmeledningsegenskaper. De externa egenskaperna definerar om och hur ett element kan kopplas till andra element, vilka randvillkor som är giltiga och nödvändiga, etc.

-Beskrivningskonceptet skall så långt som möjligt vara generellt. Med detta avses att sättet att beskriva, de i den tänkta strukturen ingående, elementen inte får påverkas av till exempel det materialval man gjort. Det vill säga att definitionen av en stomme i stål skall i princip se likadan ut som för en i betong eller trä. Så mycket som möjligt av informationen skall vara "neutral" och inte beroende av övriga val som gjorts. Inte heller får det koncept som används påverkas av det tillämpningsområde som man för tillfället arbetar med.

-Kravet på konservativ databehandling, det vill säga att givna indata skall kunna användas för flera beräkningar, diskuterades i avsnitt 2.2.5, och gäller naturligtvis även för denna typ av programsystem.

-Tidsramen för beräkningar på en minut, som diskuterades i avsnitt 2.1.1, skall vara en målsättning i detta sammanhang.

-Den kunskap och de erfarenheter som systemet skall ha tillgång till, och som på något sätt måste matas in i systemet, bör ges i klartext, vilket betydligt underlättar ändringar och tillägg i systemets kunskapsbas. Denna information bör vara given av en expert på dels projektering, dels konstruktion och innehålla såväl teorier, fakta, kunskap, erfarenhet och logiska "resonemang".

En av grundstenarna i systemet är således återvinning av den samlade kunskap som finns inom det aktuella tillämpningsområdet. Denna består av information som strukturerats på ett sådant sätt, att den kan återvinnas och tillämpas på både gamla och nya tillämpningar. De kunskaper som är aktuella för detta specifika område, består inte enbart av siffror och fakta, som lätt kan härledas till en uppsättning formler, utan även en god portion erfarenhet.

Det som i dagligt tal betecknas erfarenhet, är mycket svåråtkomlig information, eftersom den är knuten till en viss person. Erfarenhet kan karaktäriseras som en mer eller mindre medveten "känsla" för vad som brukar ge rimliga lösningar, det vill säga en förmåga att lokalisera och identifiera problem samt att finna lämpliga lösningar på dem. Denna typ av egenskap är inte lätt att implementera i ett konventionellt datorsystem. Konventionella system kräver en väl strukturerad lösningslogik och en uppsättning väl definierade indata, medan den kunskap som här avses, snarare består av en rad relationer och samband.

De byggnader som kommit så långt som till uppförande, har genomgått en lång projekterings- och konstruktionsprocess. Under denna process har en lång rad val, överväganden och kontroller utförts. Varje enskilt färdigställt projekt kan uppfattas som en form av do-

kumentation av den kunskap och erfarenhet som bidragit till den lösning man kommit fram till. Om man på något sätt, tillsammans med de teorier och beräkningsmetoder som utvecklats, kunde utnyttja detta, skulle ett bra och effektivt projekteringshjälpmedel kunna skapas.

Problemet att skapa ett projekteringshjälpmedel som uppfyller de allmänna krav som ställts, ligger således i att kunna lagra och återvinna information, inte enbart fakta och beräkningar som lett fram till den valda lösningen, utan även det logiska resonemang som ligger bakom, men som inte direkt dokumenterats i tillgängliga bygghandlingar.

Denna typ av information är inte praktiskt möjlig att representera och bearbeta i ett konventionellt datorsystem för lösning av generella problem. I konventionella datorprogram formaliseras kunskapen till ett fixerat mönster. Detta mönster kan symboliseras med ett beslutsträd/flödesschema. Användningsområdet för ett sådant program är begränsat till att endast lösa en viss typ av problem, nämligen de man tänkte sig vid upprättandet av flödesschemat. Den dokumenterade kunskapen kommer att bli alltför hårt knuten till en viss tillämpning för att den skall kunna användas för att lösa andra, närbesläktade problem.

Med dessa krav som grund har ett koncept för ett projekteringshjälpmedel skisserats. Det framstår klart och tydligt att alla dessa krav inte, på ett effektivt sätt, kan uppfyllas med hjälp ett konventionellt programsystem. I stället leds tankarna till vad man brukar benämna expertsystem, och speciellt i detta fall kunskapsbaserade expertsystem. Nedan skall ett möjligt arbets- och systemkoncept beskrivas, men först skall som bakgrund en allmän beskrivning av expertsystem ges.

4.2.2 Vad är ett expertsystem?

Det är mycket svårt att ge en generell definition av vad ett expertsystem är. Expertsystem har egenskaper som gör att de starkt skiljer sig från vanliga datorprogram.

En kortfattad beskrivning av vad ett expertsystem är och gör ges av Dym (1985), (fri översättning):

Ett expertsystem är ett datorprogram som utför uppgifter som normalt åligger en expert eller sakkunnig inom ett specifikt område. Kunskapen som används är tillvaratagen erfarenhet på detta område.

MacCallum (1984), har specificerat ett antal egenskaper som är utmärkande för expertsystem. Dessa ligger till grund för nedanstående försök att ge en bild av vad ett expertsystem är och vad man kan förvänta sig av det.

-Expertsystem kan innehålla och bearbeta stora mängder specialiserad men värdefull kunskap inom ett speciellt tillämpningsområde. Systemet innehåller snarare fakta om företeelser och relationer mellan dem, än av algoritmer för att lösa ett specifikt problem. Det är uppbyggt kring beskrivningen av ett problem, i stället för själva lösningsmetoden för problemet.

-Den specifika kunskapen på tillämpningsområdet är generellt formulerad så att man kan applicera den på flera närbesläktade problem. Detta möjliggör att kunskap kan läggas till och ändras utan att referera till en viss bestämd lösningsmetod, samt att systemet kan behandla problem som det aldrig sett förut.

-Kunskapen lagras och manipuleras på samma form som den givits av användaren till systemet, det vill säga i klartext. Detta är av stor vikt för kommunikationen med användaren och möjligheterna att ändra och lägga till kunskaper i kunskapsbasen.

-Expertsystem ger sina råd och upplysningar genom "konversation", och har förmåga att svara på frågor samt förklara tillvägagångssätt, presentera underlaget för slutsatser, motivera varför slutsatser förkastats, etc.

-Expertsystem kan generellt hantera och använda information förknippad med viss osäkerhet. De råd som ges kommer då att ges med motsvarande osäkerhet.

-De resonerar med utgångspunkt från egen kunskap, känner av när informationen inte är komplett och efterfrågar då kompletterande information.

-Expertsystem efterfrågar och använder endast information som passar in i den specifika resonansmekanismen. Med andra ord är frågemekanismen inte en del av systemets kunskap, utan härrör från systemets kontrollmekanism.

-De är användarvänliga och arbetar med hjälp av ett utbyte av frågor och svar med sina användare. Denna egenskap uppfylles tyvärr inte av alla expertsystem, men skall i detta sammanhang ses som ett krav.

Expertsystem består av ett antal lätt urskiljbara komponenter, varav de viktigaste är kunskapsbasen, faktabasen, resoneraren, användargränssnittet, ett verktyg för kunskapsuppbyggnad och förklaringar av erhållna slutsatser. I FIG 4.1. har den principiella uppbyggnaden av ett expertsystem skisserats.

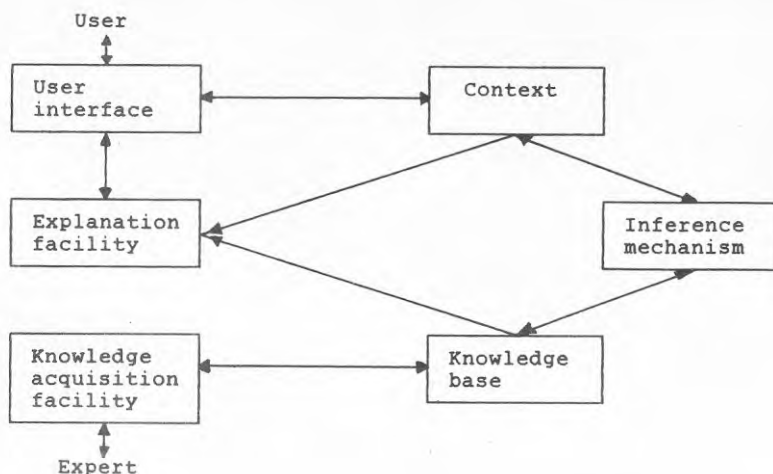


FIG 4.1 Principiell uppbyggnad av expertsystem
Figuren enligt Mahrer m.fl. (1984)

Kunskapsbasen, (knowledge base), är den del av systemet som innehåller den expertkunskap om det aktuella tillämpningsområdet som systemet arbetar på. Denna kunskap består av en uppsättning fakta och en mängd inferensregler. Det senare är regler som talar om hur slutsatsdragningen skall ske. Slutsatsdragningen sker dels enligt de teoretiska samband som finns på området, dels enligt de tumregler som används i praktiskt bruk. Fakta som finns i kunskapsbasen är av sådan typ som går att finna i den facklitteratur och hos de experter som finns på området.

I den problemorienterade faktabasen, (context), lagras den information som gäller för det problem som man för tillfället arbetar med. Informationen är dels sådan som användaren spontant har givit, dels sådan som systemet har efterfrågat. Faktabasen kan sägas vara den del av systemet som beskriver det aktuella problemet, till skillnad mot kunskapsbasen som innehåller allmän information om alla förekommande problem inom det aktuella tillämpningsområdet.

Resoneraren, (inference mechanism) är den modul i programmet som administrerar det logiska "tänkan-det" i programmet. Det är således denna modul som skall representera den erfarne konstruktörens sätt att "resonera" sig fram till hur en lösning skall se ut för att uppfylla de uppställda villkoren. Resoneraren analyserar beskrivningen av det aktuella problemet och jämför den med de villkor och relationer som finns i kunskapsbasen för att därav dra ett antal slutsatser och presentera ett resultat.

