

Industriellt monteringsbyggande och modulsystematik

process, organisation och byggnadsutformning

Industrial assembly construction and modular systematics - process, organisation and building design (in Swedish)

NIKLAS SKERFVING

*Byggadministration, institutionen för fastigheter och byggande, KTH
Construction Management, Department of Real Estate and Construction, Royal Institute of Technology, S-100 44 Stockholm, Sweden*

Examensarbete/M.Sc. Thesis den 26 juni 1998

Handledare/Supervisors: Björn Wootz, KTH
Jan Byfors, NCC AB

Abstract

The Swedish construction industry is suffering from severe problems due to increased costs and decreased productivity. The subject of this thesis is to investigate if and how knowledge of successful principles can be transferred from the manufacturing industry to construction, with special focus on modular systematics. First an inventory of successful principles is done, thereafter an inventory of specific problems in the construction industry. These are found to be lack of customer orientation, lack of experience feedback, a divided process, responsibilities based on specialised trades, short term project thinking, selection of systems and methods too late in the process, integration of technical systems without considering functional and technical prerequisites and lacking knowledge of prefabricated construction. The main features of an industrial construction process and industrialised construction are definition of customer value, integration of the phases of the process, teamwork and long term relationships, systematic feedback and building design based on a life cycle perspective and considering flexibility, constructability, dimensional co-ordination and standardisation of interfaces and components. Modules are to be based on functional division and production technology, allowing a simpler division of responsibilities and efficient co-ordination of tasks.

FÖRORD

Detta arbete är utfört som examensarbete för civilingenjörsutbildningen i Väg- och vattenbyggnad vid KTH och är utfört inom institutionen för fastigheter och byggande. Arbetet initierades av Jan Byfors, utvecklingschef hos NCC, som även varit handledare, och Kerstin Gillsbro, NCC. Examinator och handledare från KTH har varit adj. prof. Björn Wootz, NCC.

Industriellt byggande är ett mycket intressant område, där utvecklingen skjutit ny fart under mitten av 90-talet. Nya begrepp som Lean Construction, Computer Integrated Construction, Design for Construction och Just in Time betecknar den nya tidens byggande, där inspirationen ofta hämtas från framgångsrika företag i fast industri. Modulindelning är en metod som skapat stora framgångar i vitt skilda tillverkningsindustrier och som fått genomslag på många områden. Exempel kan hämtas från alltifrån ubåtar till häftapparater, men mest uppmärksammas är kanske modulanvändningen i bilindustrin där man utnyttjar gemensamma moduler, specialutformade komponenter, till olika modeller. T ex bygger Skoda Felicia, VW Golf och Audi A3 på samma bottenplatta och 60 % av komponenterna är gemensamma.

De fördelar som användning av modulsystematik visat sig ge väcker naturligtvis tankar; skulle det vara möjligt att utnyttja samma principer i byggandet? I detta arbete gör jag ett försök att identifiera såväl produkttekniska som organisatoriska och processtekniska faktorer i modulsystematiken och andra framgångsrika principer i fast industri och försöker finna möjligheter att överföra dessa kunskaper till byggindustrin för att skapa ett bättre byggande.

Arbetet har varit spännande och intressant och jag hoppas att jag lyckas skapa, om inte lösningar på problemen, så åtminstone en grund för fortsatta diskussioner och fortsatt forskning på området.

Jag vill tacka handledarna Jan Byfors och Björn Wootz för det engagemang de visat, samt Kerstin Gillsbro som bidrog till att finna ämnet och få igång arbetet. Jag vill också rikta ett särskilt tack till arkitekt Peter Adler som, förutom att bidra med mycket värdefull sakkunskap, visat ett brinnande engagemang för ämnet och gett många värdefulla idéer och uppslag. Tack även till Sören Hed och Lars Cederfeldt, Bloco AB, Lars-Åke Beckstrand, Erik Eken, Hans Henriksson, Agge Holmqvist, Ola Karlsson, Sune Lindell, Börje Pettersson och Peeter Trepp, NCC, Per Hallgren, Tyréns, Per Kämpe, Prefabutveckling, Merja Laitinen, Poulimatka, Gunnar Rise, Strängbetong, Väino Tarandi, KTH och Thorsten Wanngren, SKB, som ställt upp på intervjuer och bidragit med litteratur och utan vilkas hjälp det inte varit möjligt att genomföra arbetet, samt Myresjöhus, Scania Housing center, Creacon Consult AB, AB Projektgaranti, Concrete Volumes Sweden AB, Betongelementföreningen och Stålbyggnadsinstitutet som bidragit med material.

Stockholm, april 1998

Niklas Skerfving

SAMMANFATTNING

Produktivitetens utvecklingen i byggindustrin har under de senaste decennierna varit betydligt lägre än i tillverkningsindustrin, både i Sverige och internationellt, och både reala kostnader och tidsåtgången har ökat. För att ändra detta diskuteras införandet av ett industriellt byggande, där idéerna hämtas från framgångsrika koncept i den fasta industrin. Syftet med detta arbete är att undersöka om och hur kunskap om framgångsrika principer, med tyngdpunkt på modulsystematik, kan överföras från tillverkningsindustrin till byggindustrin.

De principer som skapat framgång i tillverkningsindustrin omfattar kundorienterad produktframtagning, som uppnås med hjälp av verktyg som kvalitetsmatriser, QFD, och en flödesorienterad produktion där onödig resursförbrukning medvetet identifieras och reduceras. I såväl produktutveckling som produktion utnyttjas multifunktionella team, målstyrda grupper där den kompetens som behövs genom hela processen finns representerad. För att optimera processen och sänka totalkostnaden utnyttjas strategiska allianser, ett långsiktigt och nära samarbete med viktiga leverantörer eller kunder. Med hjälp av datorer och databasteknologi kan processoptimering uppnås genom integration av delprocesser, vilket minskar behovet av informationshantering. Genom att integrera produktutveckling och produktionsplanering kan aktiviteter utföras parallellt och både planerings- och produktionskedet förkortas.

I produktutvecklingen har medvetna satsningar på lösningar som främjar produktionen gett goda resultat. På detaljnivå innebär detta integration och standardisering, medan på produktsortimentnivå modulindelning ger bäst resultat. Modulindelning innebär indelning av produkten i byggblock med fastställda gränssnitt. Resultatet av en modulindelning beror på vilket syftet med indelningen är, men grundtanken är att med så få moduler som möjligt åstadkomma ett brett urval produkter till låg kostnad. Rätt utnyttjad kan modulindelning bli en förkortade ledtider, säker kvalitet, lägre kostnader och ett bättre produktsortiment, samt förenkla service och underhåll.

Att ovanstående principer har stor relevans även för byggandet är tydligt om de problem som finns i dagens byggprocess beaktas. I arbetet identifieras ett antal problem som skulle kunna lösas med hjälp av dessa principer. Dessa är bristande kundorientering i byggprocessen, där projektet ofta ses som produkten, snarare än de utrymmen och funktioner som kunden skall nyttja, bristande erfarenhetsåterföring, en splittrad byggprocess, alltför specialiserade yrkesroller och en ansvarsfördelning som är grundad på yrkesroller, snarare än funktionella och produktionstekniska enheter, kortsiktigt projekttänkande. System- och metodval sker alltför sent i processen och ofta sker en integration av tekniska delsystem utan hänsyn till funktionella egenskaper. Dessutom konstateras att det finns brister i kompetensen för prefab och att det saknas installationer som är utformade för monteringsbyggande. En process med långsiktiga samarbetsförhållanden, nya ansvarsgränser och ett livscykelperspektiv ger möjlighet till erfarenhetsåterföring och kompetensutveckling, vilket ger förutsättningar för en bättre byggnadsutformning.

En industriell byggprocess

Utgångspunkten för den industriella byggprocessen är att skapa en produkt som tillfredsställer kundens krav. Det är viktigt att definiera produkten, som ur kundens synvinkel inte är den fysiska byggnaden, utan utrymmen och funktioner som skall nyttjas. Eftersom det ofta inte är möjligt att fastställa alla krav i ett tidigt skede är det viktigt med en gradvis mer detaljerad beslutsprocess.

Integration av byggprocessens faser, byggnadsutformning, produktionsplanering, produktion och förvaltning, bidrar till att undvika projekteringsfel beroende på bristande produktionskompetens. Det ger också kortare genomförandetid tack vare möjligheten till parallella aktiviteter, samt bättre samordning i produktionen. För att stödja integration av processens skeden och ge incitament för teknikutveckling bör funktionsentreprenaden utnyttjas framför traditionella entreprenadformer. För att denna entreprenadform skall få genomslag krävs dock fungerande system för redovisning av funktionskrav och bedömning av byggnadens prestanda. Långsiktigt samarbete med möjlighet till vinster för alla parter leder till bättre kommunikation, bred kompetens, incitament för teknikutveckling och bättre erfarenhetsåterföring. Utnyttjandet av multifunktionella team i projekteringsskedet ger en bred kompetensbas och förutsättningar för parallella aktiviteter, och informationsflödet fungerar bättre. I produktionen ger teamarbete bättre samordning mellan olika arbetsuppgifter som traditionellt tillhör olika yrkesgrupper.

Systematisk erfarenhetsåterföring ger information för att eliminera ineffektiva utföranden, metoder och processer och är en av projektteamens viktigaste arbetsuppgifter. Det effektivaste sättet att återföra kunskap är att införliva kompetens från alla delprocesser redan tidigt i processen.

Computer Integrated Construction

CIC består av system för integrerad informationshantering och system för automatisering på fabrik och på byggplatsen. Hjärtat i CIC-systemet är en produktmodell i en gemensam databas. Denna produktmodell bör vara objektorienterad. Rätt utnyttjad ger produktmodellen möjlighet till bl a att simulera montage, samt underlättar informationsöverföring och erfarenhetsåterföring. För att produktmodellen skall kunna utnyttjas fullt ut förutsätts integration av processskedena.

Byggnadsutformning och byggteknik

Målet med byggnadsutformningen är att åstadkomma en produkt som uppfyller vissa funktionella och estetiska krav under vissa ekonomiska villkor. I utformningen bör eftersträvas låg livscykelkostnad, flexibilitet, byggbarhet, goda möjligheter till drift, underhåll och renovering, samt till demontering och återanvändning. Metoderna för att uppnå de eftersökta egenskaperna är prefabricering, standardisering, funktionsindelning, samordning och integration, dvs modulindelning enligt den systematik som utnyttjas i tillverkningsindustrin.

De problem som hanteras kan hänföras till problemområdet sammanbyggnadsteknik, som behandlar samverkan och gränssnitt mellan byggnadens fysiska och funktionella enheter, byggandets aktörer och byggprocessens faser. Fysiska anslutning-

ar mellan komponenter är en av de viktigaste delarna i byggnadskonstruktionen och det är ofta dessa som ger upphov till felaktigheter i konstruktionen. I princip bör därför så få anslutningar som möjligt eftersträvas och de måste ses som en del i det byggsystem de tillhör. Samverkan mellan byggnadens funktionella system är en avgörande faktor för styrning och ekonomi i byggandet. För att åstadkomma flexibilitet krävs det i allmänhet att systemen är så oberoende av varandra som möjligt, i synnerhet system med olika teknisk livslängd.

För att åstadkomma god byggbarhet måste två problem lösas. Först måste det klargöras vad som gör en byggnad enkel att tillverka, sedan hur byggnaden kan utformas i enlighet med detta. För att åstadkomma detta bör någon form av verktyg för att utvärdera byggbarheten utnyttjas. Standardisering bör genomföras på en lämplig hierarkisk nivå, så att en rationell produktion kombineras med flexibilitet. På högre nivåer bör standardiseringen främst röra gränssnittsutformningen medan på lägre nivåer den bör röra detaljer, tvärsnitt och anslutningar för komponenter med hänsyn till måttkoordination.

Modulindelning i byggandet innebär standardisering och färre varianter på komponentnivå, kombinerade strukturer och stora, starkt förädlade enheter som är funktionellt och produktionstekniskt oberoende i så stor utsträckning som möjligt. Denna indelning minskar beroendet mellan olika parter och ger klarare ansvarsgränser och färre samordningsproblem.

För att kunna bedöma byggnadsutformningens lämplighet ur en industriell synvinkel föreslås en modell där prefabriceringsgradens, standardiseringsgradens, elementintensitetens och integrationsgradens påverkan på ett antal kostnads-, produktions- och kundvärdespåverkande faktorer bestäms och utifrån detta bestäms riktvärden för dessa mått.

Prefab och monteringsbyggande

Prefabricering innebär att arbetsuppgifter flyttas från byggplatsen till mer kontrollerade förhållande på fabrik, vilket möjliggör en effektivare styrning av produktionsprocessen och ökar möjligheterna till automatisering av produktionen. Prefabricering är därför ett effektivt sätt att öka produktiviteten och minska kostnaderna. En förutsättning för att prefab skall kunna utnyttjas effektivt är dock att prefabsystemet väljs tidigt i utformningsprocessen så att utformningen sker för prefabricering.

Slutligen skisseras ett möjligt upplägg av byggprocessen, uppdelad i en informationsprocess och en fysisk process. Modellen baseras på en kontinuerlig medverkan av samtliga aktörer genom hela projektet och en uppbyggnad av informationen kontinuerligt genom projektet där informationsförluster undviks, samt möjlighet till effektivt utnyttjande av modulindelning och förtillverkning.

1 INLEDNING	2
1.1 Bakgrund	2
1.2 Syfte och avgränsningar	3
1.3 Metod	4
2 ERFARENHETER FRÅN DEN FASTA INDUSTRIEN	5
2.1 Framgångsrika principer	5
2.2 Skapa värde för kunden	5
2.3 Avlägsna spill och få produktionen att flyta	7
2.4 Teamarbete och en integrerad process	8
2.5 Automatisering	12
2.6 Produktutformning för produktion och montering	13
2.7 Modulindelning av produkten	14
2.8 Principernas relevans för byggprocessen	20
3 PROBLEM I BYGGANDET	22
3.1 Process	22
3.2 Organisation	24
3.3 Byggnadsutformning	26
3.4 Slutsatser	27
4 INDUSTRIELLT BYGGANDE	28
4.1 Från massproduktion till lean construction - det industriella byggandets utveckling	28
4.2 Byggprocess och projektorganisation	35
4.3 Computer Integrated Construction	43
4.4 Byggnadsutformning och byggteknik	48
4.5 Prefab och monteringsbyggande	77
5 GENOMFÖRANDE AV ETT PROJEKT MED INDUSTRIALISERAT MONTERINGSBYGGANDE	82
5.1 Informationsprocess	82
5.2 Fysisk process	85
6 SLUTSATSER OCH DISKUSSION KRING RESULTATEN	87
6.1 Kunskapsöverföring från fast industri till byggandet	87
6.2 Modul användning i byggandet	87
6.3 Utveckling av en industriell byggprocess	88
KÄLLFÖRTECKNING	90
Litteratur	90
Övrigt material	94
Personer	95

1 INLEDNING

1.1 Bakgrund

Byggindustrin i Sverige befinner sig i dag i en djup svacka. Bostadsbyggandet ligger på en mycket låg nivå, vilket i hög grad kan hänföras till höga byggkostnader. Under de senaste 20 åren har den reala produktionskostnaden ökat kraftigt, vissa menar att den till och med fördubblats. Dessutom har tidsåtgången för produktionen ökat med ca 20 % [Olson, 1996]. Produktivitetens utvecklingen inom byggnadsindustrin har varit betydligt lägre än inom den fasta industrin. Detta gäller inte bara Sverige, utan utvecklingen har varit liknande de flesta industriländer [jmf Sanvido & Medeiros, 1990; Lahdenperä, 1995].

För att komma tillrätta med dessa problem talas det allmänt om behovet av att ”industrialisera” byggandet. Vad som avses med ”det industriella byggandet” är dock inte klart definierat, men ofta sätts likhetstecken mellan prefabricerat byggande och industriellt byggande [Kämpe, 1997]. Platsbyggandet tänks ersatt av montering av element som kommer förtillverkade från fabriker. Inspiration hämtas också gärna från den fasta industrins, och framför allt bilindustrins, framgångsrika utveckling, med intentionen att applicera framgångsrika koncept på byggandet [jmf Sanvido & Medeiros, 1990; Johansson, 1996; Dahlquist, 1996; Grennberg, 1996 b]. Bland de idéer som används finns *just in time*, *computer integrated manufacturing*, förtillverkning av kompletta komponenter och leverantörssamverkan. Dessa idéer brukar sammanfattas i begreppet *lean construction*. I detta arbete har industriellt byggande tolkats som användandet av organisationer, processer, produktionsmetoder och byggnadsutformning som medger en rationell byggprocess och som resulterar i ett för alla parter nöjaktigt resultat.

I den fasta industrin har modulanvändning visat sig ge stora förbättringar jämfört med traditionell produktindelning. Exempel på förbättringar är kortare utvecklingstider, mindre risktagande vid nyutveckling och kortade ledtider och förbättrad kvalitet i produktionen. Tack vare standardiserade gränssnitt kan individuella kundönskemål mötas snabbare och bättre [Erixon m fl, 1994]. Lastbilstillverkaren Scania är ett av de företag som kommit längst på området, både i Sverige och internationellt. De menar att modulsystemet ger vinster i flexibilitet samtidigt som produktionen blir enklare att organisera och produktutvecklingen förenklas genom att ha ett begränsat antal moduler att utveckla vidare [Agerberg, 1997].

Dagens byggnader och byggande är i praktiken i hög grad standardiserat. Tidigare lösningar återanvänds i stor utsträckning, om än i något varierad form. Trots detta börjar man i princip om från grunden i varje nytt projekt, med arkitekt och konstruktörer m fl som ritar om allt, vilket leder till en onödigt lång och kostsam projektering. Detta gäller i hög grad även prefabbyggande, dvs att man konstruerar nya prefabdelar till varje projekt. Det faktum att det råder en hög grad av standardisering gör att tanken på att utveckla modulsystem enligt den modell som används i fast industri inte ligger långt borta. En sådan utveckling kan antas underlätta hela byggprocessen och förkorta byggtiderna.

För att kunna avgöra om modulanvändning i byggandet är möjligt är det nödvändigt att klargöra vilka faktorer som gett framgångar i den fasta industrin. Det är inte bara indelningen av produkten som lett till framgångar, utan även organisatoriska förändringar och ny teknik är starkt bidragande.

Det är också viktigt att få en bild av vilka problem i byggbranschen som ligger bakom dagens dåliga situation och klargöra om och hur erfarenheterna från den fasta industrin kan utnyttjas för att lösa dessa.

Idén om överföring av principer från fast industri till byggandet är dock inte oomtvistad. Kritikerna menar att byggbranschen inte alltför enögt får ta förebilder från den fasta industrin. Till skillnad från produkter från tillverkningsindustrin är en byggnad alltid integrerad i sin miljö [Hunhammar, 1995] och bestäms i hög grad av läge, byggplats och utförande [Groák, 1994]. Groák [1994] påpekar att byggindustrin är inte enhetlig utan ett flertal överlappande industrier, som ingår i växlande, projektleda konstellationer, styrda av kundens och användarnas önskemål. Denne menar att i detta sammanhang är många av 'problemen' i byggandet inte problem som skall elimineras från arbetet eller uteslutas från teoretiska modeller, utan kännetecken som framkommer beroende på projekten och som skall betraktas som nödvändiga komponenter i analytiska modeller. Kritiken är naturligtvis inte ogrundad. Det är viktigt att skillnaderna mellan fast industri och byggindustri är klara, vad som är förutsättningar och vad som är problem, samt dess betydelse för huruvida förändringar är genomförbara.

Förespråkarna för ett industriellt synsätt menar att om byggandets 'egenheter' är kända och förändringsprocessen utgår från att de finns, kan deras inverkan minskas [jmf Koskela, 1993; Howell & Ballard, 1994]. De främsta skillnaderna mellan byggande och annan industri är byggandets engångsnatur - varje byggnad är i princip en prototyp, platskonstruktion, tillfälliga multiorganisationer [Koskela, 1993] och en hög grad av osäkerhet genom hela processen [Howell & Ballard, 1994]. Detta gör att ett byggprocessen mer liknar produktutveckling än tillverkning, vilket också framhålls av Koskela och Howell och Ballard.

1.2 Syfte och avgränsningar

Syftet med detta arbete är att undersöka vilka principer för modulindelning och industriell produktion som varit framgångsrika i den fasta industrin och huruvida de i någon form är möjliga att överföra till byggandet. Detta innebär att undersöka om det är möjligt att utnyttja modulindelning i byggandet på ett effektivt sätt utan att det inverkar negativt på flexibilitet eller ekonomi, under vilka förutsättningar modulbyggande kan utnyttjas, samt vilka krav som ställs på byggmodulerna. Arbetet syftar också till att beskriva hur ett projekt med industrialiserat monteringsbyggande kan genomföras, vilken projektorganisation som är lämplig samt vilka krav som ställs på organisationen.

Intentionen har varit att även klargöra vad det finns för problem i dagens byggprocess och hur kan de påverka införandet av modulbyggande, hur byggmarknadens aktörer ser på idén med modulanvändning, hur marknadsstrukturen och entrepre-

nadföretagets organisation och funktion påverkas och hur utvecklingen av dator-teknik och informationsteknologi samt möjligheterna till automatisering kan påverka införandet av modulbyggande.

Arbetet är avgränsat till att betrakta husbyggnad, huvudsakligen flerbostadshus, utförda med prefabteknik. Detta betyder dock inte att likhetstecken satts mellan industrialiserat byggande och prefabbyggande, utan många av de slutsatser som presenteras berör i lika hög grad platsbyggande. Analysen av byggprocessen har, så långt som möjligt, begränsats till projekterings- och produktionsskedena. Ibland har det varit nödvändigt att även inbegripa program- och förvaltningsskedena för att skapa en tydlig bild, eftersom byggprocessens skeden i många avseenden är integrerade med varandra och kan vara svåra att avgränsa. Det väsentliga i arbetet har varit frågor rörande byggprocessen, projektorganisation och byggnadsutformning. Vad gäller byggnadsutformning är arbetet begränsat till teoretiska modeller och hanterar i första hand samordningsfrågor och bedömningsgrunder för byggnadsutformningens påverkan på faktorer som flexibilitet, ekonomi och byggbarhet.

1.3 Metod

Arbetet inleddes med litteratursökning och litteraturstudier med ganska stor bredd för att få en orientering på områdena industrialiserat byggande och modulbyggande i Sverige och utomlands. Genom att studera litteratur som behandlade modulanvändning i tillverkningsindustrin kunde ett antal principer som lett till framgång identifieras. Genom ytterligare litteraturstudier av dessa principer kunde ett antal faktorer sammanställas och jämföras med byggindustrin. Därefter gjordes mer ingående litteraturstudier i frågor som var intressanta för det fortsatta arbetet.

Det stod ganska snart klart att en enkätundersökning, som det först var tänkt, inte var någon lämplig utgångspunkt för empirin. Istället valdes ett kvalitativt tillvägagångssätt, där intervjuer med olika aktörer var grunden. Utifrån intressanta frågeställningar utformades en intervjumall. Denna mall var utgångspunkt för de intervjuer som utfördes. Mallen har utökats med fler frågor allt eftersom intervjuerna har fortskridit. Innehållet i intervjuerna har också varierats beroende vem som intervjuats. Totalt har 16 personer intervjuats. Tanken har varit att de intervjuade skall representera en så bred erfarenhetsbas som möjligt för att skapa en helhetsbild av den industriella byggprocessen.

Intervjuer och litteraturstudier sammanställdes och resultatet användes för att skapa en modell av hur ett industrialiserat byggprojekt med modulanvändning kan läggas upp ur process-, organisations- och byggnadsutformningshänseende.

2 ERFARENHETER FRÅN DEN FASTA INDUSTRIEN

2.1 Framgångsrika principer

Den fasta industrin har under de senaste decennierna uppvisat en successiv ökning av produktiviteten, minskade kostnader och ökad kvalitet på de flesta områden. Särskilt tydlig har detta synts hos bilindustrin och elektronikindustrin, men många andra industrier har genomgått samma utveckling. Denna utveckling beror på ett förändringsarbete med ett antal nya idéer som grund och har påverkat alla delar av företagets verksamhet, t ex produktutveckling, projektorganisation, produktionsmetoder, kundkontakter osv. Vad som karakteriserar ”framtidens fabrik” är flexibilitet, anpassbarhet, modularitet och integration av processer i verksamheten [Ránky, 1986]. Styrande för verksamheten är inte längre produktionstekniken, som i klassisk massproduktion, utan kundernas önskemål och krav [Erixon m fl, 1994; Womack m fl, 1991; Womack & Jones, 1996]. Denna utgångspunkt har tillsammans med den snabba utvecklingen av databehandling och datakommunikation skapat helt nya möjligheter att förbättra verksamheten.

Den filosofi som kanske bäst sammanfattar dessa idéer är *lean thinking*, ‘magert tänkande’, som utvecklades hos Toyota under 50-talet. Principerna innefattar teamarbete, kommunikation, effektivt resursutnyttjande och eliminering av spill, skapande av flöde i produktionen och kontinuerliga förbättringar av kvaliteten hos både process och produkt, och förutsätter ett helhetsperspektiv på verksamheten och produkten. Med spill, *muda* på japanska, avses inte bara överflödiga materialförbrukning, utan även ledtider, tid för att rätta till återkommande fel och andra aktiviteter och kostnader som inte är direkt värdeskapande, d v s tillför värde till produkten. *Lean* produktion är mager därför att den använder mindre av allt jämfört med massproduktion: mänskliga resurser, utrymme, investeringar i utrustning, ingenjörstimmar, utvecklingstid för nya produkter [Womack m fl, 1991; Womack & Jones, 1996].

Andra, mindre omfattande metoder och verktyg som utvecklats under senare delen av 1900-talet kan i stort ses som kompletteringar till denna filosofi. *Computer integrated manufacturing* (CIM) hänför sig till behovet av integrerad informationshantering för tekniska och operativa uppgifter i industriföretag [Scheer, 1991] och handlar om att tillhandahålla datorhjälp, datorkontroll och en integrerad automatisering på alla nivåer i en tillverkande industri, genom att binda ihop enskilda processer till ett distribuerat processsystem [Ránky, 1986]. *Product design for manufacture and assembly* (DFMA) och *modulindelning* är verktyg för effektiv produktutveckling och kostnadseffektiv tillverkning.

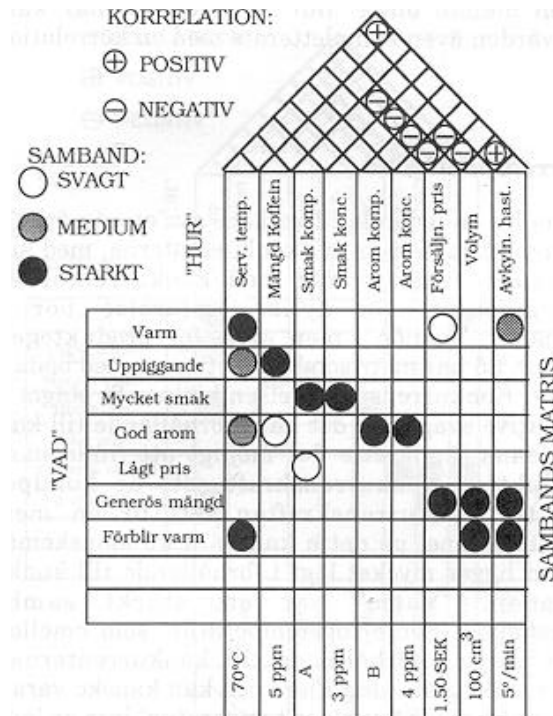
2.2 Skapa värde för kunden

Den kritiska utgångspunkten för en framgångsrik verksamhet är, enligt Womack och Jones [1996], att definiera *värde*, eftersom att framställa fel produkt på rätt sätt är ren *muda*. Det är endast meningsfullt att tala om värde i form av en specifik

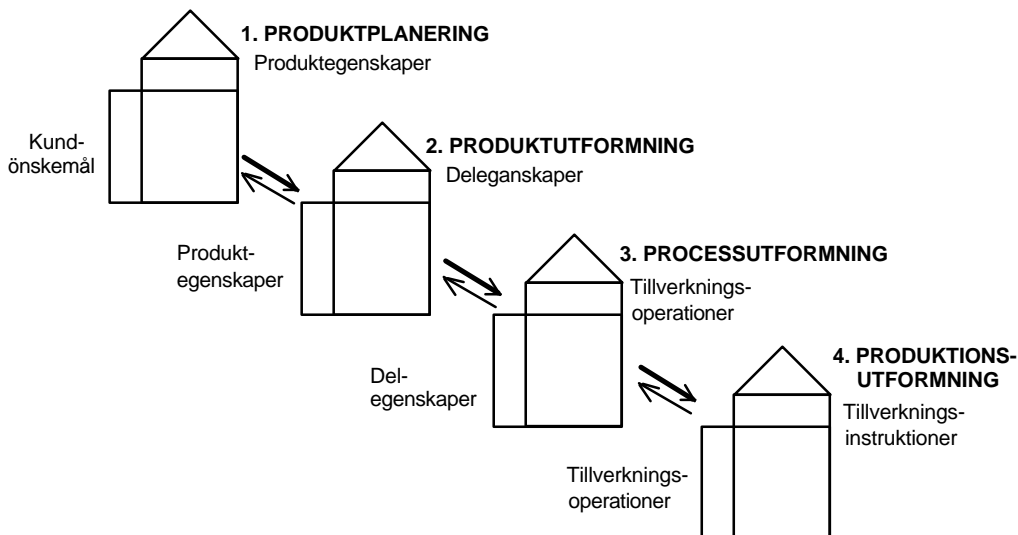
produkt som uppfyller kundens önskemål vid rätt tidpunkt, med rätt kvalitet och till rätt pris, och vad som är värde kan bara definieras av slutanvändaren. Därför måste *lean thinking* inledas med ett medvetet arbete för att definiera värde genom en dialog med specifika kunder. För att lyckas med detta krävs att produktsortimentet omvärderas av ett starkt och engagerat produktteam som bortser från existerande tillgångar och teknologier.

Ett verktyg för att åstadkomma en sådan genomlysning av produktsortimentet med avseende på kundkrav, konkurrenssituation och produktgenskaper är en metodik kallad *Quality Function Deployment (QFD)*, eller kundcentrerad planering. QFD är ett system som hjälper till att omsätta kundens önskemål i för företaget relevanta specifikationer i varje steg av produktframtagningsprocessen. Kundcentrerad planering är inte en produktframtagningsprocess i sig, utan ett kommunikationshjälpmedel inom den befintliga processen.

QFD består av fyra principiellt olika steg: *produktplanering*, som syftar till att identifiera kundens krav och bestämma de produktgenskaper som uppfyller kraven, *produktutformning*, som syftar till att välja det i någon mening bästa konstruktionskonceptet, genom att för varje produktgenskap identifiera kritiska delegenskaper, *processutformning*, där de kritiska delegenskaperna översätts till kritiska tillverkningsprocesser, och *produktionsutformning*, där de valda tillverkningsprocesserna genererar tillverkningsinstruktioner. I varje steg utnyttjas "kvalitetshuset", där sambandet mellan krav och egenskaper och korrelationen mellan egenskaperna fastställs [Andersson, 1991].



Figur 1 Exempel på "kvalitetshuset", en QFD-matris kompletterad med målvärden och "taket" där korrelation mellan egenskaperna markeras. Matrisen kan också kompletteras med konkurrensjämförelser för krav och egenskaper [Andersson, 1991].



Figur 2 Principiell beskrivning av QFD som ett system bestående av fyra steg [Andersson, 1991].

En av de viktigaste punkterna i kundcentrerad planering är att arbetet sker i tvärfunktionella team. En lämplig storlek för kärnan i gruppen är 6-8 personer, som representerar de funktioner som är mest involverade i framtagningen av nya produkter. Andra personer kan tillföras gruppen i olika skeden av QFD [Andersson, 1991; Erixon m fl, 1994]. En stor fördel med metodiken är, enligt Womack och Jones [1996], att den tillåter teammedlemmarna att standardisera arbetet så att de kan använda samma angreppssätt varje gång, vilket gör det möjligt att kontinuerligt förbättra arbetsgången. QFD gör det också möjligt att utnyttja parallellt arbete i produktframtagningen, vilket ger väsentligt förkortade utvecklingstider, enligt Andersson [1991].

2.3 Avlägsna spill och få produktionen att flyta

Nästa steg i *lean thinking* är, enligt Womack och Jones [1996], att identifiera *värdeflödet*. Värdeflödet är alla aktiviteter som ingår i skapandet av en produkt, från idé till slutkund. I denna ingår tre kritiska ledningsuppgifter: problemlösandet, som sträcker sig från idé, via projektering till produktansering, informationshanteringen, från ordergång till detaljplanering och leverans, samt den fysiska omvandlingen från råmaterial till en färdig produkt. En analys av hela värdeflödet avslöjar nästan alltid en stor mängd *muda*. De aktiviteter som utgör värdeflödet kan delas in i tre grupper: de som otvivelaktigt tillför värde till produkten, de som inte är värdeskapande men som är nödvändiga för den befintliga produktionen, t ex inspektion av utfört arbete för att försäkra sig om att rätt kvalitet erhållits, samt de aktiviteter som varken är värdeskapande eller nödvändiga och som omedelbart kan elimineras. När värdeflödet är identifierat kan arbetet med att omforma processen påbörjas så att de icke värdeskapande aktiviteterna kan avlägsnas.

Målet med analysen av värdeflödet är, förutom att reducera spill, att få de återstående aktiviteterna att *flyta*, så att produkten kan passera genom hela värdeflödet utan stopp, väntan, mellanlagring eller bakåtlöden. I stället för att tillverka i ”klump”, för att slippa omställningar i produktionen, och mellanlagra tills efterfrå-

gan finns, skall produkten dras (eng. *pull*) genom produktionsprocessen och alla leveranser skall ske *just in time* (JIT). Detta innebär att ingenting tillverkas förrän det efterfrågas i nästa steg i produktionsprocessen, vilket också innebär att tillverkning måste kunna påbörjas utan dröjsmål och produkten måste vara felfri när den levereras till efterföljande steg. Det förutsätter en produktionsorganisation och ett produktionssystem med flexibilitet, korta ledtider vid omställningarna och en kontinuerlig och inbyggd kvalitetskontroll. Detta innebär att man måste se förbi traditionella organisatoriska gränser och yrkesroller, och omvärdera arbetsuppgifterna.