Dess arbete skiljer sig från konstruktörens sätt att arbeta i ett viktigt avseende. Medan konstruktören kan arbeta med relativt stora logiska steg, arbetar resoneraren med mycket enkla och för människor med erfarenhet på det speciella tillämpningsområdet triviala steg. Styrkan hos systemet ligger i att datorn har förmågan att arbeta mycket snabbt, vilket i viss mån kompenserar nackdelen med de små stegen.

För att ett expertsystem skall vara användbart måste det förses med ett gränssnitt dels gentemot användaren av systemet (user interface), men även mot den eller de expert(er) som skall förse systemet med information, (knowledge acquisition facility). Kommunikationen skall i görligaste mån ske på ett så naturligt (mänskligt) språk som möjligt. Helst bör också det språk som används vara väl förankrat i det specialiserade språk som förekommer hos den speciella användarkategorien. Informationsutbytet mellan systemet och yttervärlden (användare och experter) bör ske på dialogform.

Den förklarande funktionen, (explanation facility), är en mycket viktig funktion i ett fungerande expertsystem. Genom denna kan användaren erhålla en förklaring hur systemet resonerat för att komma fram till en viss slutsats/lösning och därigenom bedöma hurvida lösningen är rimlig och bygger på riktiga förutsättningar.

Ett typiskt och viktigt drag hos avancerade expertsystem är att såväl programmet som användaren kan ställa frågor i dialogen. Detta är nödvändigt eftersom de grunddata som användaren ger i början av problemlösandet, normalt inte räcker till för att fullständigt lösa problemet. I detta fall ställer programmet de frågor som erfordras för att lösa problemet. Omvänt gäller också att användaren ställer frågor till systemet för att få information om bakgrunden till den lösning som systemet kommit fram till. Detta är mycket viktigt, för ingen kan väl okritiskt acceptera en lösning, om man inte vet hur man har resonerat för att komma fram till den.

Idag finns ett antal expertsystem på marknaden, dock inte något som är speciellt avsett för byggbranschen. PROSPECTOR är ett system inom teknikområdet, som används för geologisk kartering. MYCIN är ett annat system som finns för diagnosticering av blodinfektioner inom sjukvården.

MYCIN fungerar som rådgivare vid ställande av diagnoser och är avsett att användas av till exempel allmänpraktiserande läkare som saknar expertkunskaper inom det aktuella området. Läkaren ger vissa grunddata till systemet, till exempel sjukdomsförlopp och resultat från laboratorieanalyser. Med dessa data som grund försöker expertsystemet reso-

nera sig fram till en riktig diagnos och ett förslag till behandling. I praktiken visar det sig dock ofta att dessa första grunddata inte räcker till för att komma fram till en fullständig sjukdomsbild och diagnos. Systemet ställer då frågor och ger förslag till de ytterligare undersökningar som behövs för att erhålla en fullständig bild av sjukdomen. När dessa kompletterande upplysningar erhållits kan slutligen en riktig diagnos och terapi erhållas.

I genomsnitt har träffsäkerheten hos detta system, enligt Malec (1985), visat sig vara i nivå med vad en expert på området kan åstadkomma och långt bättre än vad en allmänpraktiserande läkare kan prestera.

Det finns också exempel på expertsystem inom ingenjörsmässig verksamhet. SACON är ett sådant.

SACON används i samband med beräkningar med finita element programmet MARC. MARC är ett mycket komplext program som tillåter avancerad modellering med avseende på analysmetod, materialegenskaper och geometri. Det har visat sig att det fodras åtminstone ett års erfarenhet av programmet, för att en användare effektivt skall kunna använda programmet och utnyttja dess finesser.

Syftet med SACON är att tillåta en icke erfaren användare att utnyttja programmets faciliteter på ett effektivt sätt. Programmet fungerar även i detta fall som rådgivare för användaren. Användaren ger till systemet en viss grundläggande information om problemets art. SACON ger, med dessa data och efter att eventuellt ha ställt vissa kompletterande frågor, råd om vilka analyser som bör företas samt tips om vilka parametervärden som kan vara lämpliga att ge vid analysen. Principen illustreras med följande exempel hämtat från MacCallum (1984):

OM konstruktionsmaterialet är en metall
 OCH beräkningsnoggrannheten ligger mellan 5-25%
 OCH dimensionslösa spänningen är mindre än 0.9
 OCH antalet lastcykler är mellan 1 000 och 10 000

SÅ är utmattning en av de analyser som bör genomföras

Vad finns det då för fördelar med ett sådant system framför att använda konventionella programsystem?

Den första och kanske den allra viktigaste, är att man i detta system gör det möjligt att, för en icke specialiserad användare, få tillgång till expertkunskaper och erfarenheter inom ett specifikt område.

Expertsystem gör det dessutom möjligt att förse användaren med datorstöd inom ett vidare problemområde. Med detta avses att man inte är uteslutande hänvisad till

att förse användaren med ett renodlat beräknings-system. Expertsystemens uppgift var i begynnelsen att utföra uppgifter som inte kunde formuleras i logiska algoritmer, utan snarare på kunskaper som bygger på mera subtila begrepp såsom erfarenhet och tumregler. Detta kan utnyttjas för att behandla, förutom de konventionella beräkningsproblemen, problem som ligger utanför vad man tidigare klarat av med hjälp av datorer.

Kommunikationen med användaren kan ske på ett språk som är väl förankrat i användarens begreppsapparat. Detta bidrar till att underlätta kommunikationen. Det vill säga ökar snabbheten och inverkar positivt på tillförlitligheten.

En annan mycket viktig fördel är att det, förutsatt att man har tillgång till lämpliga experter, är möjligt att kontinuerligt och relativt enkelt lägga in de allra senaste rönen inom det aktuella tillämpningsområdet. Användaren har således alltid tillgång till det bästa kunskapsunderlaget som går att få för sina bedömningar.

Möjligen kan man, på sikt, uppnå en mera sekundär fördel. Nämligen den att användaren succesivt lär sig att känna igen problemställningarna, och kanske själv kan ge tillfredsställande lösningar till problemen eller åtminstone ge en mera fullständig beskrivning av problemet. En konsekvens av detta är att skissarbetet på detta sätt kan effektiviseras. Denna fördel kan dock lätt vändas till en nackdel i form av en viss risk för likriktning.

Under tiden som användaren arbetar med systemet lär han sig det sätt på vilket systemet resonerar, och de lösningar som detta resulterar i. Detta kan leda till att användaren anpassar sig till systemet och föreslår lösningar som brukar "godkännas" av systemet.

Exempel på andra nackdelar är att de system som nu finns i drift arbetar inom mycket snäva problemområden. Trots detta har de slukat stora utvecklingskostnader.

De fungerar dåligt och ibland mycket nyckfullt i utkanten av sitt kunskapsomfång. De har ingen kunskap om sitt eget omfång. Detta är starkt beroende av vilka experter som anlitas vid uppbyggnaden av systemet. Således har kunskapsingenjören, den som skall förse systemet med kunskap, ett mycket stort ansvar i samband med detta.

Expertsystem har för närvarande inget oberoende sätt att bedöma om deras slutsatser är rimliga. Denna uppgift åligger helt och hållet användaren.

Programkoden är i allmänhet mycket svår att förstå, felsöka och underhålla.

4.2.3 Arbetssätt och systemfunktion

Expertsystem har valts som systemtyp därför att det bara är med ett sådant system som man kan tillfredsställa alla de behov av datorstöd som kan uppstå kring projekteringsprocessen. Eftersom den existerande kunskapen inte är bunden till en viss tillämpning kan nya erfarenheter och kunskaper läggas in efterhand. Detta är en nödvändig egenskap för ett system som genomgår en kontinuerlig utveckling av nya kunskaper och funktioner. Dessutom är det med ett sådant system möjligt att anpassa den begreppsapparatur som används till den avsedda användarkategorien.

Projekteringsprocessens tidiga skede kan indelas i två grundläggande steg. Dessa hänger i praktiken ihop, men i detta sammanhang utgör de grunden för indelningen av expertsystemets logiska funktion. Se FIG 4.2.

Det första skedet utgörs av ett övergripande systemval. Med detta avses till exempel val av bärande stomsystem, övergripande val av konstruktionsmaterial i stommen. Projektören har som utgångspunkt för sitt arbete en kravspecifikation för den färdiga konstruktionens egenskaper och funktion.

Det andra steget utgörs av delkontroller av enskilda delar av den totala konstruktionen. Kontrollerna skall visa om och hur kraven som ställts i kravspecifikationen uppfylles.

Arbetet på detta stadium är i många stycken iterativt, det vill säga att man utifrån sina erfarenheter och tumregler arbetar fram ett preliminärt förslag till en lösning som man tror uppfyller kravspecifikationens uppställda mål. Därefter måste man i vissa delar kont-

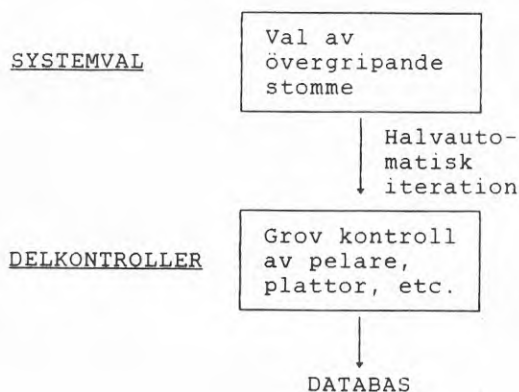


FIG 4.2 Skeden under skisskedet

rollera mera i detalj att det är troligt att den föreslagna lösningen verkligen gör det. Förfarandet upprepas tills dess man funnit en i alla avseenden tillfredsställande lösning. Den lösning som sedan väljs dokumenteras för framtida behov på lämpligt sätt, till exempel i en databas.

Hur kommer då expertsystemet in i denna process? Konceptet för expertsystemet innehåller två nivåer, svarande mot de ovan nämnda grundläggande stegen. Se FIG 4.3.