Genom att flytta största möjliga antal arbetsuppgifter och delegera ansvaret till de arbetare som faktiskt skapar värde för produkten, och organisera arbetarna i team där varje person kan hantera ett stort antal arbetsuppgifter, inte bara i produktionen utan även t ex materialbeställning och maskinunderhåll, kan arbetet skötas med önskad flexibilitet. Arbetarna får också hjälpa till att tänka igenom arbetsuppgifter och verktyg för att kunna göra förbättringar som underlättar omställningar i produktionen, förkortar ledtiderna och tar bort hinder för värdeflödet.

En produktion utan fel uppnås om det finns ett system för att finna felaktigheter och spåra varje problem till dess ursprung. Genom att åtgärda felets ursprung förhindras att samma fel uppkommer igen. Ett sådant system är Toyotas ”fem varför”. Varje arbetare vid Toyotas produktionslinje har möjlighet att, och skall, stoppa produktionen om det uppstår ett fel som han inte kan åtgärda. Om detta sker så samlas arbetsteamet och söker gemensamt lösa problemet. För varje lager av problemet som avtäcks, frågar arbetarna ’varför?’, tills dess att problemets ursprungliga orsak är klagjord [Womack m fl, 1991; Womack & Jones, 1996].

2.4 Teamarbete och en integrerad process

Team och teamledare

Som framgått av de tidigare styckena så är *teamet*, den multifunktionella gruppen, en viktig faktor för framgång. Womack m fl [1991] menar att det dynamiska arbetsteamet är hjärtat i den ’magra’ fabriken, som utnyttjas genom hela produktframtagningsprocessen. Vilka krav som ställs på teamen beror på var i värdekedjan de återfinns, men viktiga områden är ledarskap och kommunikation. För att få teamet att fungera väl krävs enligt Womack m fl en stark teamledare som har auktoritet att styra teamet, snarare än att samordna teammedlemmarnas egna viljor och övertala dem att samarbeta. Teamledaren skall delegera uppgifter i teamet men också själv delta i arbetet. Genom att aktivt arbeta för att lösa konflikter och träffa överenskommelser om vilka uppgifter som ingår i teamets och teammedlemmarnas arbete fås ett effektivt samarbete och färre störningar på grund av missförstånd eller meningsskiljaktigheter.

Team i produktutvecklingen

För att få en produkt som är anpassad både till tillverkningens villkor och till kundens behov och önskemål är det önskvärt att projekteringen görs i tvärfunktionella

team, där kompetens från varje steg i värdeflödet är representerat [Womack m fl, 1991; Womack & Jones, 1996].

Andersson [1991] anger att en lämplig storlek på kärnan i teamet är 6-8 personer, som bör representera de funktioner som är mest involverade i framtagandet av nya produkter. När sedan behov finns tillförs teamet andra personer i olika skeden av utvecklingsarbetet. Womack m fl [1991] menar att de bästa 'magra' projekten kännetecknas av att antalet inblandade är allra högst i inledningsskedet. Då kan deltagarna reda ut oklarheter och svårigheter, under ledning av den starke projektledaren. När detta är klart och projektet fortskrider, behöver de funktioner som fullgjort sin uppgift inte längre delta i arbetet.

Boothroyd [m fl, 1994] menar att det är viktigt att tillverkningskompetens finns med redan från början i projekteringsskedet för att undvika problem och ändringar i slutskedet. Traditionellt har tillverkningsindustrin tillämpat vad som bildligt beskrivits som "över väggen-metoden": produktutvecklarna sitter på ena sidan väggen och "kastar över" ritningarna till tillverkningsingenjörerna på den andra, som sedan måste hantera de problem i tillverkningen som uppstår på grund av de inte var involverade i projekteringsskedet. Genom att skapa team för parallell produkt- och produktionsutveckling kan många av problemen undvikas och produktionen kan påbörjas snabbare och med färre störningar.

Team i produktionen

I 'mager' produktion utnyttjas multifunktionella *team*, målstyrda grupper, som ansvarar för en specifik del i produktionsprocessen. Teamen består av arbetare som har utbildats i alla arbetsuppgifter som krävs för att produktionen skall flyta. I arbetsuppgifterna ingår inte bara tillverkning, utan även t ex städning, maskinskötsel och beställning av material. Arbetsuppgifterna roteras mellan teammedlemmarna, som därför måste vara utbildade i samtliga förekommande arbetsuppgifter. Detta är också nödvändigt eftersom teammedlemmarna måste kunna ersätta andra som är frånvarande eller behövs för någon annan uppgift. Teamen leds av en arbetsledare som ansvarar för fördelningen av arbetsuppgifter, men också själv utför dessa arbetsuppgifter och täcker upp för frånvarande arbetare. Problem och idéer om förbättringar tas upp gemensamt i gruppen vid regelbundna möten [Womack m fl, 1991; Womack & Jones, 1996]. En teamorienterad arbetsorganisation kräver också att monteringsystemet kan indelas i naturliga områden med lämpligt innehåll och fysisk storlek [Erixon m fl, 1994].

Partnering och strategiska allianser - intressesamverkan mellan företag

Strategiska allianser, eller partnering, har som syfte att skapa ett samarbete som leder till synergieffekter för parterna som de inte skulle uppnått var för sig. Allianserna är ofta långsiktiga och bygger på informella överenskommelser snarare än formella kontrakt. I och med att företagen samarbetar på ett integrerat sätt så blir de i hög grad beroende av varandra. Respektive part i alliansen utför de funktioner som han är specialiserad på, vilket medför en reduktion av felkällor i materialflödet. Strategiska allianser i leverantörsledet kan ge betydande förbättringar i total-

kostnad och i det slutliga värdeskapandet för kunden [Abrahamsson, 1992; Persson & Virum, 1996].

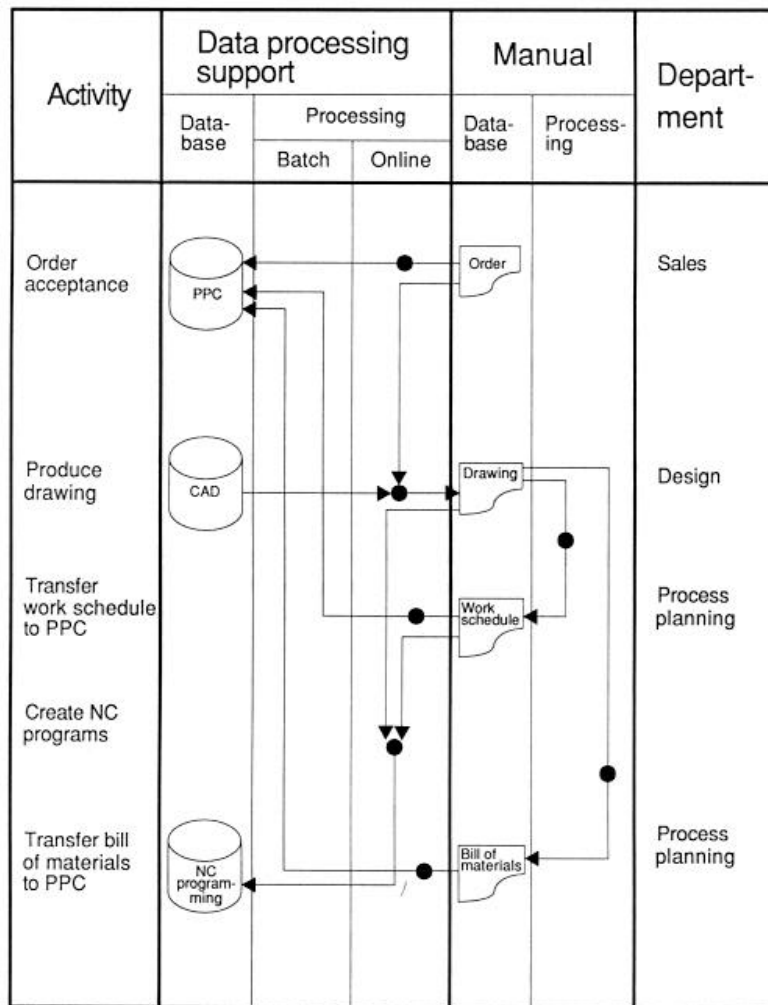
En vanlig form av strategisk allians är så kallad *leverantörssamverkan*. Genom att upprätta ett närmare samarbete med sina leverantörer kan administrativa kostnader, logistikkostnader och liknande minskas. Ett sådant samarbete bygger på förtroende mellan parterna och är en viktig del i *lean thinking*. Genom att se förbi företagsgränserna och istället utgå från värdeströmmen, kan man få bort onödiga kostnader. Denna organisatoriska form benämns av Womack och Jones [1996] *the lean enterprise* och förutsätter genomsynlighet i alla steg i värdeströmmen, så att varje part kan verifiera att de övriga handlar i enighet med överenskomna principer.

Nästa steg är att involvera de viktigaste leverantörerna i produktframtagningsprocessen. Leverantörer bestäms då i början av produktutvecklingen. Valet sker inte på basis av anbud, utan på tidigare erfarenheter och bevisad duglighet. Genom att tilldela hela delsystem till samma leverantör kan antalet parter som är involverade i produktutvecklingen hållas nere. Leverantörerna anlitar i sin tur underleverantörer, som förser dem med komponenter. Representanter för förstaledsleverantörerna deltar sedan som en integrerad del i produktutvecklingsteamet och sköter detaljprojektering av de delsystem som de ansvarar för [Womack m fl, 1991]. Delssystem eller komponenter som inte bedöms som strategiska, t ex säten i bilar, kan med fördel utvecklas av leverantören själv, så kallad *black-box engineering*, för att förenkla processen och fördela behovet av utvecklingskapacitet [Womack m fl, 1991; Erixon m fl, 1994].

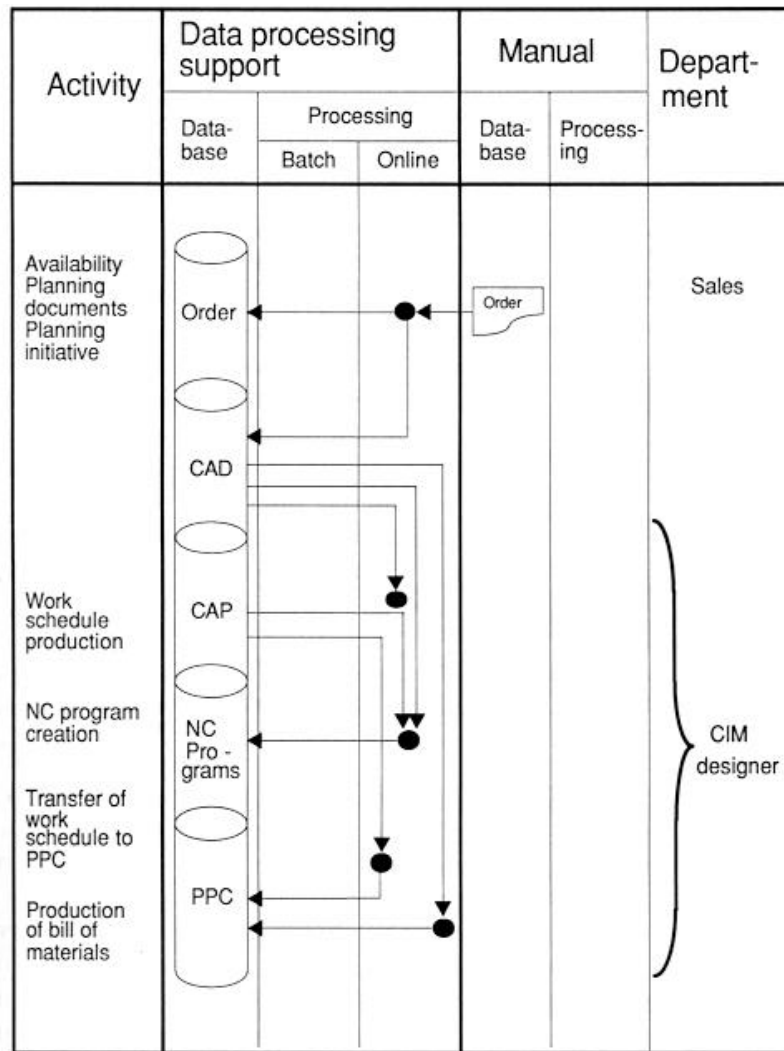
En annan form av partnering är *technology fusion*, utvecklingssamverkan mellan företag i olika branscher. Genom att gemensamt utveckla ny teknologi, som är en blandning mellan de ursprungliga skaffar sig företagen en frontposition i konkurrensen och klarar av att hantera den snabba teknikutvecklingen i andra branscher [Kangari & Miyatake, 1997].

Processintegrering

Syftet med processintegrering är att minska behovet av informationshantering och informationsöverföring. Detta är huvudtanken i CIM, som hänför sig till behovet av integrerad informationshantering i företag. Under 1900-talet har funktionell ansvarsuppdelning varit dominerande i utformningen av organisationer. Detta har skapat organisationer med många specialiserade delprocesser, där den avdelning som har ansvaret för delprocessen också hanterar sina egna data. Detta bygger på att specialisering ger effektivare hantering inom varje delprocess. Men när processen går från en delprocess vidare till nästa, måste all information i sin helhet också överföras. I varje sådant steg blir det en viss ledtid och tidsåtgång för datahantering. I praktiken är kostnaderna för denna hantering betydligt större än de vinster som uppstår genom en rationellare hantering i de specialiserade delprocesserna. Genom att integrera informationshanteringen i en gemensam databas för hela processen elimineras behovet av informationsöverföring mellan delprocesserna, vilket ger en rationellare process. Ny teknik gör det också möjligt att hantera större informationsmängder, vilket reducerar behovet av specialiserad processindelning och skapar möjlighet till integration mellan delprocesserna, vilket reducerar ledtiderna i processen [Scheer, 1991].



Figur 3 Schema över processkedjan för traditionell orderhantering [Scheer, 1991].



Figur 4 Schema över processkedjan för orderhantering med CIM [Scheer, 1991].

The lean enterprise, så som det definieras av Womack och Jones [1996], innebär en processintegrering mellan olika organisationer, där verksamheten bedöms ur ett helhetsperspektiv, i stället för att varje organisation arbetar för att optimera sin egen verksamhet.

2.5 Automatisering

Automatisering av processer är ett sätt att effektivisera som blir alltmer aktuellt. Automatisering är en viktig del i CIM. Det går att särskilja automatiserad informationshantering, som innebär datorstött design och planering och utnyttjandet av en gemensam databas, och automatiserad produktion med NC-maskiner och robotar [Scheer, 1991]. Automatiserad informationshantering och automatiserad produktion kan kombineras i flexibla tillverkningssystem, *FMS*, som ger möjlighet till 'slumpmässig' produktion, i princip enstyckstillverkning av produkter, dock med den begränsning som tillverkningssystemet ändå innebär [Ránky, 1986].

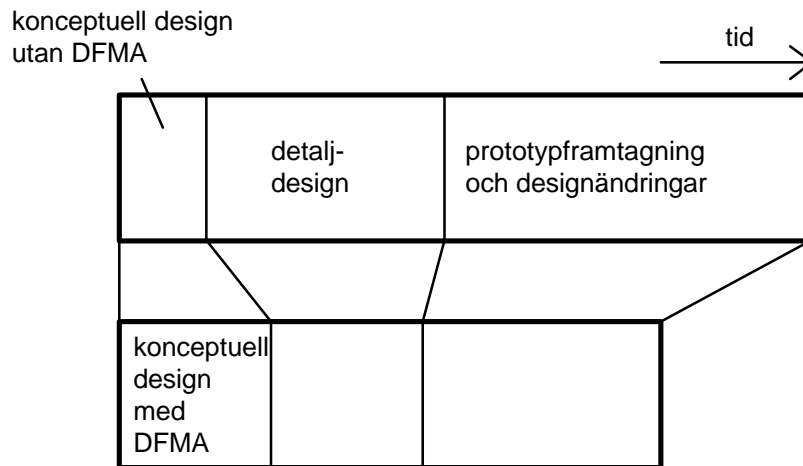
Ny datorteknik skapar helt nya förutsättningar för utnyttjandet av automatiserad produktion. Vid Lindövarvet på Fyn utnyttjas avancerade svetsningsrobotar som följer CAD-ritningar, genom automatisk programmering som automatiskt översätter ritningarna till program för robotarna. Detta innebär att robotarna kan utnyttjas effektivt vid produktion av enstaka fartyg. Med robotar som har relativt fri rörlighet i alla riktningar kan metoden överföras även till andra verksamheter [Dahllöf, 1996].

Monteringsvänliga produkter, standardlösningar och kända monteringsprocesser, liksom ökat teknikkunnande gynnar också automatisering [Erixon m fl, 1994]. Womack [m fl, 1991] menar dock att för att automatisering skall bli riktigt effektivt krävs att *lean organization* införs först.

2.6 Produktutformning för produktion och montering

Vid produktutformning är det, som tidigare nämnts, viktigt att involvera produktionskompetens redan tidigt i processen. Om produktions- och monterings tekniska aspekter inte vägs in tidigt i utvecklingsprocessen uppstår ofta behov av ändringar för att produkten skall vara möjlig att tillverka till en rimlig kostnad. Ju längre fram i utvecklingsprocessen dessa behov uppstår, desto kostsammare blir de [Boothroyd m fl, 1994]. Womack [m fl, 1991] menar att tillverkbarhet främjar produktiviteten och att en 'mager' produktutvecklingsprocess, dvs samarbete i team mellan design, produktion och marknadsföring främjar framtagandet av produkter som har god tillverkbarhet.

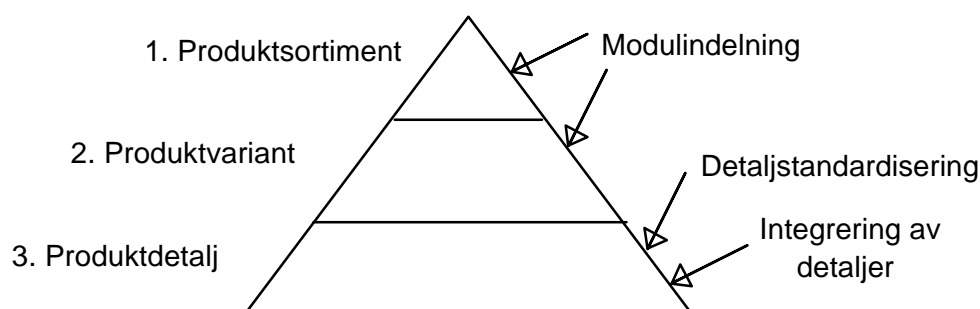
För att kunna göra tidiga bedömningar av svårighet och kostnad för tillverkning och montering innan för mycket detaljarbete lagts ner, behöver produktutvecklingsteam utvärderingsverktyg. Ett sådant verktyg är DFMA, som utvecklats av Boothroyd Dewhurst Inc, och presenteras i boken *Product design for manufacture and assembly* [Boothroyd m fl, 1994]. DFMA kan i korthet sägas syfta till att reducera antalet separata delar i produkten, genom att systematiskt utvärdera huruvida det är möjligt att integrera olika detaljer med varandra, och att åstadkomma en detaljutformning som underlättar montering. Förutom reduktion av tid och kostnader, uppmuntrar DFMA-verktyg till en dialog mellan produktutvecklare och tillverkningsingenjörer, vilket uppmuntrar till teamarbete och bidrar till att parallellt utvecklingsarbete kan utnyttjas, enligt Boothroyd [m fl, 1994]. DFMA är inte bara tillämpligt för produktion av stora kvantiteter, utan även i nästan ännu högre grad för lågvolyms- och enstyckstillverkning, eftersom det där är ännu viktigare att göra rätt från början [Boothroyd m fl, 1994].



Figur 5 Kortare produktutvecklingstid genom användning av DFMA tidigt i utvecklingsprocessen [Boothroyd m fl, 1994].

2.7 Modulindelning av produkten

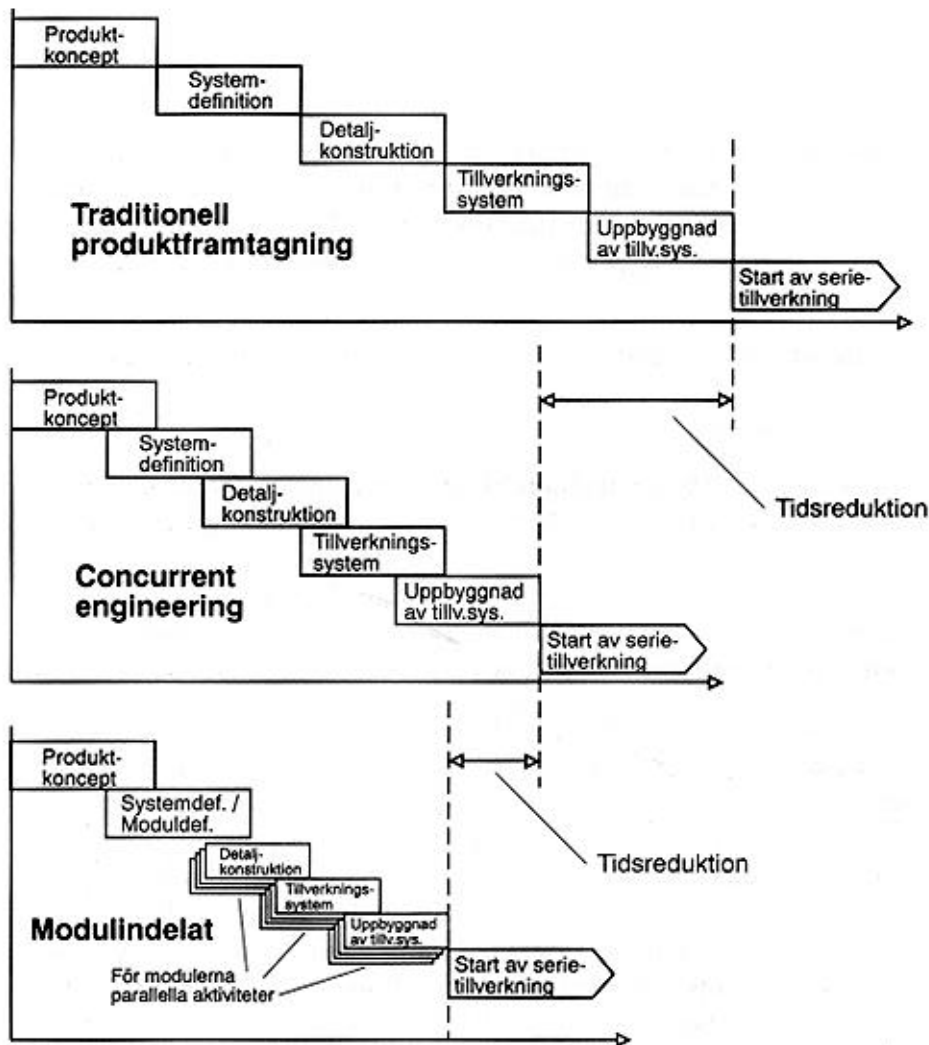
Modulindelning är ett sätt att förenkla och förbilliga tillverkning och montering av produkten genom rätt produktutformning på sortimentsnivå. Medan DFMA handlar om att i produktutvecklingskedet beakta tillverknings- och monterings tekniska problem på detaljnivå, så är modulindelning mer komplext. Ett forskningsprojekt på området har bedrivits inom IVF-KTH och presenteras bl a i *Modulindela produkten* [Erixon m fl, 1994], där modulindelning definieras som ”indelning av en produkt i byggblock (moduler) med fastställda gränssnitt, driven av valda, företags specifika skäl”. Detta innebär att modulindelning inte är entydig, utan resultatet av en modulindelning av en produkt beror i stor utsträckning på syftet med indelningen. Grundtanken är dock att med ett så litet antal moduler åstadkomma ett stort urval produkter, till låg kostnad [Bergqvist, 1996].



Figur 6 Olika tekniker att reducera antalet artiklar har olika effekt på olika nivåer [Erixon m fl, 1994].

Om modulindelning utnyttjas på rätt sätt, kan det ge en rad positiva effekter i företaget [Erixon m fl 1994; Bergqvist, 1996; Agerberg, 1997]:

- Ledtider för produktframtagning och produktion förkortas genom att utveckling och tillverkning kan ske parallellt istället för sekventiellt. Modulindelning ger ofta också enklare montering och därmed kortare monterings tid, tack vare väl genomtänkta gränssnitt.



Figur 7 Jämförelse mellan tidsåtgången för traditionell produktframtagning, concurrent engineering och modulsystematik [Erixon m fl, 1994].

- ❑ Kostnader och kapitalbindning minskas genom en reduktion av antalet artikelnummer, minskad lagerhållning och färre produkter i arbete.
- ❑ Rutiner för offerter, planering och framtagning av kundspecifika konstruktionsunderlag kan effektiviseras, eftersom de kan skapas från färdiga ritnings- och beräkningsmaterial för respektive modul.
- ❑ Genom att modulindela på ett sådant sätt att samtliga moduler kan funktions-testas innan de monteras, kan hög kvalitet och få fel uppnås i slutmonteringen. Samtidigt minskas tiden för återrapportering av fel och brister. Modulsystem ger också strikta underlag för funktion och tillverkning av varje modul, vilket är fördelaktigt vid införande av kvalitetssystem.
- ❑ Service och underhåll underlättas genom standardiserade gränssnitt och möjligheten att byta ut hela moduler. Om produkten innehåller system med olika livslängd, kan uppgradering lätt ske genom att vissa moduler byts ut.
- ❑ Utvecklingsarbetet för produkt och tillverkningssystem underlättas genom att målen kan brytas ned till successiva utvecklingssteg för varje modul. Produktut-

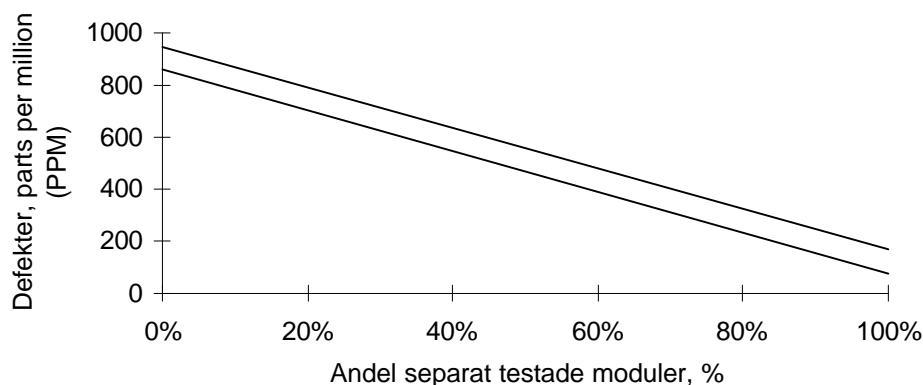
vecklingen effektiviseras genom att moduler som inte påverkas av förändringar kan föras över till nästa produktgeneration, sk *carry overs*, och genom att det endast finns ett begränsat antal moduler att utveckla och hålla vid liv.

I *Modulindela produkten* [Erixon m fl, 1994] beskrivs ett antal faktorer, kallade *moduldrivare*, som kopplar ovanstående effekter till produkten. Moduldrivare finns under hela produktens livscykel:

- ❑ *Carry over* är en modul som kan överföras från en produktgeneration till nästa utan förändringar. Användning av *carry overs* innebär att utvecklingsarbetet inriktas på det som skall förnyas, vilket minskar risken, kostnaderna och tidsåtgången i nyutvecklingsprojekt. Delar av tillverkningssystemet kan också bibehållas, vilket begränsar behovet av nyinvesteringar och säkrar kvaliteten i tillverkningen.

Biltillverkaren Toyota har t ex överfört 50 % av modulerna från en tidigare bilmodell till nästa [Bergqvist, 1996] och Scania utnyttjar chassimodulerna från sin lastbilstillverkning till sina nya bussar [Agerberg, 1997]. Vinsten blir snabb produktutveckling och ett stort modellprogram till låg kostnad.

- ❑ *Teknikutvecklingen* underlättas om delar i produkten som sannolikt kommer att utvecklas tekniskt under dess livslängd sammanförs i samma modul. Det framtida behovet av nya varianter och utveckling kan beskrivas i en *produktplan*, som är till hjälp vid modulindelning.
- ❑ Genom att identifiera de delar i produkten som inte kan vara lika i alla varianter och samla de delar som bildar variantegenskaper i en eller ett fåtal moduler kan en rationell *variantantering* åstadkommas. Andra sätt att skapa varianter är genom att variera modulernas inbördes placering eller variera antalet av samma modul (t ex olika utväxlingsalternativ genom olika antal växelmoduler). Parametrisering, att variera längd eller volym, men utnyttja samma gränssnitt, är en effektiv metod att åstadkomma varianter.
- ❑ Genom att ge funktioner som finns i flera produktvarianter samma fysiska lösning, kan en *gemensam enhet* utnyttjas för att tillverka olika varianter med minsta antal artiklar. Möjligheten till ytterligareanvändning av moduler i sortimentet och tillverkningsprocesser ger sänkta produktkostnader.
- ❑ Vid modulutformning bör effektivt *process- och organisationsutnyttjande* eftersträvas. Det kan innebära att samma tillverkningsprocess kan utnyttjas för flera moduler, att modulen utformas för att passa en befintlig process eller att modul-tillverkningen kan ske med målstyrda grupper.
- ❑ Genom att dela in modulerna efter separat testbara funktioner kan testade, felfria moduler levereras till slutmonteringen och *kvaliteten* hos de färdiga produkterna säkras.



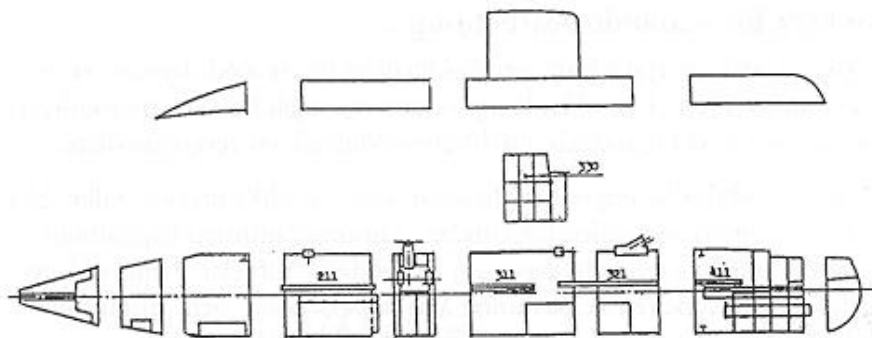
Figur 8 Förväntad genomsnittlig kvalitet som funktion av andelen separat testade moduler. Den övre kurvan motsvaras av gränssnittsmonteringstiden 50 sek och den undre av 10 sek [Erixon m fl, 1994]

- Delsystem som köps in från leverantörer definieras lämpligen som moduler för *inköp* utifrån. Om köpmoduler övervägs görs en köpa-tillverka-analys. Dessutom bör frågas om det är lämpligt att av strategiska skäl äga teknologin, dvs utveckla och tillverka modulen, om kapacitet finns att själv utveckla och tillverka modulen och om modulen finns som standardprodukt från någon leverantör. Behovet av utvecklingskapacitet kan regleras genom att lägga ut både utveckling och tillverkning hos leverantören.
- För att underlätta *underhåll och service* och *uppgradering* bör funktioner med kortare livslängd än produkten utformas som moduler. Standardiserade gränssnitt säkerställer utbytbarheten och gränssnitten bör också utformas för enkel demontering. Dessutom bör funktionell renhet eftersträvas. Detta innebär att ingen enskild delfunktion delas upp mellan två eller flera moduler.
- Genom att gränssnitten utformas för enkel demontering och modulerna utformas för sortrenhet vad avser material så underlättas *återvinning*.

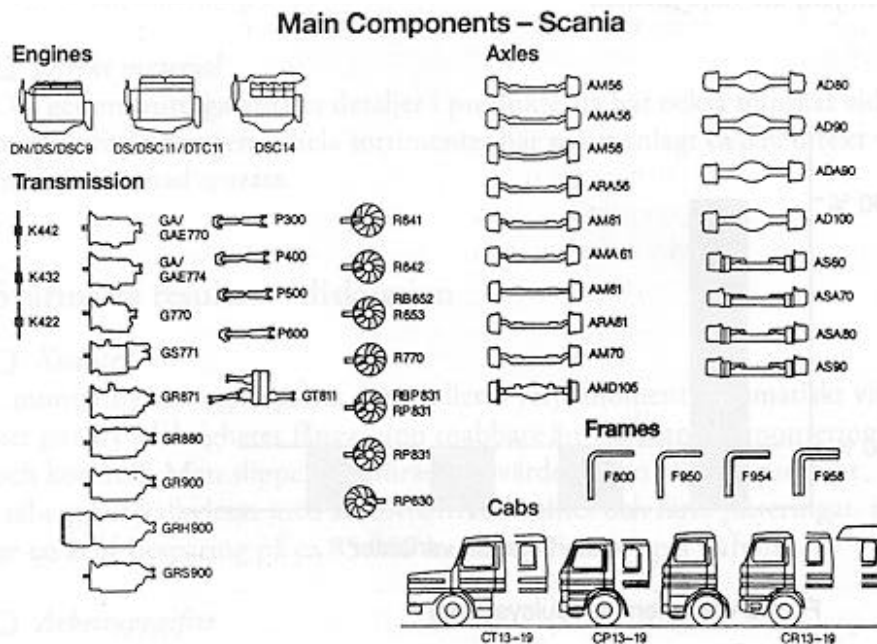
Beskrivna effekter		Moduldrivare		Leditid i montering	Varukapitalbindning	Monteringstid	Direkt material (DM)	Logistikkostnad	Kvalitet	Produktframtagningstid	Automatisering	Offertarbete	Planering	Underhåll / Service	Uppgradering	Återvinning
Utv / Konstr	"Carry-over"								⊗	●	⊗		⊗			
	Teknikutveckling									⊗			⊗		○	
	Produktplan									⊗				●		
Varians	Olika specifikation	○	●	○	○	⊗	○	●	●	●	●	●	●			
	"Styling"	○	●	○	○	⊗	○	●	●	●	●	●	●			
Tillv	Gemensam enhet	○	●	○	○	⊗	○	●	●	●	●	●	●			
	Process / org	●	●	○			⊗	●	●	○	○	○	○			
Kvalitet	Testbar							●								
Inköp	Leverantör finns	●	○				●	●	○	○	○	○	○			
Eftermarknad	Underhåll / Service							⊗						●		
	Uppgradering														●	
	Återvinning															●

- = Stark koppling
- ⊗ = Medelstark koppling
- = Viss koppling

Figur 9 Samband mellan moduldrivare och effekterna av en modulindelning [Erixon m fl, 1994].



Figur 10 Exempel på modulindelning av produkt. Ubåt från Kockums [Erixon m fl, 1994].