På nivå 1 arbetar projektören med övergripande utformning av konstruktionen. I expertsystemet skall finnas regler för, till exempel, hur olika strukturer kan sammankopplas, lämpliga spännvidder och möjliga verkningssätt. Kunskapen som ligger till grund för verksamheten och som finns inlagd i expertsystemet, grundar sig således på tidigare erfarenheter, i viss mån statistiskt underlag, tumregler, etc.

På nivå 2 skall enskilda delar av den tänkta lösningen kontrolleras. För detta behöver projektören utföra vissa grova överslagsberäkningar för att förvissa sig om att dimensionerna är rimliga. Projektören skall, om han så önskar, kunna plocka ut ett godtyckligt strukturelement för att analysera detta mera detaljerat. Inför en sådan analys har systemet redan en viss uppsättning information tillgänglig om strukturen och dess omgivning, nämligen den som givits i samband med den övergripande utformningen- lämpliga randvillkor med hänsyn till anslutande strukturdelar, spännvidder, etc. För att underlätta arbetet skall expertsystemet bistå med råd och anvisningar om vilka beräkningar som bör företas, hur parametrar lämpligen skall väljas, etc.

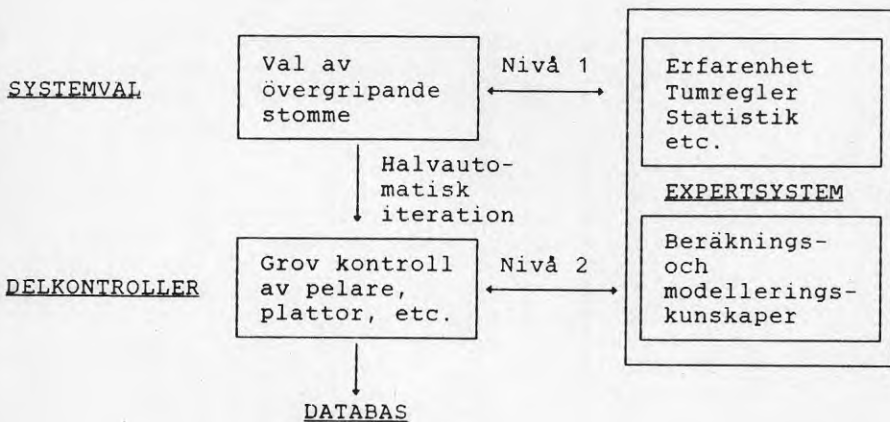


FIG 4.3 Expertsystemets nivåindelning

Expertsystemet skall därefter kontrollera givna indata, genomföra beräkningen och presentera resultatet. Avsikten är att åstadkomma en motsvarighet till SACON systemet, på en lägre teoretisk nivå, men med mera "intelligens" vad avser beräkningsmetodernas egenskaper och förutsättningar.

Expertsystemet skall, utifrån den projekteringsmässiga beskrivningen, identifiera vilken typ av struktur som avses och välja en lämplig beräkningsmetod. Därefter skall det översätta den projektörmässiga beskrivningen till de begrepp som är giltiga i den valda beräkningsmetoden och slutligen genomföra en analys av konstruktionen.

Systemet skall kunna besvara de frågor som den erfarna konstruktören ställs inför vid varje beräkningssituation. Är tvärkraftens inverkan av betydelse för det aktuella fallet? Är knäckning av strukturen dimensionerande? Är genomstansning avgörande för plattans tjocklek? Vissa går inte ens att formulera i frågor och svar, utan ställningstagandet utgör snarare ett resultat av de subtila begreppet erfarenhet.

Arbetet på denna nivå bör vara helt fristående från nivå 1, så när som på att vissa indata kan hämtas därifrån. De beräkningsmetoder som används bör vara mycket förenklade, och inte eftersträva alltför hög noggrannhetsnivå i resultaten. Detta föranleds dels av en strävan efter en så enkel informationsstruktur som möjligt om varje enskild deluppgift, dels av att det är nödvändigt för att kunna hålla beräkningstiderna rimligt korta.

Båda dessa arbetsmoment skall inrymmas i ett och samma systemkoncept. Nedan skall en beskrivning ges av det arbetskoncept som blir aktuellt i de två momenten och de egenskaper som detta förutsätter hos systemet.

Det första steget i projekteringsprocessen karaktäriseras av att man har en viss uppsättning förutsättningar som skall gälla för den färdiga konstruktionen. Dessa förutsättningar specificeras i en kravspecifikation, se FIG 4.4. De primära förutsättningarna ges bland annat av beställaren, den omgivande miljön på den aktuella platsen, samt i gällande normer och föreskrifter. Mera sekundära förutsättningar utgörs av att man måste ta hänsyn till de medel som står till buds för att lösa uppgiften.

Med detta som utgångspunkt gör projektören en bedömning av vilken typ av övergripande lösning som skall väljas för konstruktionen. Till exempel grundsystem för grundläggning och statiskt bärverk. För detta finns idag inte några generella formler eller algoritmer som ger något entydigt svar. Projektören får i stället, med hjälp av sin egen erfarenhet och i "samråd" med expertsystemet, komma fram till ett antal möjliga utformningar. Detta är i stor utsträckning en iterativ process. Man antar en utformning, gör en ut-

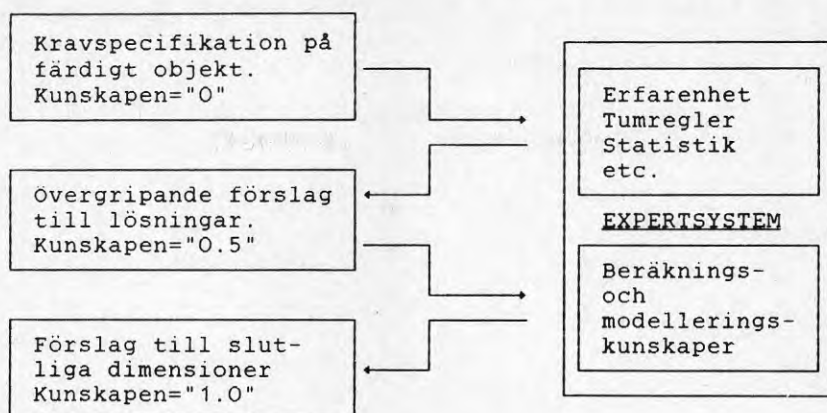


FIG 4.4 Samspelet mellan projektör och expertsystem

värdering av dess för- och nackdelar, kommer fram till en ny utformning. Processen syftar till att finna en, för det aktuella tillfället, acceptabel lösning.

Arbetsgången inleds med att användaren specificerar de förutsättningar som skall gälla för den aktuella strukturen, systemet analyserar den givna informationen, ställer eventuellt kompletterande frågor, och gör därefter en jämförelse mot de relevanta kunskaper och tidigare vunna erfarenheter som lagts in i systemet.

Informationen består av expertkunskaper och erfarenhetsåterföring från tidigare genomförda projekt. Den representeras dels som faktakunskaper, med uppgift om med vilken säkerhet de är kända, dels som relationer mellan förutsättningar och fakta, men även som mer eller mindre grova "tumregler". Dessutom skall informationen innehålla ett underlag som gör det möjligt att bedöma hur optimal en viss lösning är, till exempel ett mått på utnyttjad materialhållfasthet.

Med hjälp av dessa skall systemet ge förslag till lämpliga val, men det skall dessutom ha förmågan att "tänka" framåt. Det vill säga kunna upptäcka och varna för problem som kan komma att uppstå i ett senare skede, till exempel när den slutliga dimensioneringen skall ske, om man väljer en viss lösning. På detta sätt nedbringas antalet iterationer som behövs för att ta fram ett fullständigt och i alla delar realistiskt projekteringsresultat.

Användaren arbetar hela tiden aktivt mot systemet genom att succesivt arbeta fram nya delar, (strukturtyp, geometri och läge), som skall ingå i den aktuella strukturen. Systemets uppgift är att kontrollera och

ge råd vad beträffar olika möjligheter och begränsningar. Arbetet skall resultera i ett preliminärt förslag till en grov övergripande lösning.

För att belysa logiken bakom ett sådant system skall ett exempel ges. Exemplet är fritt översatt och hämtat ur Mahrer m.fl. (1984).

Antag att man vill åstadkomma en algoritm för val av parametrar för en platta, ingående som en del i ett större sammanhang. Algoritmen kan tänkas ingå som en del i en preliminär bestämning av en byggnadsstomme.

De primära indata till denna algoritm är en beskrivning av den geometri som golvbjälklaget skall ha. I det enklaste fallet utgörs detta av två längdmått, b och d . Villkor för dessa är att b alltid skall vara större än d .

Informationen om plattan har för lösningen av detta problem indelats i tre informationsnivåer. Plattans (1) verkningssätt, (2) material samt (3) typ av upp-lag.

Den första nivån är valet av verkningssätt för plattan. Plattor antas normalt ha egenskapen att kunna uppta moment i två riktningar. Ofta är dessa vinkelräta mot varandra och parallella med plattans ränder. Dock kan, om geometrin eller andra villkor fordrar detta, bärning ske endast i en riktning. För att bestämma vilken av dessa som skall väljas, bildas kvoten b/d (bredd/längd). När denna kvot är nära lika med ett antas bärning i två riktningar (bärning-2), annars antas bärning i en riktning (bärning-1). För bärning i två riktningar antas den större dimensionen och för bärning i en riktning antas den mindre dimensionen som spännvidd.

Villkoren för detta kan formuleras enligt:

OM $b/d \leq 1.5$
DÅ ÄR bärning-2 möjlig

OM $b/d > 1.2$
DÅ ÄR bärning-1 möjlig

De gränser som angivits har i första hand valts för att visa principerna för hur man kan åstadkomma en algoritm för val av plattutformning.