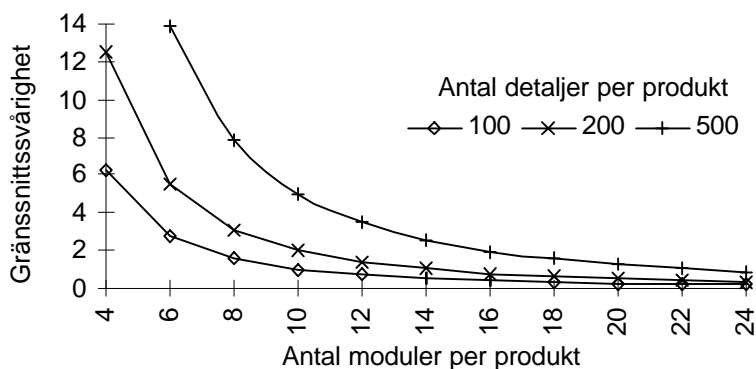


Figur 11 Exempel på modulsortimentet för lastbilar hos Scania [Erixon m fl, 1994].

Genom att vid modulindelning betrakta produkten som en summa av ett antal delfunktioner, är det lättare att finna nya former för produkten. Delfunktionerna definieras i tekniska lösningar som uppfyller de mål modulindelningen har. Det kan vara ovan nämnda positiva effekterna för företaget eller företagsspecifika mål. Sedan utvärderas delfunktionerna mot de olika moduldrivarna för att få en bild av vilken eller vilka delar som har förutsättningar att bilda en modul. Dessutom bör funktionernas vikt för kunden vägas in: är det en funktion som alla vill ha, eller är det en tillvalsfunktion? Om flera delfunktioner har samma moduldrivare, kan det övervägas om de bör integreras samma modul, för att minska antalet moduler i produkten. Detta ger sänkta produktkostnader och kortare genomloppstid i monteringen [Erixon m fl, 1994].

En viktig fråga vid utformning av modulsystem är utformningen av *gränssnitten*. Gränssnittsutformningen påverkar möjligheterna till parallell produktutveckling och därmed utvecklingsledtiden. Att specificera ett gränssnitt är att fastställa utformning, fästprinciper, antalet fästelement, överföringspunkter mm. Gränssnitten kan vara fasta, dvs bara överföra krafter, rörliga, dvs överföra energi, eller mediaöverförande. För att få frihet att behandla modulerna parallellt och var för sig måste gränssnitten ha låg komplexitet och vara fasta i tiden. Enkla gränssnitt mellan modulerna som inte ökar komplexiteten hos respektive modul bör eftersträvas [Erixon m fl, 1994].

Vid modulindelning är det nödvändigt att kunna göra preliminära uppskattningar av produktionskostnaderna, både för individuella moduler och för deras effekt på hela modulsystemet. Avgörande för bedömningen är genomloppstiden i produktionen, som beror av antalet moduler i produkten, antalet detaljer i produkten, den genomsnittliga monterings tiden för en detalj samt den genomsnittliga monterings tiden för gränssnitt mellan moduler. Kvoten mellan monterings tiden för gränssnitt och monterings tiden för detaljer kallas gränssnittssvårighet.



Figur 12 Idealt antal moduler för produkter med varierande detaljantal och varierande gränssnittsvårighet [Erixon m fl, 1994]

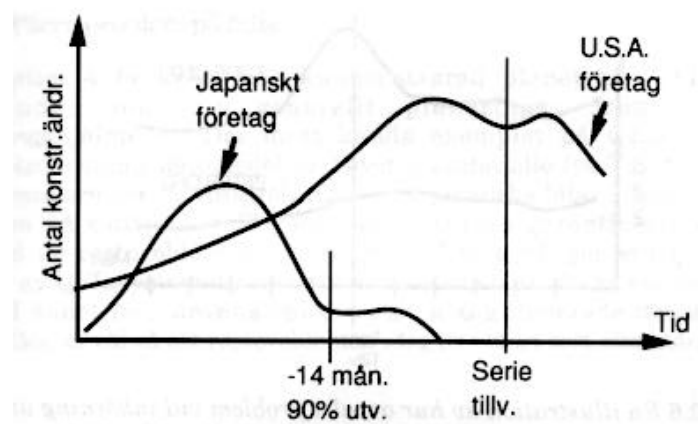
I vissa fall kan det dock vara tveksamt om det är lämpligt att utveckla modulsystem. Det gäller ren enstyckstillverkning med få funktionella likheter mellan olika produkter, eftersom gränssnittsutformningen kräver extra resurser, produkter som skall optimeras t ex med avseende på vikt, eller högvolymprodukter med få eller inga varianter.

2.8 Principernas relevans för byggprocessen

Att de ovan nämnda principerna har stor relevans för byggandet är uppenbart om man ser på de problem som finns i dagens byggprocess. De problem som uppdykats i byggprocessen måste dock betraktas mot bakgrund av de erfarenheter som gjorts i den fasta industrin. Många av problemen skulle förmodligen inte uppfattats som problem om inte någon jämförelse med den fasta industrin gjordes. Följaktligen är det rimligt att anta att de principer som lett till framgång i den fasta industrin hjälpt till att fokusera på motsvarande problem i byggindustrin, därav den relativt goda överensstämmelsen mellan problem i byggandet och lösningar hämtade från den fasta industrin.

Principernas relevans för byggandet varierar naturligtvis, precis som de inte stämmer lika väl för all tillverkningsindustri. Det kan vara svårt att direkt överföra metoder och processer direkt från en industri till en annan eftersom kundförhållanden, produktionsförhållanden och många andra faktorer kan skilja sig högs väsentligt. I inledningen nämndes några av de förhållanden som skiljer byggandet från den fasta industrin, såsom platsbundenheten, byggandets engångskaraktär, de tillfälliga organisationerna och osäkerheten i processen. De flesta av de ovan nämnda principerna är dock högst relevanta om de utnyttjas med byggprocessen som utgångspunkt. Om idéerna utnyttjas kan de också reducera inverkan av byggandets särart. Långsiktiga strategiska allianser minskar antalet tillfälliga kopplingar mellan organisationer, modulsamordning reducerar engångsegenskaperna i byggandet, multifunktionella team och produktutformning för montering underlättar arbetet på byggplatsen [Koskela, 1993] och kundorientering med goda kundkontakter ger bättre förutsättningar och därmed mindre osäkerhet i projekten.

Men där i den fasta industrin, med ett fåtal undantag, t ex varvsindustrin, produkten är väl definierad när tillverkningen börjar, kan byggproduktionen snarare liknas vid framtagningen av och uppbyggnaden av en prototyp på plats [Howell & Ballard, 1994]. Detta innebär att det igenom hela processen finns en viss grad av osäkerhet. Men till skillnad från prototyper i den fasta industrin, som ju tas fram för att pröva riktigheten i konstruktionen, får inte byggnaden vara felaktigt eftersom den skall utnyttjas av kunden som naturligtvis vill ha en fullgod produkt. Dessutom är produktutvecklingstiden i de flesta fall betydligt mer begränsad i byggandet än i tillverkningsindustrin. En riktigare bild av byggprocessen i jämförelse med tillverkningsindustrin är därför kanske en produktutvecklingsprocess utan att möjlighet att utveckla prototyper innan produktionen startar. Detta betyder inte att principerna ovan inte bör tillämpas i byggandet, tvärtom. Erfarenheterna visar att 'japansk' produktutveckling (QFD, teamarbete, mm) leder till färre konstruktionsändringar och en väldefinierad produkt vid produktionsstart och därmed kortare utvecklingstid och färre störningar i produktionen [Womack m fl, 1991; Andersson, 1991].



Figur 13 En jämförelse av antalet konstruktionsändringar vid framtagning av en ny produkt vid ett typiskt japanskt respektive amerikanskt bilföretag [Andersson, 1991].

3 PROBLEM I BYGGANDET

För att veta hur en industrialiserad byggprocess skall utformas och organiseras är det viktigt att analysera dagens byggprocess utifrån de erfarenheter som gjorts i den fasta industrin och identifiera de problem som förekommer. I detta avsnitt behandlas olika problem för byggandet som framkommit i litteraturen och vid intervjuerna. Problemställningarnas riktighet har också bekräftats vid de utförda intervjuerna, även om åsikterna naturligtvis ibland gått isär.

3.1 Process

Bristande kundorientering

Kundorienteringen i byggandet är dålig överlag. I program- och projekteringsfaserna saknas idag metoder för att undersöka och utvärdera kundens krav och omvandla dem till funktionskrav. Detta leder till att projekteringsprocessen försvåras. Dåliga programhandlingar leder till sena beslut, oklarheter och ändringar i byggskedet. Detta i sin tur ökar projektkostnaderna och risken för fel ökar [Lahdenperä, 1995]. Vid totalentreprenader leder dåliga beskrivningar av vad kunden vill ha till svårigheter vid anbudsutvärdering och ibland kan det till och med vara svårt för kunden att veta vad han köpt. Detta leder till misstänksamhet och dåliga relationer mellan parterna och onödigt hårt styrda upphandlingar, där friheten till nya lösningar försvinner [Jonsson, 1996; Olson, 1996]. I den traditionella byggprocessen finns det nästan inte heller något utrymme för en successiv beslutsprocess, utan nästa alla beslut fattas tidigt i projektet. Det leder till litet utrymme för användaranpassning och beställaren har svårt att överblicka resultatet av besluten [Wikforss, 1993; Lahdenperä, 1995].

Det finns inte heller tillräckliga instrument för att koppla funktionskrav till tekniska lösningar, eller instrument för tidig kostnadsbedömning av tekniska lösningar. Det innebär att strategiskt viktiga beslut sker på erfarenhetsmässiga grunder med varierande underbyggnad i faktiska tekniska och ekonomiska jämförelser mellan lösningarna [Kämpe, 1997]. När någotsånär riktiga bedömningar går att göra kan processen ha gått så långt att ändringar innebär stora extrakostnader. Adler [1995] menar att utan adekvat kontroll av kravuppfyllelsen kan funktionskraven under byggprocessen förändras så att brukarnas intressen åsidosätts, som följd av en beslutsprocess där ställningstaganden för kundens intressen saknas. I framtiden kommer det att behövas instrument för denna typ av kontroll under hela processen, liksom instrument för kostnadsbedömning som även tar hänsyn livscykelkostnader och totalekonomi [Wikforss, 1993].

Dålig erfarenhetsåterföring

Idag finns i princip ingen systematisk erfarenhetsåterföring i byggprocessen. De erfarenheter som görs blir knutna till en individ och rapporteras sällan tillbaka till tidigare steg i processen. Detta gör att basen för beslut tidigt i processen inte uppdateras som den borde, vilket ökar risken att fel upprepas gång på gång. Plane-

ringsunderlaget blir otillräckligt, vilket gör att risken för störningar blir stor. Bristen på erfarenhetsåterföring försvårar också utvecklingsarbetet.

Problemen med bristande erfarenhetsåterföring kan hänföras till byggprocessens uppstyckning i olika skeden och de brister i informationsöverföringen som uppstår som följd. Projektörer kopplas ofta bort från processen sedan de utfört sina uppgifter och de förblir därför ovetande om de fel som de orsakar. Inte heller erfarenhetsåterföringen från drift och förvaltning är tillräcklig, vilket gör att projekterings- och produktionsorganisationen aldrig blir riktigt medvetna om de fel med långsiktiga konsekvenser som de orsakar [Appelqvist & Keijer, 1995]. Med dagens kort-siktiga synsätt och tillfälliga projektorganisationer utan långsiktiga relationer mellan aktörerna ges heller inte något incitament för erfarenhetsåterföring och bristande intresse hos mottagarna gör att de inte aktivt deltar och söker erfarenhetsåterföring, det är dålig efterfrågan på andras kunskap.

Det finns i stort sett heller ingen systematisk återanvändning av goda tekniska lösningar. Projekt och byggnader betraktas som unika, trots att likheterna är ganska stora. Konstruktörer utnyttjar de lösningar som de själva föredrar, vilket kan leda till ett stort antal lösningar på samma detalj, trots att de är principiellt lika. Bristen på återanvändning av tekniska lösningar gör att projekteringsprocessen blir längre och kräver större samordningsinsatser. Att återanvända och vidareutveckla goda lösningar, referenslösningar kommer att vara nödvändigt för att vara konkurrenskraftig i framtiden [Wikforss, 1993].

Dålig kompetens för prefab och monteringsbyggande

Ett problem som framkommit i de utförda intervjuerna är brister i kompetensen inom området prefab och monteringsbyggande. Den låga andelen prefab i Sverige gör att utvecklingen halkat efter jämfört med exempelvis Danmark och Finland. Också i utbildning på högre nivå lyser detta ämnesområde med sin frånvaro i oroväckande hög grad. Trots att det under arbetet framgått att det finns mycket samlad kompetens inom området, finns det generellt sett kompetensbrister hos alla grupper i byggprocessen. Inom projekteringen är kompetensen i första hand samlad till de företag som anlitas av prefableverantörerna. Hos produktionen är kompetensen relativt god hos yrkesarbetarna, men något sämre i arbetsledningen.

Metodvalsanalysen för stommen är en av de viktigaste delarna i ett byggprojekt. Oavsett metod krävs den bästa kompetensen för att välja rätt. Trots detta sker valet ofta intuitivt och enligt principen ”så har vi gjort tidigare”. För att prefabbyggandet skall få ett genombrott krävs kompetensutveckling [Kämpe, 1997]. Okunskap gör att monteringsbyggnadsprojekt ofta ses som modifierat platsbyggande [FIP..., 1994]. De möjligheter som finns utnyttjas inte fullt ut, vilket gör att kostnads- och tidsfördelarna blir mindre än de skulle kunna vara.

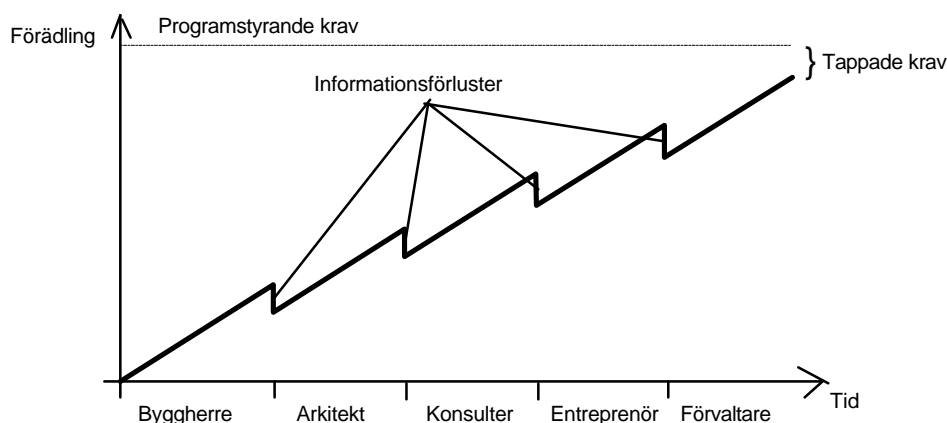
Vid fabrikstillverkning kan medvetenheten om arbetets och detaljernas vikt vara dålig. Arbetarna förstår inte alltid hur detta påverkar den färdiga byggnaden och vad som är viktigt vid montering av kompletteringar. En förståelse för hantverket är viktig även vid industriell produktion.

3.2 Organisation

En splittrad byggprocess

Byggprocessen är alltför uppstyckad, både horisontellt och vertikalt. Den idag vanligaste entreprenadformen, utförandeentreprenad, innebär att design och konstruktion skiljs från produktionen. Projekteringen upphandlas och bedrivs separat och produktionen upphandlas på färdiga handlingar. Detta leder till lösningar med dålig byggarhet och motverkar kostnadsbesparingar [Lahdenperä, 1995]. Entreprenadformen ger komplicerade ansvarsförhållanden som kan göra det svårt att reda ut vem som har ansvaret för fel på entreprenaden. Eftersom processupplägget är sekventiellt blir genomförandetiden lång, vilket leder till kostnader i form av ränteutgifter och uteblivna intäkter [Jonsson, 1996].

Eftersom bygghandlingarna måste beskriva projektet in i minsta detalj blir de mycket omfattande. Ändå är risken stor för att inte all information "följer med" vid övergången från projektering till produktion. Samma förhållanden gäller vid alla övergångar mellan aktörer, vilket gör att risken är stor att i slutändan saknas kontroll över de ursprungliga byggstyrande kraven [Kämpe, 1994; Jonsson, 1996; Olson, 1996]. Dessutom gör bristen på samarbete mellan projektering och produktion att utvecklingen av nya produkter och arbetsmetoder försvåras [Jonsson, 1996]. Även vid totalentreprenad är uppdelningen i projektering och produktion strikt, skillnaden ligger i relationen till beställaren och kontrollen över projektet [Wikforss, 1993].



Figur 14 Informationsförluster vid "överlämning" mellan aktörer kan leda till tappade krav [jmf Olson, 1996].

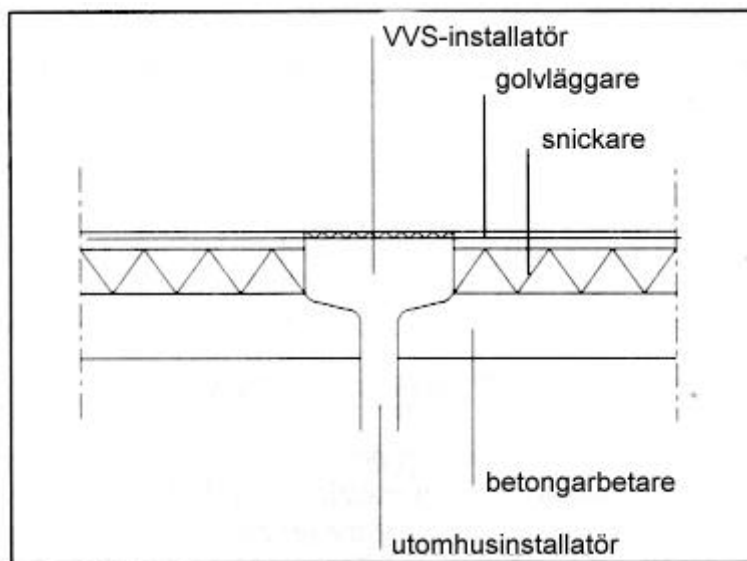
Specialiserade yrkesroller och ansvarsfördelning efter yrkesroll

Yrkesrollerna i byggprocessen är ofta starkt specialiserade. Detta leder till att många aktörer måste delta i processen, varvid organisationerna blir svåröverskådliga [Wikforss, 1993]. Ett stort antal deltagare i byggprocessen kan också leda till fel till följd av bristande samordning och oklara ansvarsgränser [Appelqvist och Keijer, 1995]. Med ökad specialisering i en sekventiell process ökar också behovet av samordning för att undvika onödiga förseningar. Erfarenheter visar att alltför stor specialisering leder till en stor andel icke-produktiv tid i form av väntan, resor

mm [Lahdenperä, 1995]. Därför menar många att framtidens byggprojekt inte bör innehålla en större andel projektering av specialister, utan tvärtom bör generalister som ser de gemensamma dragen i projekten sköta projekteringen med hjälp av effektiva verktyg och hjälpmedel [jmf Wikforss, 1993].

Samtidigt ställer den ökade installationstätheten och ny teknik större krav på kunskaperna hos projektörerna. Erfarenheter visar att specialsystem projekterade av generalister ofta är otillfredsställande, med delvis dåliga lösningar som inte uppfyller de krav som ställs. Därför finns det en motsatt drivkraft mot mer specialisering, för att kunna åstadkomma lösningar som på ett bättre sätt uppfyller alla krav.

Ansvarsfördelningen på byggplatsen är vanligtvis uppdelad efter yrkesrollerna och stämmer inte överens med byggnadens verkliga funktionella och produktionstekniska enheter. Detta leder till dålig erfarenhetsåterföring och kunskapsackumulering, eftersom sakkunskaperna ofta är knutna till enskilda individer inom respektive yrkesgrupp och därmed inte allmänt tillgängliga för andra yrkesgrupper med angränsande ansvarsområden. Uppdelningen gör också att ansvaret huvudsakligen gäller utförande av arbete enligt de planer som är grunden för kontraktet, ofta med endast ett begränsat funktionsansvar. Detta gör att motivationen att göra sitt bästa, utöver de grundläggande kraven i kontraktet, är dålig [Lahdenperä, 1995].



Figur 15 Exempel på utformning där yrkesrollerna inte stämmer överens med den produktionstekniska enheten. Fem olika yrkesgrupper måste samordnas för att producera ett golvavlopp [Appelqvist och Keijer, 1995].

Projekttänkande utan långsiktighet

Synen på byggprojekt är ofta präglad av idén om varje projekt som unikt. Detta innebär att långsiktiga relationer mellan aktörer är sällsynta, i stället är det kortsiktiga ekonomiska fördelar som styr. Uppstyckningen av byggprocessen främjar inte heller uppbyggnaden av långsiktiga nätverk [Olson, 1996; Bertfeldt, 1996]. Det tar tid att utveckla samarbetsformer för varje enskilt projekt och olämplig organisation kan leda till att tid läggs ned på onödigt rutinarbete [Lahdenperä, 1995]. Slarv med

projektuppbyggnaden gör också att kvalitets- och miljötänkande kommer in i ett för sent skede för att få någon riktig betydelse [Bertfelt, 1996].

Alltför litet resurser läggs på utvecklingsarbete, eftersom dessa kostnader ofta hänförs till ett specifikt projekt, i stället för att ses som en långsiktig investering. Detta beror på dels på att teknik i byggbranschen är allmängods och detaljredovisas för beställare och myndigheter och dels på att dagens splittrade ansvarsfördelning där ingen äger produkten inte ger något incitament för långsiktigt utvecklingsarbete eftersom det inte är lönsamt [Johansson, 1996] och dels på att större förändringar kräver inblandning av flera parter, vilka ofta har skilda intressen vilket gör att idéerna inte genomförs [Keijer, 1994]. Detta beror i hög utsträckning på bristen på långsiktiga relationer och därmed avsaknaden av gemensamma mål.

3.3 Byggnadsutformning

System och metodval för sent i processen

Ofta sker metod- och systemval alltför sent i processen för att monteringsbyggandets fördelar skall kunna utnyttjas fullt ut [jmf Adler, 1995]. Erfarenheter visar att om monteringsmetoden väljs från början och redan arkitekten är insatt i systemet, blir felen och störningarna färre i produktionsskedet, anpassningen mellan anslutningar blir bättre och möjligheterna utnyttjas bättre. Dessutom möjliggör ett tidigt val av monteringsmetod att projektering och produktionsplanering kan bedrivas parallellt, vilket ger tidsvinster. Orsakerna till de sena besluten kan vara flera: byggherren är inte säker på vad han vill ha när projekteringen börjar, byggherren utgår från platsbyggt men ändrar till prefab för att sänka kostnaderna, ointresse för byggnads- och produktionstekniska frågor i byggherre- och konsultleden [jmf Adler, 1995] eller bristande kompetens [jmf Kämpe, 1997].

Installationer inte utformade för monteringsbyggande

De installationssystem och kompletterande tekniska system som utnyttjas i monteringsbyggandet idag är i många avseenden lika de som används vid platsbyggandet. Vid utformningen tas inte tillräcklig hänsyn till de förutsättningar som monteringsbyggande ger [jmf Hellström, 1996]. Utvecklingen har heller inte gått mot att utveckla dessa system för monteringsbyggande, utan snarare att anpassa de prefabricerade delarna till traditionella kompletterande system.

Integration av funktionella system

Den traditionella byggprocessen med åtskillnad mellan design och produktion, dålig lönsamhet för utvecklingsinsatser och tyngdpunkt på kontraktskostnader bidrar till hög grad av integration mellan olika funktionella byggnadssystem. Detta leder till att arbetsuppgifterna på byggplatsen blir starkt beroende av varandra och ansvarsgränserna blir oklara [Lahdenperä, 1995]. Integration mellan olika system, t ex installationer ingjutna i bjälklag eller väggar, kräver också en stor samordningsinsats och väl fungerande kontroll på projekteringsstadiet för att undvika fel i produktionen. Intervjuundersökningen visade t ex att en av de vanligaste felkällor-

na vid monteringsbyggande är felaktigheter i ingjutet eller inbyggt gods för eldragning.

Integration av system med olika livslängd eller olika förändringsbehov leder till inflexibla lösningar och höga förnyelsekostnader. Installationer kräver ledningar och kanaler som är tillgängliga även efter byggnadens färdigställande [Adler, 1995]. Att installationer gjuts in i bjälklag beror bland annat på krav på pressade bjälklagshöjder. Vid en av intervjuerna framfördes att detta kan ha sin grund i de svenska byggreglernas krav på en högsta byggnadshöjd, i stället för ett högsta antal våningar som används i många andra länder.

All integration av tekniska system är dock inte fel. Exempelvis kan kanalerna i håldäcksbjälklag utnyttjas till eldragning eller som en del i klimatsystemet [FIP, 1994]. Vad som bör eftersträvas är därför inte en total separation av olika system, utan snarare en fullgod analys av integrationens betydelse för byggarbete, drift, underhåll och renovering, funktion och estetik. Det behövs också anvisningar för samordningen av stomme och tekniska installationer för att rationalisera monteringsbyggandet, eftersom installationsföringen ger ett ökat antal elementvarianter i dagens byggande till följd av bristen på anvisningar [Adler, 1995].

3.4 Slutsatser

De problem som presenterats ovan bör inte ses som enskilda problem, utan som en helhet, symptom på ett behov av mer djupgående förändringar. Det förefaller som om många av de ovan nämnda problemen har sin grund i det faktum att byggprocessen är uppstyckad [jmf Keijer, 1994], med låsta roller och revirtänkande. Att det är på detta sätt kan bero på en rädsla att se sitt verksamhetsområde krympa till förmån för andra aktörer. I nuvarande process ger inte heller långsiktigt samarbete eller ökat utvecklingsarbete någon konkurrensfördel, vilket hämmar byggbranschen. Därav epitet som 'konservativ', 'förändringsobenägen' och 'traditionalistisk', som hörs från folk såväl inom som utanför branschen. Författarens intryck är att det finns en vilja att förändra, men att utvecklingen har lett till ett läge som är så låst att det krävs en gemensam insats i hela branschen för att bryta sig loss.

En process med långsiktiga samarbetsförhållanden och nya ansvarsgränser skulle ge bättre möjligheter till erfarenhetsåterföring och kompetensutveckling. Detta skulle ge nya förutsättningar för en bättre byggnadsutformning och bättre möjligheter att uppfylla kundens behov. Med ett livscykelperspektiv blir flexibilitet, utbytbarhet och demonterbarhet avväganden som får en naturlig del i byggnadsutformningen.

4 INDUSTRIELLT BYGGANDE

4.1 Från massproduktion till lean construction - det industriella byggandets utveckling

Massproduktion som mål

Industriellt byggande kan tyckas vara en relativt ny företeelse, men redan i mitten på 1800-talet började i USA byggnader uppföras med förtillverkade stomelement i järn. Detta kan sägas vara början till ett industriellt synsätt i byggandet, även om arbetsmetoderna till större delen var traditionella och hantverksmässiga.

I början på 1900-talet började i den fasta industrin introduceras ett nytt tillverkningskoncept, massproduktion. Från att ha arbetat med enstyckstillverkning började industrin tillverka serier av likadana produkter. En av pionjärerna inom detta område var Henry Ford, som redan 1907 införde löpande band i tillverkningen av T-Forden. Tillverkningen vid det löpande bandet gick flera gånger fortare än den traditionella hantverksmässiga tillverkningen. Men nyckeln till framgångarna var inte det löpande bandet, utan en total och enhetlig utbytbarhet av delar och en utformning som gjorde att de lätt gick att sätta ihop med varandra [Womack m fl, 1991].

Massproduktionen byggde på att tillverkning av en produkt i en variant gav rationaliseringsvinster. Det handlade knappast om någon kundorienteringen, kunden fick ta vad som bjöds. Henry Ford lär ha sagt att ”du kan få T-Forden i vilken färg du vill, bara du väljer svart”. Men konceptet var så framgångsrikt att det snabbt spreds över världen och tillämpades på allehanda produkter. Naturligtvis ville man också tillverka bostäder på detta sätt. Henry Ford försökte på 30-talet fabriktillverka hus i standardiserade moduler som bara skulle monteras ihop på plats, men detta försök föll inte väl ut [Womack m fl, 1991].

I Europa försökte modernistiska arkitekter som Gropius och le Corbusier introducera massproduktionen i bostadsbyggandet. I Sverige fördes idéerna fram av en grupp arkitekter med Gunnar Asplund i spetsen. Genom standardisering och prefabricering skulle byggandet effektiviseras. Variationen i byggandet skulle åstadkommas med ett begränsat antal baskomponenter. Grupper av arbetare skulle flytta sig från hus till hus och utföra identiska arbetsmoment. Kundens möjlighet att påverka utformningen skulle naturligtvis vara begränsad, helt i linje med massproduktionens ideal [Bröchner, 1995], men utgångspunkten för massproduktionen var en annan än i produktionsindustrin. Det var inte i första hand maximal vinst som eftersträvades, utan en lösning på den svåra bostadsbrist som uppstått i Europa efter urbaniseringen och första världskriget. Omfattande bostadsvaneundersökningar låg till grund för planeringen, liksom för normering och standardisering, som från byggnadsindustrins sida inte sågs som en begränsning utan tvärtom möjliggöra en nödvändig modernisering och effektivisering av byggandet [Rudberg, 1981; Hökarängen..., 1998].

Under 30-talet började försök till standardisering göras. Det som skulle standardiseras var måtten hos komponenter, byggnadsdelar och byggnader. Men det var först på 50-talet som en standardiserad måttsättning började få genomslag i Sverige. De nordiska länderna arbetade fram ett modulmåttssystem grundat på basmodulen 3 M i horisontalled och 2 M i vertikalled, där 1 M motsvarar 100 mm. Under 60-talet utarbetades omfattande rekommendationer kring modulmåttssystemet, som ansågs vara nyckeln till en framgångsrik utveckling av det industrialiserade byggandet. I inledningen till Byggstandardiseringens *Modul ABC* [1968] står följande att läsa:

”Byggområdet står inför industrialisering i verklig mening. Förutsättningen härför är standardisering. En verkningsfull standardisering måste emellertid vara grundad på systematisk måttsamordning, en sådan är modulsamordning... Om det i detta läge inte finns en av alla parter inom byggeriet omfattad och tillämpad princip för samordning av måtten hos olika byggelement kommer varje underleverantör att låta de egna produktionstekniska och ekonomiska synpunkterna bli avgörande. Med varierande krav på produkternas utförande från olika projektörer och byggare kan tillverkaren inte heller dra några säkra slutsatser om hur man önskar att produkterna skall vara utformade... I båda fallen riskerar man att den önskade effekten av rationalisering för byggeriet som helhet förfelas”.

Syftet med modulmåttssystemet var att förenkla arbetet på byggplatsen, att förenkla projekteringsarbetet och underlätta samarbetet mellan projektörer, tillverkare, distributörer och byggare. För standardutrustning till bostäder som köksinredning, dörrar, fönster mm innebar modulmåttssystemet att tillverkningen kunde rationaliseras och flyttas till fabrik. Det var också här som modulkoordineringen fick störst genomslag.

Under de tio år miljonprogrammet pågick i Sverige utvecklades massbyggandets principer. En rationell produktion med stora möjligheter till repetitiva moment var vad som styrde byggandet, som präglades av ett ganska ensidigt volymtänkande [Adler, 1995; Olson, 1996]. Estetiska och sociala värden kom alltför ofta i skymundan, liksom kvalitet i material och utförande.

Efter miljonprogrammet

I slutet på 70-talet gick byggandet ned och som en reaktion mot massbyggandets produktionsfokus inriktades byggandet på småskaliga projekt och mångfald och variation. Trots försök att föra fram massbyggandets positiva sidor, drogs liten nytta av erfarenheterna från miljonprogrammet [Adler, 1995].

Under 80-talet och början av 90-talet var utvecklingen i det industriella byggandet relativt liten, volymtänkandet från 60- och 70-talen ersattes av en mer variationsrik arkitektur som gav mer varierade och estetiskt tilltalande, men också dyrare, byggnader. Den byggnadstekniska utvecklingen var projektinriktad och inriktad på att diversifiera systemlösningar. Utvecklingen av systemlösningar kunde innebära att byggsystem från 60- och 70-talen kompletterades med specialkomponenter för typhus som lanserades som färdiga produkter [Adler, 1995]. Inom betongelementbyggandet utvecklades möjligheterna till en varierad fasadutformning [FIP 1994] samt bjälklag i högpresterande betong som ökade spännvidderna. Det gjordes ock-

så insatser för att öppna de system som fanns på marknaden för en flexiblare tillverkning och användning av betongelement. Arbetet resulterade i Betongelementföreningens handbok *Betongelement*, som uppdaterats och utökats under början av 90-talet [*Betongelement*, 1997]. Trots detta präglas de flesta system på marknaden av företags specifika lösningar och slutenhet [Adler, 1995; Hindersson, 1996 a].

Utvecklingen i Danmark och Finland

I Finland och Danmark har utvecklingen sedan massbyggandets dagar varit en annan än den i Sverige. De erfarenheter som gjordes under 60- och 70-talen har aktivt tillvaratagits och utvecklats.

I Danmark ledde kritik mot elementbyggda bostadsområden i slutet av 60-talet till försök att utveckla flexibla byggsystem, anpassbara till en mindre skala. Utvecklingen lanserades under beteckningen ”*The Danish Open System Approach*” och byggde på en öppen marknad för industriellt tillverkade, måttsamordnade byggkomponenter som skulle kunna kombineras på olika sätt. Uppföljning av rutinproduktion och forskningsresultat visade dock att måttsamordning inte var tillräckligt för att skapa en öppen marknadssituation, utan anslutningarnas utformning samt komponenternas prestanda var i praktiken avgörande för komponenternas användbarhet. [Adler, 1995]. Underlag för öppen modulmåtkoordinering och sammanfogning av måttkoordinerade komponenter presenterades i en rad publikationer från Statens Byggeforskningsinstitut SBI under 70- och 80-talen [t ex Blach & Kjær, 1975; Blach m fl, 1986; Blach & Kjær, 1987].

I *Modulprojektering i praksis* [Blach & Zachariassen, 1989] görs en sammanställning av fem projekt utförda med modulprojektering, för att visa modulkoordineringens positiva sidor. I inledningen konstateras att modulkoordinering inte alltid varit så lyckat, men att en viss måttsamordning alltid är nödvändig och att modulmättet 1 M är lämpligt som bas. Det konstateras också att de problem som förekommit i samband med komponentbyggandet kan antas bero på dåliga kunskaper, eftersom nästan inget undervisningsmaterial producerats sedan 60-talet, samt att standarder och byggnadsbestämmelser varit för stela och svårtolkade. Det noteras också att modulkoordineringen mer och mer kommit att omfatta vissa komponenter, som dörrar, fönster, innerväggskomponenter och inredning, medan efterfrågan på och möjligheterna att få ”skräddarsydda” bjälklag och fasader och andra komponenter ökat.