Den andra informationsnivån behandlar valet av konstruktionsmaterial. "Materialtyperna" som avses i detta exempel är armerad betong, spännarmerad betong, prefabricerade betongelement och ståldäck. Det finns två typer av villkor för vart och ett av de ovan uppräknade materialen. Det första definierar den ekonomiska spännvidden för varje material, och kan formuleras:

OM spännvidd ≤ 3 m
 DÄ ÄR ståldäck möjligt

OM spännvidd ≤ 4 m
 DÄ ÄR prefab betong möjligt

OM 2.5 m \leq spännvidd ≤ 6 m
 DÄ ÄR armerad betong möjligt

OM 5 m \leq spännvidd ≤ 10 m
 DÄ ÄR spännarmerad betong möjlig

Det andra definierar sambandet mellan verkningssätt och material. Dessa villkor bestäms av egenskaperna hos materialet. Till exempel består ett ståldäck av en betongövertyta lagd på ett antal stålbalkar. Av denna anledning kan en sådan platta endast uppta böjmoment i stålbalkarnas längdriktning.

Villkoren kan tecknas:

OM bärning-1
 DÄ ÄR ståldäck möjligt
 OCH prefab element möjligt
 OCH armerad betong möjligt
 OCH spännarmerad betong möjligt

OM bärning-2
 DÄ ÄR armerad betong möjligt
 OCH spännarmerad betong möjligt

Nivå tre innehåller valet av uppläggningsätt längs plattans ränder. De medtagna alternativen på denna nivå är: (se FIG 4.5.)

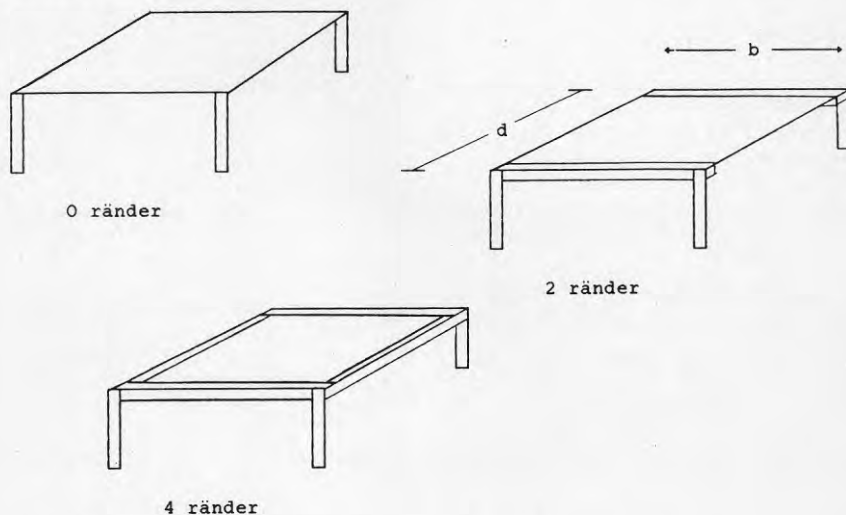


FIG 4.5 Alternativa uppläggningsätt
 Figuren hämtad ur Mahrer m.fl. (1984)

- 0 ränder, symboliserande upplag på fyra pelare,
- 2 ränder, symboliserande uppläggning på två motstående balkar,
- 4 ränder, symboliserande uppläggning på balkar längs plattans alla (fyra) ränder.

Det finns två typer av villkor på denna nivå. Ett representerande sambandet mellan val av upplag och materialval, och ett mellan upplag och möjligt verkningssätt. Villkoren kan formuleras enligt:

OM ståldäck
 ELLER prefab element
 DÅ ÄR 2 ränder upplagda möjligt

OM armerad betong
 ELLER spännarmerad betong
 DÅ ÄR 0 ränder upplagda möjligt
 OCH 2 ränder upplagda möjligt
 OCH 4 ränder upplagda möjligt

OM bärning-1
 DÅ ÄR 0 ränder upplagda möjligt
 OCH 2 ränder upplagda möjligt

OM bärning-2
 DÅ ÄR 0 ränder upplagda möjligt
 OCH 4 ränder upplagda möjligt

De två första villkoren ges av materialets egenskaper, analogt med beskrivningen av ståldäcket ovan fordras uppläggning längs två ränder, medan en platta i armerad betong inte har några sådana begränsningar. De två sista villkoren ger de uppläggningssätt som är giltiga för de två verkningssätten.

Beslutsprocessen med ingående beslutspunkter kan åskådliggöras i ett beslutsträd enligt FIG 4.6. Resultatet kan leda till ett antal lämpliga utformningar av en godtycklig platta. Det finns beslutspunkter i vilka man, med en till synes identisk uppsättning förutsättningar, har möjlighet att välja mellan flera möjliga vägar. Avgörande för vilken slutlig lösning man kommer fram till är: tidigare gjorda val som förutsätter viss utformning, sammanhanget i vilket konstruktionen ingår, kostnader för olika utformningar, användarens preferenser, etc. Processen är en optimeringsprocess, där den, för de aktuella förutsättningarna och optimeringskriterierna, bästa lösningen sökes.

Det finns tre huvudproblem som man måste lösa för att ett dylikt system skall fungera och vara användbart.

Det första är att finna en generell utformning för den dialog som behövs för att beskriva de förutsättningar som gäller för den aktuella strukturen. Dialogen skall kunna användas för alla typer av strukturer och mate-

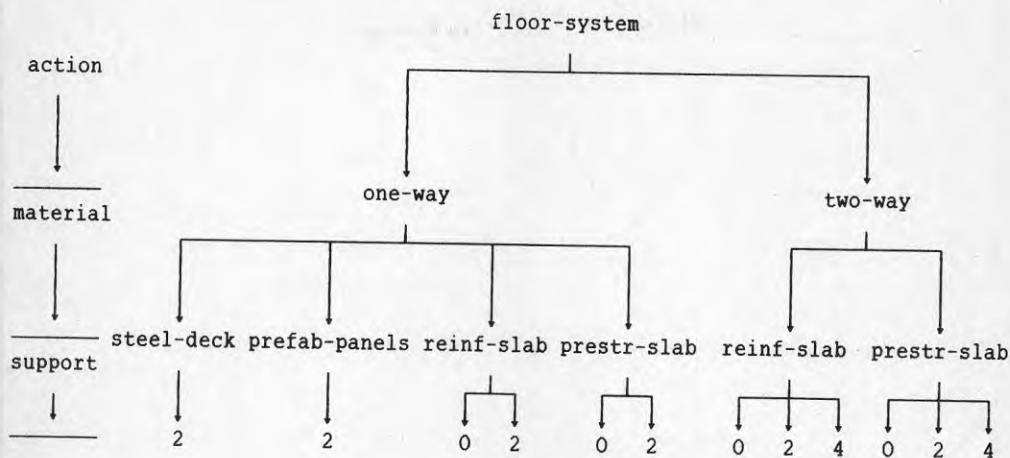


FIG 4.6 Beslutsträd för val av plattutformning
Figuren enligt Mahrer m.fl. (1984)

rial som kan bli aktuella. Uppgiften att åstadkomma ett sådant koncept åligger skaparen av systemet.

Problem nummer två består i att bygga upp kompetensen (intelligensen) hos systemet. Detta åligger en ny typ av ingenjörer, kunskapsingenjörer, som uppkommit i samband med expertsystem.

Kunskapsingenjören måste lära sig så mycket som möjligt om det aktuella problemområdet. Arbetet består i att samla och strukturera tillgänglig kunskap på området. Detta görs genom att dels intervjua "lämpliga" experter, dels inhämta information som finns dokumenterad i kurs- och facklitteratur, översiktsartiklar och annat bakgrundsmaterial. Förutom att dokumentera rena faktakunskaper, skall mera subtila kunskaper som den yrkesjargong samt de "tumregler" och praxis som används på området dokumenteras. Av stor vikt är att den samlade informationen struktureras på ett sådant sätt att den blir generell och därmed möjlig att använda inom ett så brett problemområde som möjligt.

Det är dock inte tillräckligt. För att kunskapen skall kunna komma till användning, måste man ha en logik (inferenssystem, resonerare) för hur man skall använda den för sin slutsatsdragning. Detta är det tredje problemet, och kanske det viktigaste, som måste lösas för att man skall kunna åstadkomma ett effektivt problemlösande system. Det är i denna logik som expertens sätt att tänka och resonera kommer in.

De situationer som man ställs inför kommer alltid i vissa avseenden att vara mer eller mindre unika. Det är resonerarens uppgift att ställa de förutsättningar som användaren ger för den färdiga konstruktionen, mot de kunskaper, regler och samband som finns i expertsystemet. Tack vare att informationen, som finns tillgänglig i kunskapsbanken, givits på ett sätt som inte binder den till en viss specifik tillämpning kan slutsatser dras även om tillämpningar som ligger lite på sidan om vad som tidigare gjorts. Systemet måste ha förmågan att klara situationer med motsägande information. Antingen genom att använda den interna kunskapen, eller genom att ställa relevanta frågor till användaren och på så sätt erhålla information som kan lösa konfliktsituationen.

Hur bra dessa slutsatser blir beror på kvaliteten i inferensreglerna, och därmed i slutändan på den tolkning av expertkunskaperna som skett vid uppställandet av dessa. Kunskapsingenjören bär således i detta avseende ett mycket tungt ansvar.

När som helst under den övergripande systemutformningen skall projektören kunna kontrollera rimligheten hos del val som gjorts, ta reda på mera i detalj vilka egenskaper en viss utformning av ett enskilt element medför, bestämma erforderliga dimensioner, eller undersöka omgivningens inverkan på en viss del av konstruktionen. För att göra detta måste någon form av beräkning/analys utföras. Denna uppgift löses på den andra logiska nivån i systemet.

Konceptet innebär att man i systemet har ett antal på förhand definierade strukturtyper som kan behandlas. Till exempel balkar, plattor, skivor, pelare, etc. Systemet genomför en analys med utgångspunkt från den av användaren givna beskrivningen av problemet.

Expertsystemets uppgift i detta fall blir att fungera som en intelligent pre-processor. Indata till analysen hämtas dels från den redan befintliga information som givits under nivå 1, dels direkt från användaren.

Information som kan hämtas från nivå 1 är geometri, anslutande element, uppgifter om vilken användning man tänker sig för den färdiga strukturen, etc. Till detta kan kopplas en rad parametrar såsom laster, krav på nedböjning, brandkrav, ljud- och värmeisolering, samt eventuella speciella förutsättningar och krav som gäller för den aktuella strukturen, till exempel exceptionella laster, extrema krav på nedböjning eller isolering. Dessa kompletterar eller ersätter de parametrar som givits av användaren. Om ytterligare information är nödvändig inhämtas den genom direkta frågor till användaren.

Informationen skall kontrolleras, dels med avseende på rimlighet, dels med avseende på fullständighet. Med detta som grund skall systemet ge användaren råd och

förslag till parameterintervall, till exempel materialparametrar och randvillkor. När detta är avklarat kan analysen ske. Detta förutsätter en algoritm för hur grundelementen skall modelleras i ett beräkningsprogram.

Konceptet innebär således att den beräkningsmodell som skall ligga till grund för analysen, byggs upp i samspel mellan projektören, som ger en "vardaglig" beskrivning av förutsättningarna, och expertsystemets kunskaper om den analysmetod som skall användas. Med hjälp av expertsystemets kunskaper kan dialogen mellan systemet och användaren hållas på en acceptabel teoretisk nivå. För att belysa vad som avses med detta skall ett exempel ges.

Antag att en platta skall ges preliminära dimensioner. Användaren har givit den geometriska utformningen. För att en analys av strukturen skall kunna ske, måste de randvillkor som skall gälla definieras. För att klara detta val fordras vissa teoretiska kunskaper. Denna kunskap skall expertsystemet besitta, för att ge användaren ett bra stöd för valet. Kunskapen består dels av information om den aktuella strukturens verknings sätt och krav på upplag, dels information om vilka typer av modelleringar av randvillkor som är tillåtna i den använda analysmetoden. Med detta som grund skall systemet ge användaren förslag till val av randvillkor och eventuellt val av inspänningsgrad i anslutande delar. Förslagen kan införas som standardvärden, så kallade defaultvärden, som användaren kan ändra om han har ett bättre värde att ge.

Den bedömning av rimligheten som åligger användaren av systemet att utföra, kräver normalt viss kompetens och kanske framförallt erfarenhet. I en vidareutveckling av ett dylikt system skulle man kunna tänka sig att expertsystemet skulle bistå med någon form av understöd även av rimlighetsbedömningen. Systemets understöd för bedömningen skulle kunna utformas så att det erhållna resultatet, jämförs med de fakta och tumregler som finns dokumenterade i kunskapsbanken på nivå 1. Om resultatet avviker signifikativt från detta, skall en varning ges samt en diagnos för vad som kan vara orsaken. Användaren får då tillfälle att ytterligare en gång kontrollera sina förutsättningar och eventuellt hitta felaktigheter i dessa.

4.2.4 Kapacitet och utrustning

Vilken typ av datorkapacitet och utrustning behöver man för att bygga ett fungerande expertsystem för projektering? För att kunna svara på denna fråga måste man analysera de förutsättningar som gäller.

I projekteringsprocessen söker man finna en utformning av den aktuella byggnaden som på bästa sätt uppfyller de krav som ställs och de förutsättningar som råder i

den aktuella situationen. Lösningen sökes i ett "lösningssrum" som i princip är oändligt stort. Det vill säga att man vid starten av processen inte med någon grad av säkerhet vet hur lösningen kommer att se ut. Vissa kvalificerade gissningar kan man kanske ge, men det slutliga resultatet är okänt. Processen påverkas nämligen inte enbart av de krav och förutsättningar som är kända före processens början. Val och andra faktorer under processens gång kommer i större eller mindre omfattning att påverka lösningen i en eller annan riktning. Något som man rimligtvis inte kan förutse i förväg.

För att klara att bygga ett expertsystem som klarar en sådan komplex projekteringssituation, fordras mycket stora och kraftfulla datorer med kringutrustning som medför mycket stora utvecklingskostnader. Därför måste man, innan man sätter igång själva uppbyggnadsprocessen, göra klart för sig vilken typ av system man önskar och hur mycket det skall klara. Man måste således väl avgränsa systemets kompetens- och verksamhetsområde.

Ovan har ett expertsystems funktion skisserats med en logisk nivåindelning efter typ av aktivitet, kallat nivå 1 respektive nivå 2. Nivå 1 arbetar med övergripande systemval, medan nivå 2 går in på grova kontroller/analyser av delar ingående i det övergripande systemet. En dylik uppdelning är nödvändig och önskvärd vid uppbyggnaden av det i detta kapitel skisserade projekteringshjälpmedlet. Dels för att systematisera själva uppbyggnadsarbetet, dels för att erhålla den för projektören logiska uppdelningen mellan olika aktiviteter.

Behovet av datorkapacitet varierar under ett expertsystems utvecklingsstadier. Under själva uppbyggnaden är behovet av en kraftfull datorresurs avgörande för framgången i arbetet. Av denna anledning är det lämpligt att arbeta med relativt stora system, då avses datorer av en storleksklass som är avsevärt större än en "stor" persondator. Anledningen till detta är bland annat att de programmeringsspråk, exempelvis LISP och Prolog som är vanliga i dessa sammanhang, är relativt långsamma och därför kräver snabba, kraftfulla datorer.

När expertsystemet är "färdigt" för användning inom sitt verksamhetsområde kan man arbeta med betydligt mindre resurser. Man kan "kompilera" det färdiga systemet och lägga in den maskinnära koden i en mindre maskin. På detta sätt blir programmet snabbare och mindre resurskrävande och kan köras på en persondator. En "stor" persondator är i regel tillräckligt stor för de flesta tillämpningarna.

En annan fråga man måste ta ställning till är: Hur skall systemets kunskapsbank organiseras och underhållas? Man kan i princip se tre olika sätt att organisera detta, som ett:

-stort generellt system som klarar alla tillämpningar inom sitt fack. I detta fall skulle persondatorerna vara uppkopplade i ett nätverk och utnyttja samma basresurser, det vill säga även kunskapsbasen.

-företagsinternt system, som kan lösa alla de behov av datorstöd som kan uppstå i ett enskilt företag.

-branschspecialiserat system, där företag inom samma verksamhetsområde kan utnyttja samma stomme.

Den första typen kommer antagligen att få ett alltför stort omfång och lösningsrum att arbeta inom för att det skall vara ett realistiskt alternativ. Även den andra typen dras med samma problem, om än i en något mindre skala. I detta fall skall bördan dras av ett företag ensamt, vilket inte är realistiskt ur kostnadssynpunkt.

Den tredje lösningen, med ett branschspecialiserat system, är förmodligen den mest rimliga organisationen. På detta sätt erhåller man en specialisering som gör att lösningarna till problemen rör sig inom ett något så när begränsat område.

Stommen till ett sådant system bör utvecklas "centralt". Med detta avses att varje enskilt företag inte skall utveckla en stomme till ett eget system, utan att detta lämpligen sker genom någon form av samarbete med andra företag inom branschen, med stöd från någon central forskningsorganisation. På detta sätt fördelas de betungande utvecklingskostnaderna, samtidigt som företagens medverkan är nödvändig för att resultatet skall motsvara de behov och förväntningar branschen har.

Med en sådan organisation skulle grunden skapas till systemet. Grunden innefattar dels vad som benämnes "skal", det vill säga den resonerande och kommunicerande delen av systemet, dels vissa grundläggande funktioner såsom beräkningsfaciliteter för överslagsberäkningar.

Konkurrenssituationen mellan företag inom samma bransch gör det svårt att utveckla ett i alla delar gemensamt system, där alla har tillgång till samma bakgrundsinformation. Om man i stället väljer det tredje alternativet kan varje enskilt företag lägga in just sina specialkunskaper, som man inte gärna vill lämna ut till sina konkurrenter.

4.3 Utvecklings- och resursbehov

Vilka resurser måste man ställa till förfogande för att åstadkomma ett expertsystem för projektering?

Det är mycket svårt att svara precist på denna fråga. En erfaren specialist på expertsystem, Edward Feigbaum har givit en del synpunkter på detta. Han indelar utvecklingen av ett system i fyra faser. Siffrorna inom parentes, uppgifterna enligt Lund (1985), anger en mycket grovt uppskattad kostnad, baserade på flera olika källor. I det aktuella fallet avses ett medelstort system.

Fas 1: Fastställ behov, värde och målsättning.
(\$ 30 000)

Fas 2: Konstruktion och framtagning av en prototyp.
(\$ 300 000)

Fas 3: Utveckling av expertsystem.
(\$ 1,5 miljoner)

Fas 4: Installation på fältet och integration med det dagliga arbetet.
(På detta område finns det alldeles för lite erfarenhet för att kunna uppskatta kostnaderna)

Idag finns en växande marknad för vad man brukar beteckna som "skal". Detta är i princip expertsystem där man avlägsnat den specifika expertkunskapen och endast behållit den resonerande delen. Expertsystemet SACON har utvecklats med denna metod. "Skalet" har i detta fall hämtats från systemet EMYCIN, som även utgör ryggraden i diagnossystemet MYCIN.

Resonerare kan arbeta enligt många olika principer för att komma fram till en slutsats. De två vanligaste är "framåt"- respektive "bakåt"-riktad slutsatsdragning. I den förra utgår man från en hypotes och försöker bevisa den, i den senare utgår man istället från fakta och söker den hypotes som bäst passar in på dessa. Metoderna är olika effektiva för att lösa olika typer av problem. I vissa fall behöver man kanske använda fler än en metod för att snabbt komma fram till en rimlig slutsats. I de "skal" som saluförs finns oftast endast en metod implementerad för slutsatsdragning, i verkligt avancerade system finns ofta flera. Detta utgör en påtaglig brist hos dessa "skal"-produkter.

Skalen kan således köpas och kunden kan själv "fylla" kunskapsbasen med relevant kunskap för det egna problemområdet. Man skulle därigenom minska sina utvecklingskostnader till viss del, men att samla och koda den kunskap som behövs för att lösa problem inom ett problemområde, är en mycket svår och arbetskrävande uppgift.

För att klara av detta behöver man dels en expert som behärskar det aktuella problemområdet, (i detta fall främst en projektör men även konstruktörskunskaper är nödvändiga), dels en specialist som har specialkunskaper rörande kunskapsbasens uppbyggnad och organisation.