I Danmark har på senare år uppstått en debatt om kvaliteten i byggandet de senaste årtiondena. Kritiken har gällt upplevelsefattigdom i bostadsutformningen, låsta planlösningar, dåliga ljud- och ljusförhållanden, ökat antal byggfel och överskridande av budgetar [*Comfort House...*] och det finns ett behov av att driva utvecklingen vidare.

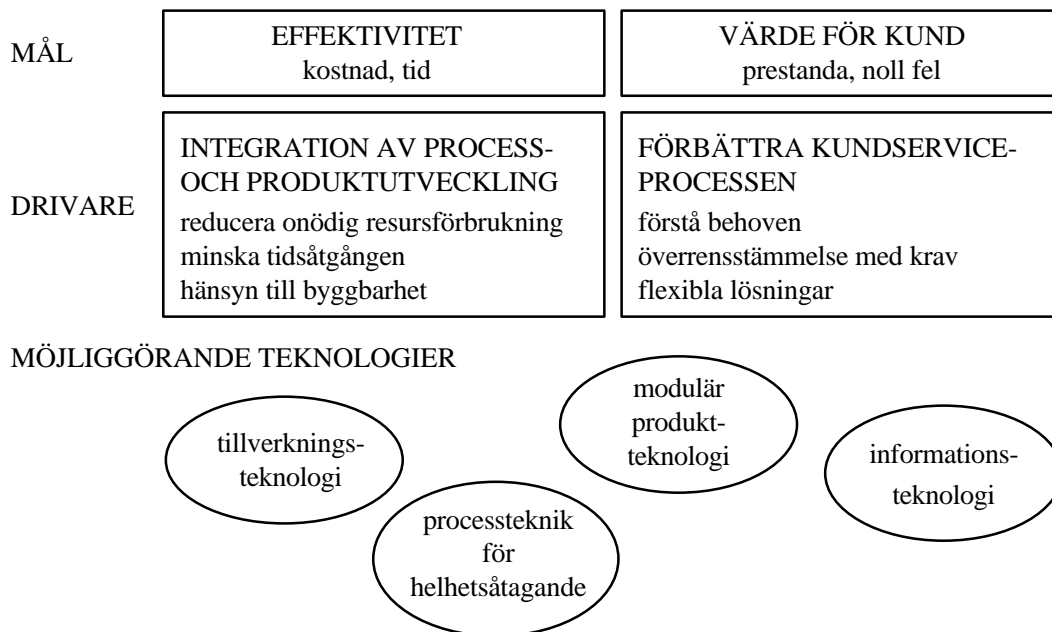
I Finland präglades elementbyggandet under 60-talet av att enskilda företag erbjöd slutna byggsystem, med sinsemellan icke utbytbara komponenter. Detta innebar relativt dyra system och det fanns ett uppenbart behov av att samordna dessa byggsystem till en öppen elementmarknad. 1967 initierade så den Finska Betongindustrins Centralorganisation, SBK, BES-utredningen, som syftade till att lansera ett kommersiellt öppet byggsystem för bostäder som skulle kunna användas av alla

byggföretag i landet. Systemet innehöll principer för måttsamordning, konstruktion och riktlinjer för utformningen av tekniska lösningar, men angav inte några mer detaljerade villkor [Adler, 1995; *Bygga med öppna system...*, 1986]. Systemet bidrog till att öka prefabbyggnadens andel i Finland och i slutet av 80-talet uppfördes hälften av alla byggnader i Finland med prefabricerad stomme [*Finnish building technology*, 1992].

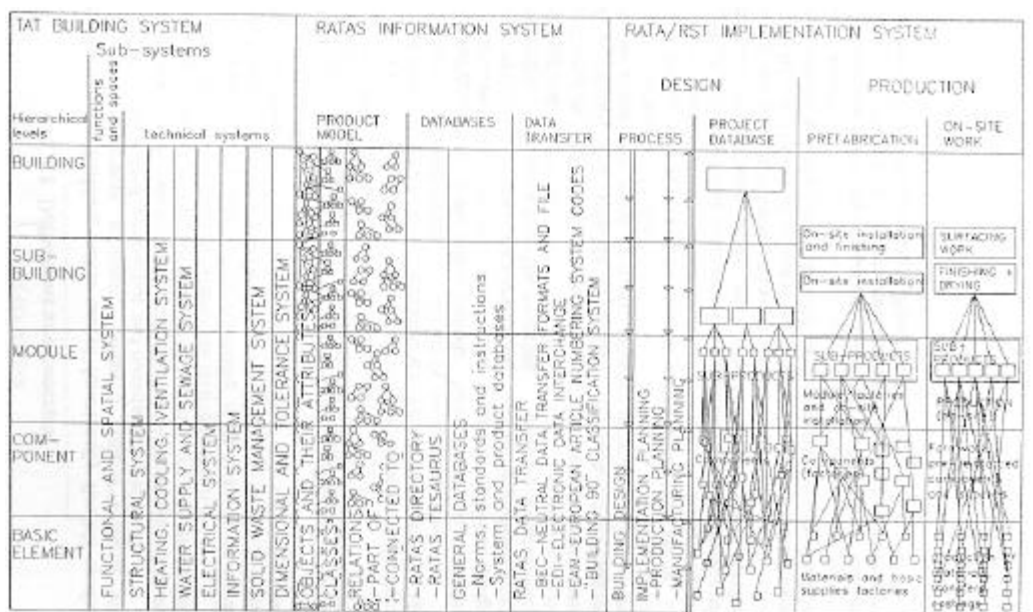
1986 initierade TEKES ett projekt som syftade till att utforma *tredje generationens byggsystem, TAT*, som skall tillfredsställa 2000-talets behov [*Bygga med öppna system...*, 1986; Sarja, 1989]. Projektet som pågick tom 1992 innefattade också utformandet av ett öppet informationssystem, *RATAS*, och ett öppet genomförandesystem för byggprocessen, *RATA/RST* [Sarja & Hannus, 1995]. Programmet syftade till att [*Finnish building technology*, 1992; Pajakkala m fl, 1993]:

- ❑ Skapa en kultur för modulärt utförande i byggproduktionen, med konkurrens baserad på byggnadens funktionella och tekniska karakteristik, integrerad projektering och produktionsplanering, ansvarsfördelning i produktionen baserad på funktionella och produktionsmässiga enheter och gemensam verksamhet baserad på allmän förmåga att tillgodose kundens behov.
- ❑ Utveckla ett nytt flexibelt, öppet byggsystem baserat på hierarkisk och modulär kompatibilitet mellan funktioner, utrymmen och tekniska system.
- ❑ Styra om produktionsprocessen mot industriell sammansättningsteknik och användning av industriella metoder på byggplatsen, vilket innebär hög prefabriceringsgrad, JIT-leveranser och mekaniserade och automatiserade metoder.
- ❑ Utveckla ett omfattande informationshanteringssystem som omfattar hela projektet.
- ❑ Utveckla ett kvalitets- och ansvarssystem som omfattar hela byggprocessen och flyttar över ansvaret från myndigheter till de medverkande i byggprocessen.

Programmet har under 90-talet följts av ytterligare utvecklingsprojekt, bl a för utveckling av logistik i byggandet och automatisk produktion på fabrik [*Finnish building technology*, 1992].



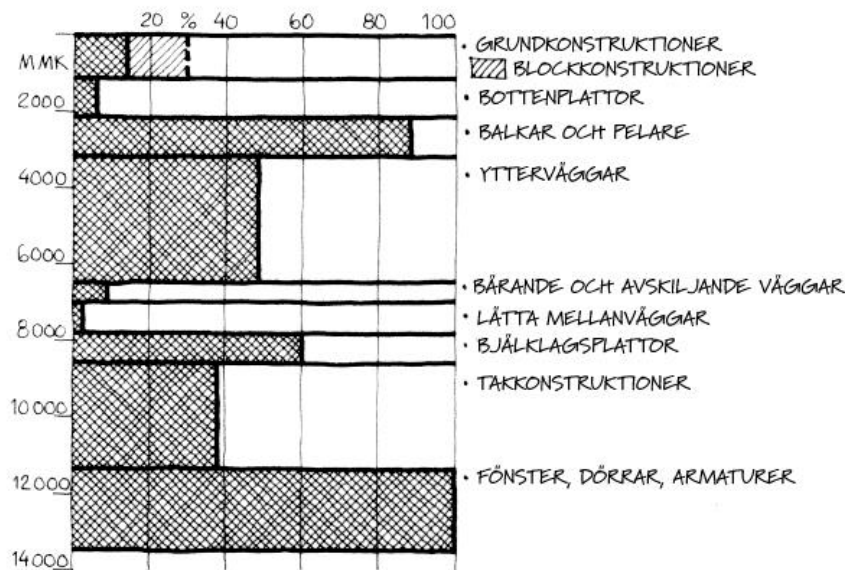
Figur 16 Principer för industriellt byggande i TAT/RATAS [Research and development..., 1995].



Figur 17 Systematik för industriellt byggande enligt TAT/RATAS [Sarja & Hannus, 1995]

Monteringsbyggandets ställning i Sverige, Danmark och Finland

I Danmark och Finland har prefaben en mer framträdande position än i Sverige. I dessa länder uppförs ungefär 50 % av alla byggnader med helt eller delvis prefabricerad stomme, att jämföras med ca 20 % i Sverige [Pajakkala m fl, 1993; Adler, 1995; Hinderesson, 1996 a]. Inte ens under miljonprogrammets toppår hade prefaben någon större marknadsandel och under början av 80-talet var andelen så låg som 10 % [Adler, 1995].



Figur 18 Andel förtillverkade delar för olika byggnadsdelar i Finland. Siffrorna är från 1988 [Finnish building technology, 1992].

De medvetna satsningarna på öppna byggsystem, som har haft stöd från stora delar av byggindustrin i Danmark respektive Finland har möjliggjort ett mer kostnadseffektivt monteringsbyggande och bredare kunskap på området vilket bidragit till den höga andelen prefab i dessa länder jämfört med Sverige [Adler, 1995; Lahdenperä, 1995]. Prefaben har också, mycket tack vare de öppna systemen, vid upphandling kommit att hanteras som ett material med sammansättningen som separat arbete medan prefabricerade produkter i Sverige ofta behandlas som underentreprenader där leverantören även står för monteringen, vilket kritikerna menar har bidragit till att prefaben inte fått riktigt genomslag på den Svenska byggmarknaden [Hindersson, 1996 a].

En möjlig orsak till den låga andelen prefabbyggande i Sverige som framfördes vid en av intervjuerna, kan vara den ställning yrkesarbetarna har i Sverige, jämfört med andra länder. I Sverige har vi en omvitnat hög nivå på kunnandet hos yrkesarbetarna [jmf Bröchner, 1996], vilket kan vara en bidragande orsak till att platsbyggandet har behållit en stark ställning.

Lean construction - lean production för byggandet

Efter rapporter från den fasta tillverkningsindustrin om de stora framgångar som uppnåtts med *lean production*, började byggbranschen visa ett intresse för denna produktionsfilosofi. I början av 90-talet kom de första förslagen på hur byggprocessen skulle kunna förändras till *lean construction* [Lean Construction, 1997]. Analyser av byggprocessen visade att den innehöll stora mängder *muda* (se tabell 1). Precis som inom andra industrier där *lean thinking* införts tidigare antas bristerna bero på att byggprocessen inte ses som ett flöde för att skapa en produkt, utan som en uppsättning aktiviteter [Koskela, 1993].

Orsak till kostnad (<i>muda</i>)	Kostnad
Kvalitetskostnader (felaktig)	12 % av total projektkostnad
Externa kvalitetskostnader (under brukande av byggnaden)	4 % av total projektkostnad
Dålig byggbarhet	6-10 % av total projektkostnad
Bristande materialhantering	10-12 % av arbetskraftskostnaden
Överflödigt materialförbrukning på byggplatsen	10 % i medeltal
Arbetstid för icke värdeskapande aktiviteter på byggplatsen	Ca. 2/3 av total tid
Bristande säkerhet	6 % av total projektkostnad

Tabell 1 Kostnader för onödig resursförbrukning i byggandet [Koskela, 1993].

De praktiska erfarenheterna av införandet av *lean thinking* i byggandet har hittills varit goda. Huvudprinciperna i *lean thinking* - kundorientering, partnering, processintegration, multifunktionella och självstyrande team och ständiga förbättringar - har visat sig kunna lösa många av de problem som dagens process och organisation medför.

I Sverige är Arcona det företag som kommit längst med att utveckla *Lean Construction*. Deras koncept innebär integration av produktutformning, konstruktion och produktion och en kontinuerlig utveckling av process och teknik. Mål och strategier formuleras gemensamt med beställaren i ett tidigt skede och projekten utförs som total- eller funktionsentreprenad. Från projektstarten samverkar projektledning, arkitekt, projektörer och strategiska leverantörer, med vilka ett långsiktigt och kontinuerligt samarbete inletts. Teknikutveckling mot högre prefabriceringsgrad och få komponenter, enkel montering, hög måttnoggrannhet och ansvarsgränser utformade så att varje yrkesgrupp kan utföra sitt montage i ett ostört sammanhang utförs tillsammans med de strategiska leverantörerna. Logistiken är viktig och alla leveranser skall ske JIT [Arcona Ab, 1997].

Tendenser för den fortsatta utvecklingen

Det industriella byggandets fortsatta utveckling den närmaste tiden verkar vara en fortsatt utveckling av *lean construction*-koncept, där influenserna från fast industri blir allt tydligare. Förändringar i bygglagstiftningen har gjort att nya byggmetoder kommit i fokus. Byggkostnadsdelegationen har också under året avgjort en kostnadstävling där det gällde att presentera ett byggsystem för flerbostadshus med tre våningar eller mer, som kan serieproduceras till en kostnad av max 5 000 kr/m² [Hindersson, 1996b]. Utifrån vad som framkommit i forskningsrapporter, artiklar, beskrivningar av aktuella byggprojekt samt de förslag som presenterats i Byggkostnadsdelegationens kostnadstävling, kan följande tendenser för utvecklingen antas:

- Kundorienteringen i byggandet ökar. Möjligheterna för de boende att själva påverka bostadsutformningen har blivit en viktigare del i marknadsföringen av nya projekt. Som exempel kan nämnas ett nyligen slutfört bygge där Svenska Bostäder låtit hyresgästerna själva vara med och utforma sina lägenheter, med handledning och styrning av en erfaren arkitekt [Tarschys, 1997]. Även drift- och underhållsfrågor har fått mer utrymme och förvaltningspersonalen får ofta vara med och påverka byggnadsutformningen.

- Informationsteknik blir allt viktigare i byggprocessen. Den snabba utvecklingen på området har skapat nya möjligheter till effektivisering. Objektorienterad 3D-modellering och gemensamma projektdatabaser har börjat utnyttjas och internettekniken förväntas få stort genomslag den närmaste framtiden.
- Allt fler företag i byggbranschen satsar på att utveckla strategiska allianser, framför allt i form av leverantörssamarbete.
- Nya byggregler har öppnat marknaden för ny byggteknik. Under det senaste året har intresset främst riktats mot lättbyggnadsteknik, dvs byggande där gips-skivor på lättreglar av plåt utgör den bärande stommen. Även flervåningshus med bärande stomme av trä har börjat dyka upp på marknaden.
- Minskad efterfrågan från bostadsföretagen gör att byggföretagen i högre grad måste satsa på byggande i egen regi.
- Byggprojekten, och framför allt bostadsprojekten, blir mindre och med större krav på individuell anpassning. Inriktningen på utvecklingen av byggnadssystem måste därför ändras från rationell och billig serieproduktion, vilket var en av förutsättningarna i Byggekostnadsdelegationens kostnadstävling, mot rationell och billig hantering av diskontinuerlig, småskalig och individuell produktion.

4.2 Byggprocess och projektorganisation

Fysiska processer och informationsprocesser

När byggprocessen diskuteras är det lätt att få intrycket att det handlar om en process. I själva verket handlar det om flera processer. Dels är varje projekt att betrakta som ett antal delvis parallella delprocesser, dels finns det många olika projektkonstellationer som leder till olika processer. Det är därför inte möjligt att presentera en optimal byggprocess; hur processerna i byggandet ser ut beror på det enskilda projektet.

Dagens syn på byggprocessen är aktivitetsbaserad och gör ingen åtskillnad mellan fysiska processer, förvandling från råvara till färdig byggnad, och informationsprocesser, med utgångspunkt i byggherrens idé om ett byggnadsverk. Bröchner [1996] menar att den aktivitetsbaserade modellen av byggprocessen är föråldrad och hindrar förnyelse i byggandet. I stället måste aktörerna i byggbranschen tydligare skilja på och renodla fysiska processer och informationsprocesser.

Samtidigt är det viktigt att helheten betraktas, det går inte optimera byggprocessen genom att separat optimera varje delprocess. Utformningen av processerna måste vara samordnad för att få värdekedjan i byggandet att flyta.