Ett lämpligt sätt att realisera planerna på ett expertsystem för projektering skulle kunna inledas med att skapa delar av nivå 2 för vissa strukturer först, det vill säga den del av expertsystemet som skall bistå projektören vid de grova överslagskontrollerna.

Denna uppgift är förhållandevis väl strukturerad och bör därför inte ställa till alltför stora problem. Man vet ganska väl vilka förutsättningar som skall gälla för beräkning av olika strukturelement. De bestäms ju till stor del redan när man utvecklar och anpassar den valda beräkningsalgoritmen för användning i ett det aktuella systemet.

Arbetet kan indelas i två huvuduppgifter:

- att skapa ett expertsystem som kan identifiera olika typer av strukturer och har kunskaper om hur beräkningsmodellerna för dessa skall se ut, och som i samspel med användaren kan upprätta en effektiv beräkningsmodell.

- ta fram lämpliga analysmetoder, för relevanta strukturer och noggrannhetsnivåer. Härvid skall beräkningstiden hållas inom vissa hårt satta ramar.

Det man skall åstadkomma är i princip ett system som arbetar enligt det koncept som SACON använder, skillnaden ligger i att man arbetar med beräkningsprogram som ligger ett antal noggrannhetsnivåer lägre och att systemet skall självt genomföra de beräkningar som erfordras.

Utvecklingen av nivå 1 kan vara svårare. Här känner man inte på samma sätt de förutsättningar och resultat man vill åstadkomma. Projektören arbetar här i "fullständig" frihet, och skapar direkt ur sitt huvud. Det ligger i problemets natur att processen aldrig är helt färdig, utan en kontinuerlig vidgning och förfining erfordras. Målet för processen känner bara projektören själv till, systemet är helt okunnigt om det övergripande sammanhanget. Dessutom kommer, eftersom informationen på denna nivå inte är så väl definierad och begränsad som på nivå 2, speciella problem att uppstå vid skapandet av kunskapsbasen till systemet. Trots detta ter sig dock inte uppgiften som omöjlig.

5. UTFORMNING AV BERÄKNINGSSYSTEM

I kapitel 1 diskuterades de strävanden som görs för att bättre utnyttja den information, som tas fram under de tidiga skedena av projekteringsprocessen, om byggnadsdelarnas geometri för att utnyttja denna i samband med konstruktionsberäkningar. Man försöker att på ett mer eller mindre automatiskt sätt överföra information mellan skiss- och konstruktionsskedet.

Mot bakgrund av detta och det som sagts i övriga kapitel, skall här en diskussion föras om hur en mera lämplig informationsbehandling i projekteringsprocessen skulle kunna se ut. Dessutom går denna framställning ett steg längre i syfte att ta till vara även andra former av information som tas fram under skisskedet.

Framställningen kan i vissa anses vara visionär, då inget av det som skisseras finns idag, åtminstone inte i praktiskt bruk. Däremot skulle man mycket väl kunna genomföra vissa delar redan idag, som till exempel en effektivare informationsöverföring vad avser det som i texten benämns funktionsdata. Men då utan expert-system som kommunikationslänk mellan skiss- och konstruktionsskedet.

5.1 Övergripande organisation

Det sätt som informationen om ett byggnadsobjekt idag behandlas i en datoriserad projekteringsprocess är otillfredsställande ur två aspekter.

Dels innebär det sätt på vilket information överföres mellan skiss- och konstruktionsskedet ett dåligt utnyttjande av datorresurserna. Man har i båda skedena två kraftfulla datorresurser som inte på ett effektivt och tillförlitligt sätt förmår att utbyta information. Situationen kan illustreras med FIG 5.1. Datorresursen har koncentrerats till de inledande och avslutande delarna av projekteringsprocessen. De behov av mindre noggranna och kapacitetskrävande metoder som finns under skisskedets och konstruktionsskedets grova dimensioneringsfas är mycket dåligt tillfredsställt. Information hämtas ut ur den ena kraftfulla datorn, CAD-systemet, för att helt manuellt stoppas in i en annan kraftfull dator, beräkningssystemet. Ett av de vanligaste, och hitills ofta det enda sättet att överföra information är genom pappersutskriften. Det vill säga i första hand genom att med CAD-systemets hjälp ta fram ritningar på de delar som konstruktören behöver som underlag för sitt arbete.

Dessutom har man vid informationsöverföringen ett oacceptabelt informationsspill. Den information som projektören, förutom rena geometridata, tar fram och sammanställer om byggnadsdelarnas funktion och egen-

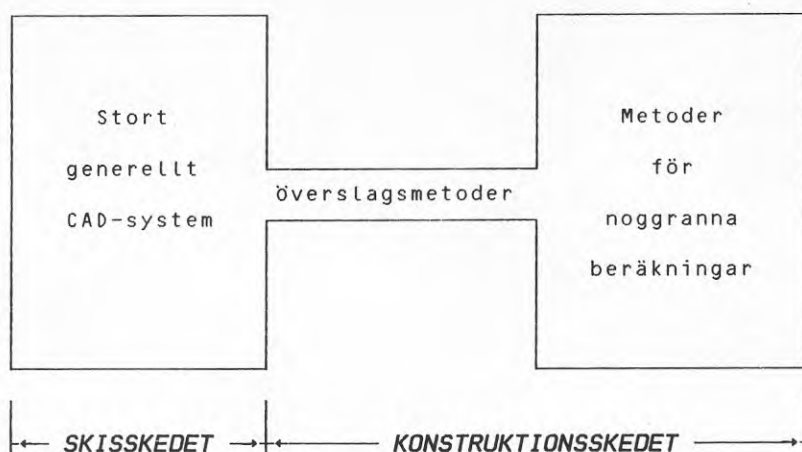


FIG 5.1 Datorresursens fördelning i projekteringsprocessen

skaper tappas bort. Detta beror på att denna information inte på något sätt kan representeras i CAD-systemets informationsstruktur. Konstruktören måste, för att kunna utnyttja CAD-information via direktöverföring, utföra en tolkning av informationen för att den skall kunna användas som underlag för beräkningar.

Anledningen till svårigheterna är det i grunden olika sätten att representera och organisera information i CAD- respektive beräkningssystem.

I CAD-system representeras information huvudsakligen enligt två principer. Det ena sättet innebär att strukturerna definieras med hjälp av ytor, medan det andra sättet bygger upp geometrin med hjälp av punkter och linjer. Gemensamt för båda är att den geometriska definitionen är numerisk och neutral. Med detta avses att informationen inte har strukturerats med avseende på vilken typ av objekt den skall beskriva, utan oavsett byggnadsdel är uppbyggd med hjälp av geometriskt definierade ytor, linjer eller punkter.

Vissa system tillåter dock att användaren ger de ingående delarna någon form av beteckning. Med ett sådant systematiskt beteckningssystem som grund, kan man i vissa system få någon form av systematisk uppställning över vad som ingår i konstruktionen. Man skall dock observera att det i detta fall är användaren som utför "märkningen" och att systemet i sig självt inte har någon kunskap om vad beteckningarna egentligen innebär. Det är användaren som helt och hållet bär ansvaret för systematiken och beteckningarna. Utan denna går det inte, åtminstone inte enkelt, att utläsa ur den obearbetade informationen, att det är en beskrivning av en viss byggnadsdel som avses.

Detta anses idag ur många aspekter ändamålsenligt åtminstone för funktionen hos CAD-systemet. Informationen skall ju enbart, ur CAD-systemets synvinkel, tolkas för att numeriskt styra någon form av ritningsmedium (t. ex. plotter eller bildskärm) så att den ritar upp avsedd del av objektet. De ingående delarnas betydelse och funktion i verkligheten saknar betydelse. På detta sätt erhåller man ett mycket generellt informationskoncept som klarar att behandla många olika typer av objekt. Nackdelen är att informationen på detta sätt helt har rensats från all annan information än den som beskriver geometrin.

Ett beräkningssystem lagrar däremot information med hänsyn till de ingående delarnas funktion i strukturen. Data har på ett eller annat sätt "märkts" så att man, om man känner till systematiken som använts, kan avgöra vilken typ av struktur som avses. Man kan identifiera vad som avser beskrivningen av en balk och vad som avser en platta. Informationen har på detta sätt ordnats hierarkiskt så att varje datamängd refererar till en viss typ av struktur. Till den geometriska beskrivningen har data refererats som beskriver den aktuella strukturens funktion och egenskaper. Informationsstrukturen är dessutom speciellt anpassad till varje typ av struktur. Det vill säga informationen som definierar en platta har normalt inte strukturerats på samma sätt som den som definierar en balk eller pelare.

Skillnaden skall belysas med ett exempel. Antag att en rektangulär bjälklagsplatta skall beskrivas och representeras i ett CAD- respektive beräkningssystem. Lagrad information om plattan enligt ett CAD- respektive beräkningssystem framgår av FIG 5.2.

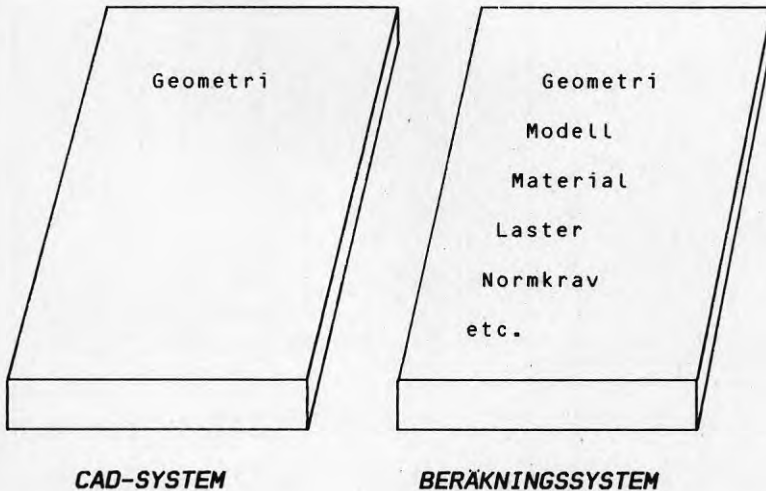


FIG 5.2 Information om bjälklagsplatta i CAD- respektive beräkningssystem

I CAD-systemet består informationen, beroende på vilket beskrivningskoncept som används, av data om definierade ytor eller linjer. Detta är i princip det enda som finns lagrat om plattan. Ingenting sägs om vilken typ av struktur som beskrivs, eller vilka utmärkande statistiska egenskaper den har. I beräkningssystemet däremot finns, förutom en geometrisk beskrivning (i detta fall bestående av linjer funktionsmässigt kopplade i form av en begränsningslinje för en bestämd typ av struktur), ett antal data som beskriver plattans statistiska egenskaper (tjocklek, material, armering, etc.).

CAD-system är således i allmänhet ritningsorienterade, medan beräkningssystem kan sägas vara funktionsorienterade. Med detta menas att den information som lagras i ett CAD-system har som huvudsakliga syfte att ligga till grund för en uppritning på någon form av grafiskt medium och har organiserats för detta ändamål. I beräkningssystem däremot har informationens struktur och innehåll anpassats för att vara en ändamålsenlig grund för statistiska beräkningar.

Det är denna skillnad som är orsaken till problemen när ritningsinformationen skall användas som grund för statistiska beräkningar. För denna tillämpning av informationen har de ingående delarnas funktion i den totala strukturen avgörande betydelse för tolkningen och användningen av informationen. Detta innebär för närvarande att man, för att få det hela att över huvud taget fungera, måste manuellt tolka och plocka fram den relevanta informationen ur CAD-systemet. Detta kan till exempel ske genom att beräkningsprogrammet efterfrågar vissa uppgifter och att användaren markerar dessa med hjälp av CAD-systemet, till exempel genom att peka på bildskärmen, en metod som bland annat tillämpas i examensarbetet av Klintmalm och Lind (1983), se avsnitt 1.2.1.

Den koppling som saknas mellan geometri och funktion har redan gjorts av projektören under skisskedet, om än med andra uttrycksmedel än vad som normalt används i samband med modellering vid statistiska beräkningar. Det vore således mycket värdefullt om denna information, som projektören skapar och behandlar under skisskedet, lagrades så att den, liksom geometridata, finns tillgänglig för den fortsatta bearbetningen av den preliminära lösningen. CAD-systemets geometri-definition skulle således kompletteras med en informationsbank som inte enbart refererar till ospecificerade "ytor" utan till exempel till "golvytor". Dessutom bör informationen innehålla den avsedda strukturdelens funktion, förutsättningar och krav.

Kopplingen skulle således kunna åstadkommas genom att man redan på skisstadiet bygger upp en informationsbank bestående av funktionsdata. Principen för en sådan organisation och arbetsmetodik framgår av FIG 5.3.

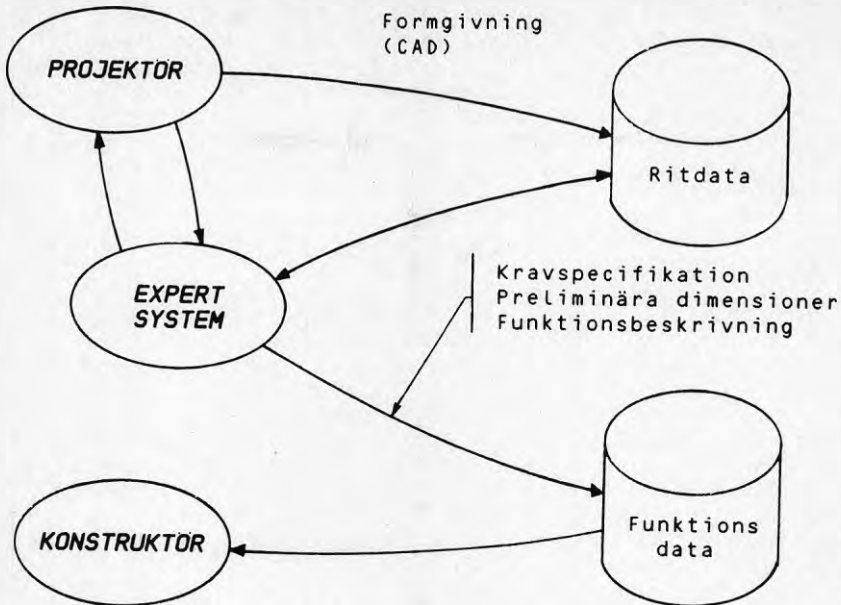


FIG 5.3 Organisation av information i projekteringsprocessen

Projektören har med denna organisation två hjälpmedel till sitt förfogande. Dels ett CAD-system, dels ett hjälpmedel i form av ett expertsystem, för att ta fram underlag för bedömningar som måste göras under arbetsgång.

Med CAD-systemet definierar projektören den geometri som beskriver byggnaden. Denna geometridefinition är på samma sätt som tidigare neutralt formulerad. Det vill säga ingen speciell koppling görs till vilken typ av struktur som geometridata refererar. Detta åstadkommes i stället med hjälp av och i samarbete med expertsystemet.

Expertsystemet skall i detta sammanhang ha två egenskaper. Dels skall det kunna fungera som beräkningsstöd åt projektören när denne behöver få enklare analyser utförda. För detta fordras att modelleringskunskaper finns inlagda i systemets kunskapsbas, vilket diskuterades i kapitel 4. Dels skall systemet, med projektörens hjälp, kunna tolka informationen som finns tillgänglig i CAD-systemets databas och komplettera med relevanta funktionsdata.

Expertsystemet skall kunna användas både som pre- och post-processor till CAD-systemet. Med pre-processor avses att projektören kan inhämta information från expertsystemet, till exempel i form av beräkningar, i

samband med att geometrin definieras. Det kan dock finnas delar där projektören inte behöver utnyttja expertsystemet för att ta fram lämpliga lösningar. I dessa fall finns således inga data om dessa strukturer i expertsystemet. För att skapa funktionsdata även för dessa strukturer fordras att projektören behandlar också dessa delar i expertsystemet. I detta fall blir det inte fråga om att utföra några beräkningar utan enbart att utföra en tolkning och beskrivning av CAD-databasens information och definiera funktionsdata för dessa.

Vad skall då ingå i dessa funktionsdata? För att besvara denna fråga skall projektörens arbete med expertsystemet analyseras.

Projektörens uppgift är att ta fram en övergripande lösning för det aktuella projektet som ur vissa avseenden är acceptabel. Som en del i detta arbete ingår att bestämma preliminära dimensioner för de ingående delarna. Detta är nödvändigt för att man på ett så tidigt stadium som möjligt skall få en uppfattning om en föreslagen lösning är rimlig och går att realisera.

Som grund för denna ytterst preliminära dimensionering behöver projektören få vissa beräkningar utförda. I kapitel 4 konstaterades att konventionella metoder inte alltid är lämpliga att använda i detta sammanhang. De fordrar därvid alltför väl underbyggda indata, modellerna är i regel alltför noggranna och därmed tidskrävande, resultaten som erhålles passar dåligt in på skisskedets behov både vad avser innehåll och presentation. Tekniken bakom expertsystem har setts som en möjlighet att lösa projektörens behov av beräkningsstöd under skisskedet.

En förutsättning för att expertsystemet skall kunna utföra en analys är att det har tillgång till grundläggande information om den struktur som skall analyseras. Expertsystemet skall på egen hand kunna upptäcka att information saknas och efterfråga eller ta fram den nödvändiga informationen. Vissa uppgifter kan exempelvis hämtas från CAD-systemets databas, till exempel data om strukturens geometri. Andra måste ges av projektören, till exempel vilken typ av konstruktion det är fråga om. Dessutom har expertsystemet självt en viss grundläggande kunskap om strukturer och dess egenskaper och förutsättningar som kan plockas fram med ledning av den information som erhållits ur CAD-systemet och från projektören.

När expertsystemet har erhållit tillräckligt underlag för att utföra en analys, måste någon form av modellering av problemet göras. I samband med detta kommer vissa antaganden och förutsättningar att definieras. Antingen av användaren, det vill säga projektören, men framförallt genom expertsystemets egen kunskap om modellering av strukturer.

Det är den information som tagits fram under skisskedets arbete som skall struktureras på lämpligt sätt, refereras till den information som finns i CAD-databasen och lagras i en databas som "funktionsdata". Informationen kan logiskt indelas i tre huvudkategorier:

- statisk funktion
- förutsättningar
- speciella krav

Statisk funktion innebär att den beskrivna strukturen kopplas till en viss statisk strukturtyp. Detta kan ske genom att till exempel koppla golvyta till en statisk motsvarighet i form av en platta. I expertsystemets kunskapsbas skall finnas information om vad plattor är. Det vill säga hur plattor definieras, hur man informationsmässigt hanterar dem, vilka egenskaper de kan ha, hur de kan samverka med andra strukturer, et c.

Med denna information som bakgrund skall expertsystemet dessutom kunna göra vissa egna antaganden som grund för någon form av modellering och analys i expertsystemet. Bland annat kan antaganden göras om hur plattan samverkar med omgivande strukturer. Till exempel om det är lämpligt med fri uppläggning längs randen eller om den skall vara inspänd i anslutande väggar. De modelleringsansatser som expertsystemet gör skall naturligtvis ske enligt de principer som angavs i avsnitt 2.3.1, det vill säga på den "säkra" sidan.

Den information som tagits fram, rörande de statistiska egenskaperna, kan vara värdefull för konstruktören att få. Dels för att han skall kunna använda detta som en utgångspunkt för egna analyser, dels för att öka förståelsen för hur man kommit fram till de preliminära dimensionerna.

Med förutsättningar avses till exempel vilka antaganden man gjort i fråga om materialval, belastningar, med mera. I detta sammanhang skall speciellt framgå speciella förutsättningar som råder. Det vill säga uppgifter om speciella laster som förekommer och som avviker från lastantaganden som anges i normerna.

Under punkten krav redovisas de krav på den statistiska funktionen som avviker från det normala. Till exempel om man ställer högre krav på tät, och därmed sprickfri betong än vad som är vanligt.

Organisationen innebär visserligen inte att konstruktören bara behöver övervaka en helt automatiserad informationsöverföring, men arbetet kan struktureras upp bättre och därmed underlättas. Framförallt kan han få en sammanställning och därmed en bättre överblick över de olika strukturer som förekommer och de förutsättningar som gäller. Han kan i princip erhålla en lista över exempelvis alla plattor som förekommer i byggnaden och de speciella förutsättningar som gäller för dem. Däremot kan han inte helt automatiskt få en

exakt överföring av beräkningsmodeller till ett specifikt beräkningsprogram. Problemen med en sådan är alltför stora. Valet av geometri är inte enbart beroende av hur den aktuella strukturen ser ut, utan en hel del ingenjörsmässiga bedömningar måste ofta göras. Till exempel är det inte alltid säkert att strukturens systemlinje ligger i den geometriska medellinjen.

5.2 Användaranpassad informationshantering

Expertsystemets uppgift är således att samla in information om de strukturer som ingår i byggnaden. I detta ingår dels att analysera den information som finns om objektet och utifrån denna ta fram "egen" kunskap ur kunskapsbasen, dels efterfråga eventuell saknad information. Utifrån denna informationsgrund kan dessutom vissa analyser utföras i vilka ytterligare information tas fram i samband med att den för analysen nödvändiga modelleringen utförs.

Den samlade informationen skall lagras på ett för projektören ändamålsenligt och bekant sätt så att den kan nyttiggöras som underlag för arbetet i senare skeden. Expertsystemet kan under skisskedet ha gjort vissa viktiga antaganden som är av stor betydelse för beräkningar som skall utföras under konstruktionsskedet. Till exempel att man för den speciella verksamhet som skall drivas i byggnaden inte tolererar så stora deformationer som normalt tolereras i normerna. Genom att dessa antaganden kan ingå som förutsättningar under det efterföljande konstruktionsskedet kan konstruktören ta hänsyn till detta redan från första början. Varje strukturdelen ges en uppsättning krav och förutsättningar som följer den genom hela projekteringsprocessen.

En användaranpassad informationspresentation är en förutsättning för att man skall kunna åstadkomma ett ändamålsenligt beräkningsstöd för projektören. Genom att se till att expertsystemet har förmågan att kommunicera med projektören om statistiska modeller på ett språk som är anpassat till hans vardagliga språk, kan han ges tillfälle att använda beräkningsmetoder som utan denna anpassning skulle vara mycket besvärliga eller helt omöjliga begreppsmässigt för honom att använda. Expertsystemet skall kunna "prata" om golv och väggar, och bygga upp realistiska statistiska modeller för platt- och skivstrukturer. En begränsning finns dock i hur pass komplicerade strukturer man på detta sätt kan modellera med dessa enkla hjälpmedel.

Ett mycket viktigt syfte med den skisserade organisationen av beräkningsresursen är att uppnå kontinuitet i informationsförmedlingen mellan de inblandade parterna. Ingen relevant information skall få gå till spillo. Den information som en gång har tagits fram skall finnas kvar och vara möjlig att utnyttja på nytt vid ett senare tillfälle.

Konservativ indatabehandling har berörts i samband med indatagivning till konventionella beräkningsprogram, i avsnitten 2.2.5 och 4.2.1. I detta mera övergripande sammanhang kan man tala om konservativ informations-behandling. Skillnaden mellan dessa är att det i det förra fallet handlade om specialiserade indata som fordras för ett specifikt beräkningstillfälle, till exempel definitionen av randvillkoren för en platta vars ena rand är fast inspänd. Här handlar det snarare om allmän information som är relevant, inte enbart för en speciell beräkning utan en projekteringsprocess i sin helhet och allt vad den innebär i fråga om bedömningar, överväganden, antaganden och naturligtvis också beräkningar. Ett exempel på detta kan vara att man föreskriver att en platta skall vara fast inspänd längs en specificerad rand.

I fallet indata till ett specifikt program kan man säga att datahanteringen är internt konservativ. Med detta avses att när man lämnar den aktuella beräkningen åt handlingarna lagras man inte längre de sparade indata. I expertsystemet däremot eftersträvar man något man kan kalla externt konservativ databehandling. Syftet är ju, förutom att lagra information för internt bruk, att överföra information om den valda lösningen så att den kan utnyttjas även under andra skeden av processen. Överföringen av information sker i detta fall via funktionsdatabasen, men även genom ritdata (till exempel i form av beräknad preliminär tjocklek).

Man kan således se expertsystemets uppgift dels som en användaranpassad kommunikationslänk, dels som en informationsförmedlare mellan projektör och konstruktör. Men man får den skull inte tro att det kan helt ersätta den naturliga dialog som idag sker under arbetets gång mellan projektörer och konstruktörer. Denna är fortfarande relevant och nödvändig. Expertsystemet skall endast fungera som ett hjälpmedel i detta informationsutbyte och underlätta kommunikationen mellan projektören och konstruktören.

LITTERATUR

Bell K, Athol C, Syvertsen T G, 1983, 'Handbook of Computer Programming Design, Development and Maintenance of Engineering (FORTRAN) Software', (The Foundation of Scientific and Industrial Research at the Norwegian Institute of Technology), SINTEF Report, p 8.1-8.18. Trondheim.

Eriksson A, Andersson L & Ludvigsson J, 1983, 'Datorn för byggnadskonstruktionsarbete - metoder, möjligheter och risker', (Statens råd för byggnadsforskning), rapport R137:1983, Stockholm.

Klintmalm L, Lind M, 1983, 'Byggnadskonstruktion i CAD - beräkning av rektangulära plattor enligt British Standard CP110:Part1 1972', (Institutionen för Brobyggnad, KTH, Stockholm), Examensarbete: Institutionen för Brobyggnad, KTH, i samarbete med VBB-CAD, Stockholm.

Lund J, 1985, '(ai) expertsystem', (Sveriges Tekniska Attachéer), Utlandsrapport, Stockholm.

Nystedt H, 1984, 'Byggnadskonstruktion med CAD-beräkning av pelardäck enligt BBK-79', (Institutionen för Brobyggnad, KTH, Stockholm), Examensarbete: Institutionen för Brobyggnad, KTH, i samarbete med VBB-CAD, Stockholm.

Dym C L, 1985, 'EXPERT SYSTEMS: New Approaches to Computer-aided Engineering', (Springer-Verlag), Engineering with Computers Vol. 1, No. 1, p 9-25, New York.

Ludvigsson J, 1984, 'Kvalitet och tillförlitlighet vid datorberäkningar', (Norske Sivilingenjørerers Förening), Kursdokumentation: 'EDB i Bygg og Anlegg - beregning og dimensjonering', November 1984, Gol, Norge.

Ludvigsson J & Eriksson A, 1983, 'Datortillförlitlighet - ett språk- och informationsproblem', (SINTEF), PROFIL NYTT, Argång 5, No 4, p 8-12, Trondheim.

MacCallum K J, 1984, 'Expert Systems in CAD/CAM', Föredrag: 'Nordiska CAD/CAM - dagar 84', Februari 1984, Stockholm.

Maher M L, Sriram D & Fenves S J, 1984, 'Tools and Techniques for Knowledge Based Expert Systems for Engineering Design', (CML Publications), Adv. Eng. Software, Vol. 6, No. 4, p 178-188.

Malec J, 1985, 'Så här fungerar expertsystem!', MIKRODATORN, Nr 2, Mars 1985, p 34-39.

'ANSYS' (Rev. 3), 1978, (Control Data Corporation), User Information Manual, Minneapolis.

'BETONBALK', 1980, (Jacobson & Widmark AB Data-center), BERIT K-beräkningar del 1, Lidingö.

'Guidelines to Standards of Practice for the Use of Computer Programs in Engineering', 1977, (The Association of Professional Engineers of the Province of Ontario), Toronto Ontario, Canada.

ÖVRIG LITTERATUR

'Artificial Intelligence', 1985, (McGraw-Hill), BYTE, Vol 10, No 4, April 1985.

Eriksson A, Andersson L, Ludvigsson J, 1983, 'Tillförlitligheten hos datorberäknade byggnadskonstruktioner', (Nordiska Betongförbundet), Nordisk Betong, No 2:1983, p 13-18.

Eriksson A, Ludvigsson J, 1983, 'Datortillförlitlighet inom byggbranschen', Väg och Vattenbyggaren, No 11-12.83.

Grunditz H, Hein U, Tengvald E, 1982, 'Artificiell intelligens i framtidens CAD/CAM system', (Matematiska Institutionen, Tekniska högskolan i Linköping), Presenterat vid Nordiska CAD/CAM-dagar 82, November 1982, Göteborg.

Middleboe Simon, 1984, 'Delegates Wary of Future Expert Systems', NEW CIVIL ENGINEER, No 609, 4 Okt 1984, p 18.

Rasdorf W J, 1985, 'Generative Engineering Databases - Toward Expert Systems', (Pergamon Press Ltd), Computers & Structures Vol 20, No 1-3, p 11-15.

Sriram D, Maher M L, Fenves S J, 1985, 'Knowledge-based Expert Systems in Structural Design', (Pergamon Press Ltd), Computers & Structures Vol 20, No 1-3, p 1-9.

'Betonghandbok', 1980, (AB Svensk Byggtjänst & Cements AB), Konstruktion, kapitel 6.5. Stockholm.

'Engineering Computer Program Documentation Standards', 1973, (The Subcommittee on Program Documentations of the Committee on Computer Applications of the Soil Mechanics and Foundations Division), Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, Vol 99, SM3, March 1973.

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 820325-4
från Statens råd för byggnadsforskning till Institutionen
för brobyggnad, KTH, Stockholm.**

R145: 1985

ISBN 91-540-4487-1

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6705145

**Abonnemangsgrupp:
Ingår ej i abonnemang**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm**

Cirkapris: 45 kr exkl moms