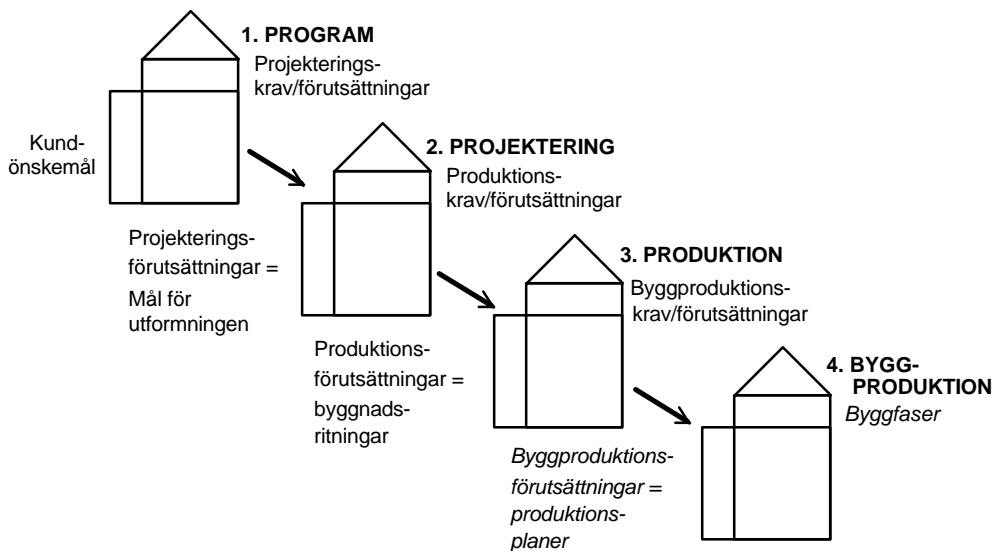
En industriell byggprocess

Kundens krav som utgångspunkt

Grunden för en effektiv byggprocess med industriella metoder är en fungerande kundorientering. Byggprocessen skall skapa en produkt som tillfredsställer kundens önskemål och krav - skapa värde för kunden. Womack & Jones [1996] har

beskrivit hur de anser att ett småhusköp skall gå till: köparen besöker husbyggaren, modifierar konstruktionen på en datorskärm, väljer önskade alternativ, genomför en kreditkontroll, ordnar försäkring och skriver kontrakt vid ett enda tillfälle. Huset monteras på mindre än en vecka från beställning till inflyttning, genom användning av fabriksstillverkade komponenter som tillverkas i 'magra' komponentfabriker en dag eller två innan de behövs.

För att lyckas är det nödvändigt att omvärdera vad som är produkten i ett byggprojekt. Produkten är inte den fysiska byggnaden, utan utrymmen och funktioner som skall utnyttjas av kunderna. Utgångspunkten för byggprocessen måste därför vara att skapa en funktions- och rumsspecifikation utformad utifrån från kundens önskemål [Lahdenperä, 1995; Grennberg, 1996 a]. I ett byggprojekt är det oftast så att det inte bara finns en kund. Brukare, ägare och förvaltningspersonal kan alla betraktas som kunder i byggprojektet, men de har väsentligt skilda krav på produkten. Det är därför viktigt att en noggrann funktionsanalys utförs, som väger in krav från alla dessa grupper. Kravanalysen måste bli mer djupgående och systematisk än den är i dagsläget. Detta kräver en ökad kompetens hos den som tolkar kundens krav, i praktiken ofta arkitekten, och bättre instrument för att omvandla önskemål till funktionella och estetiska krav på system och utrymmen, oberoende av material eller teknik [Lahdenperä, 1995]. Detta ger stor möjlighet att jämföra olika tekniska lösningar och välja den fördelaktigaste. QFD har vid försök visat sig vara ett effektivt verktyg även i byggprocessen om information om krav och önskemål samlats in på rätt sätt [Serpell & Wagner, 1994; Huovila m fl, 1995]. Insamlingen av kundönskemål är den mest kritiska delen av QFD-processen och bör vara noggrann.



Figur 19 Principiell beskrivning av tillämpning av QFD i byggprocessen [Huovila m fl, 1995]. Jmfr fig 2.2, principiell beskrivning av QFD.

Det är dock inte möjligt att fastställa alla krav och önskemål i ett tidigt skede i processen. Det är därför viktigt att processen tillåter en gradvis mer detaljerad beslutsprocess, där kundens och andra gruppers åsikter kan vägas in på olika nivåer och i olika faser [Wikforss, 1993; Lahdenperä, 1995]. Ett byggprojekt bör, enligt Howell & Ballard [1994], inte betraktas som ett överförande av otvetydiga order

från byggherre till en entreprenör, utan snarare som en serie förhandlingar mellan de olika aktörerna.

Wikforss [1993] menar att en viktig del i framtidens byggprocess kan bli att i förväg utbilda kunden för att medverka i byggprocessens olika skeden. Kunderna skulle kunna medverka på ett mer effektivt sätt om de förstod hur byggindustrin arbetar. Frågan är dock om en sådan utveckling i de flesta fall är möjlig, eller ens önskvärd. De kunder som har nytta av kunskapen är återkommande beställare och dessa skaffar sig ofta nödvändig kunskap av eget intresse. I övrigt är ju byggnaden att betrakta som en samling funktioner som stöder kundens primära verksamhet. För kunden är det alltså resultatet av byggprocessen som är viktig, inte processen i sig. För kunden skapar sådan kunskap inte något mervärde. Tvärtom är det de övriga aktörerna i byggprocessen som måste lära sig att anpassa sig till kunden, skaffa sig en bättre kompetens. Att hävda att kunden bör 'lära sig' byggprocessen är enligt författarens mening ett sätt att delvis avsäga sig ansvaret för slutresultatet av byggprocessen.

Integration av projektering, produktionsplanering, produktion och förvaltning

Att projektering och produktionsplanering bör sammanlänkas är en allmänt förekommande åsikt i litteraturen. Även i intervjuerna har fördelarna med att involvera produktionskompetens tidigt i utvecklingen framhållits. Att få en bättre koppling mellan projektering och produktion var ett allmänt önskemål från de intervjuade. Även en starkare koppling mellan projektering och förvaltning är önskvärd. En stor del av livscykelkostnaden för en byggnad ligger i förvaltningsskedet och det är därför viktigt att detta vägs in vid utvärdering av byggnadsutformningen.

Många av de byggfel som förekommer idag har sitt ursprung i projekteringsskedet [Appelqvist & Keijer, 1995; Kartam, 1996] och beror ofta på att projektörerna saknar den praktiska kunskap om byggproduktionen som behövs för att fatta ur produktionshänseende riktiga beslut [Kartam, 1996]. Integration av projektering och produktionsplanering leder till att produktions- och byggbarhetsfrågor kommer i fokus redan tidigt i processen. Det innebär att det blir färre fel och mer hänsyn tas till samordning i produktionen. Projektering och produktionsplanering bedrivs parallellt vilket ger kortare projekteringsfas, samtidigt som alla problem löses och en kunskapsbas för projektet byggs upp vilket ger en kort och problemfri produktionsfas. Den noggrannare planeringen ger också bättre kalkylunderlag. [Kartam, 1996; Cederfeldt, 1996; Hamrebjörk & Cederfeldt, 1996; Cederfeldt, 1997].

I en integrerad projektering och produktionsplanering kommer en noggrannare detaljplanering kunna genomföras, vilket innebär att vissa beslut som normalt tas i byggskedet tidigareläggs och osäkerheten i produktionen minskar [Cederfeldt, 1997]. Nyttan av ändringar i jämförelse med kostnaderna är också större under projekteringen än när produktionen påbörjats och kostnaderna för ändringar ökar ju längre projektet fortskridit [Harback m fl, 1994]. En effektiv kommunikation mellan konstruktörer och produktionspersonal gör att kunskap för utvärdering av byggnadsutformningen blir tillgänglig redan i ett tidigt skede och alternativa beslut kan genomföras till en minimal kostnad [Kartam, 1996].

En tidig uppbyggnad av projektorganisationen är nödvändig för att klara det informationsflöde som krävs för en hög kvalitetsnivå. Projektorganisationen bör vara komplett och finnas med genom hela byggprocessen [Bertfelt, 1996; Miles, 1996]. Genom ett utvecklat teamarbete redan i projektets initieringsskede utvecklas en effektiv kommunikation och konflikter kan lösas tidigt [Harback m fl, 1994].

När projekteringen med hjälp av ny informationsteknik ersätts av produktmodellering ökar behovet av samarbete mellan kompetenser från byggandets alla skeden. Eftersom modellen skall generera underlag för produktionen måste produktionskompetens finnas med vid modelluppbyggnaden [Hamrebjörk & Cederfeldt, 1996].

Upphandling och entreprenadformer

Som tidigare påpekats i detta arbete stöder inte de entreprenadformer som idag vanligen används en utveckling av byggprocessen enligt vad som beskrivits i tidigare avsnitt. Kritiken mot utförandeentreprenader riktar sig främst mot att projektering och produktion skiljs åt. Upphandling på färdiga handlingar ger små möjligheter för entreprenören att presentera egna tekniska lösningar, samtidigt som produktions- och byggbarhetsfrågor riskerar att förbises. Projektörerna får sällan den nödvändiga erfarenhetsåterföringen från produktionsfasen som bidrar till ökad kompetens i produktionsrelaterade frågor. Dessutom blir ansvarsförhållandena komplicerade när en part svarar för utformning och en annan för utförande. [Lahdenperä, 1995; Jonsson, 1996, Olson, 1996].

Totalentreprenaden har i grunden en riktigare utformning, eftersom ansvaret för både utformning och utförande hamnar hos en part, vilket i högre grad motsvarar de förhållanden som gäller i annan industri. Totalentreprenaden har dock fått dåligt rykte hos många, till följd av att denna entreprenadforms förutsättningar (och möjligheter) inte till fullo förstås eller accepteras av de inblandade aktörerna. Beställaren har ofta haft svårt att beskriva vad han vill ha och därför haft svårt vid utvärdering av anbudet, medan entreprenören dragit nytta av oklarheterna och valt lösningar som inte varit önskvärda ur beställarens synpunkt vad gäller exempelvis utseende eller underhåll. Varken projektörer eller entreprenörer har vanligen heller i någon större utsträckning utnyttjat de fördelar som en integration mellan projektering och produktion innebär. Oklarheterna i upphandlingsunderlaget ger extra kostnader för ändringar i byggskedet. Problemen med totalentreprenaden har i många fall lett till att beställaren haft långt gångna systemhandlingar som upphandlingsunderlag som begränsat möjligheterna till val mellan olika tekniska utföranden [Jonsson, 1996; Olson, 1996].

Incitamenten för forskning och utvecklingsarbete är dåliga med dagens entreprenadformer, eftersom möjligheterna till att få avkastning på investeringar i nya tekniska lösningar blir små. Detta beror dels på att entreprenören sällan ges möjlighet att erbjuda egna tekniska lösningar vid upphandling, dels på att det är svårt att patentskydda nya tekniska lösningar, vilka detaljredovisas för beställare och myndigheter. Detta medför att utvecklingen av produkter och arbetsmetoder blir lidande [Jonsson, 1995; Johansson, 1996].

Under senare år har en ny entreprenadform, funktionsentreprenad, börjat förespråkas i debatten. Den bygger på samma principer som totalentreprenaden: i stället för

en teknisk beskrivning upphandlar beställaren på en rumsplan och en funktionsbeskrivning och samma motpart svarar för såväl projektering som produktion, vilket ger goda möjligheter till integration av processens faser. Skillnaden mot totalentreprenaden är att det genom patent är möjligt att skydda de tekniska lösningarna, vilket ger större möjlighet för entreprenören att få avkastning på sina investeringar [Jonsson, 1995; Lagerqvist, 1996; Grennberg, 1996 a & 1996 b].

Funktionsentreprenad har med gott resultat använts av Vägverket vid flera vägprojekt och delvis även vid husbyggnad, bl a av Postfastigheter. Det finns bra möjligheter att använda funktionsentreprenad vid husbyggnad. En utredning vid LuTH visade att om allt som är synligt för användaren i ett kontorshus specificeras, så blir ändå 60 % av byggkostnaden över för entreprenörens egna lösningar [Lagerqvist, 1996]. Förhållandet torde vara liknande för bostäder, även om den del av byggkostnaden som motsvaras av entreprenörens egna lösningar kan antas vara något lägre.

Ett problem med funktionsentreprenaden är att få beställarna att vilja avstå från tekniska specifikationer till förmån för funktionskrav. För att detta skall kunna ske krävs dels fungerande system för redovisning av funktionskrav och bedömning av byggnadens prestanda, dvs huruvida funktionskraven uppfylls. Dessutom krävs ett trovärdigt produktansvar för byggnaden [Wikforss, 1993; Adler, 1995; Johansson, 1996]. Wikforss [1993] menar att informationshanteringen i byggprocessen är inriktad på att beskriva byggnaden på ett sätt som passar byggproduktionen, medan beskrivningen av byggnadens prestanda kommer i bakgrunden. För att klara av omställningen till en industriell byggprocess måste denna informationshantering utvecklas. En annan svårighet gäller omfattningen av funktionskraven. Lagerqvist [1996] påpekar att det inte är möjligt att helt beskriva en byggnad med hjälp av funktionskrav. Beställaren bör dock så långt som möjligt undvika att föreskriva tekniska lösningar för att inte hämma teknisk utveckling. Det är heller inte möjligt att redovisa alla krav i ett tidigt skede, varför en gradvis mer detaljerad beslutsprocess är nödvändig för att funktionsentreprenaden skall fungera [jmf Wikforss, 1993].

Det är vid diskussioner kring entreprenadformer och upphandlingsförfaranden också viktigt att ta hänsyn till de skillnader mellan beställarens kompetens och de krav som ställs på byggnaden som finns mellan olika projekt. Det är inte troligt att det går att åstadkomma en entreprenadform som passar alla projekt, men att sträva efter att i första hand använda funktionskrav och endast vid behov utnyttja krav på tekniska lösningar vid upphandling är en förutsättning för utveckling av en industriell byggprocess. Då ges bättre möjligheter att integrera projektering och produktionsplanering och att samordna de tekniska systemen för att få bästa resultat.

Partnering och strategiska allianser

Det bästa sättet att åstadkomma en integrerad process med multifunktionella team som kärna är att de ingående organisationerna inleder ett målinriktat samarbete. Partnering i ett projekt innebär att alla parter arbetar mot samma mål. Det krävs öppen kommunikation och ömsesidigt förtroende mellan parterna för att lyckas och samarbetet bygger på ett gemensamt åtagande där alla är vinnare, snarare än de kontraktsmässiga förhållanden med strikta ansvarsgränser som till övervägande del

används idag [Harback m fl,1994; Miles, 1996]. I projektet tar partneringen sig uttryck i form av de multifunktionella arbetsteam som finns med genom hela processen.

Långsiktigt samarbete mellan organisationer, strategiska allianser, som inte är begränsade till enskilda projekt leder till mer öppna affärsrelationer, bättre kommunikation och ger ett incitament för gemensam teknikutveckling [Lahdenperä, 1995]. Erfarenheter av långsiktigt samarbete med prefableverantörer visar att det leder till ett mer långsiktigt engagemang, mer tid satsas på att skapa bra detaljlösningar och byggbarheten blir därmed bättre och erfarenhetsåterföringen fungerar bättre. Långsiktigt samarbete kan också ge besparingar genom utveckling av standardiserade gränssnitt och procedurer [Lahdenperä, 1995], t ex gemensamma logistiksystem och databaser. Kunskapsuppbyggnaden som sker genom samarbetet mellan organisationerna minskar risken för fel.

I Japan betraktas innovativ byggteknologi som en nyckelfaktor för framgång. Japanska företag har därför utvecklat strategiska allianser med högteknologi- och tillverkningsföretag för gemensam utveckling av ny teknologi. Sådana partnerskap har lett fram till att Japanska byggföretag har stor kunskap om de tekniska hjälpmedel som utnyttjas i andra industrier. Detta har öppnat nya marknadsområden för företagen, samtidigt som möjligheterna till *technology fusion* förändrat synen på byggandet och gjort att japanska byggföretag ligger i frontlinjen för utveckling av ny teknik i byggandet. Ett uppmärksammat exempel på *joint-venture* är Shimizu Corporations samarbete med Mitsubishi Heavy Industries för att skapa ett automatiserat intelligent system (SMART) för byggande av skyskrapor med stålstomme [Miyatake & Kangari, 1993; Miyatake & Åhman, 1997 Kangari & Miyatake, 1997].

Multi skilled workers och multifunktionella team

I projekteringen ger multifunktionella team med kompetens från hela byggprocessen underlag för en integrering av projektering och produktionsplanering, samtidigt som frågor rörande byggbarhet och drift, underhåll och brukbarhet på ett naturligt sätt tas med i byggnadsutformningen. Teamet skall finnas med igenom hela byggprocessen, även om gruppmedlemmarnas roller kommer att förändras efterhand. Nyckeln till framgång är att teammedlemmarna följer med genom hela processen [Miles, 1996; Bertfelt, 1996].

Den traditionella uppdelningen av arbetskraften i specialiserade yrkesområden i produktionen har visat sig leda till mycket icke värdeskapande tid i form av väntan, förflyttning, förberedelser mm, liksom lång genomförandetid till följd av svårigheter med samordning av aktiviteter under okontrollerbara förhållanden på byggplatsen. Arbetsuppgifterna är mycket beroende av varandra, vilket gör att störningar skapar förseningar, vilket leder till motsättningar och låg motivation hos arbetarna. Lahdenperä [1995] föreslår därför en indelning i multifunktionella team, med hänsyn till vad som krävs för att färdigställa en funktionell och produktionsmässig enhet, en modul. Detta skulle leda till ett tydligt mål och en klar avgränsning av ansvarsområdet, samtidigt som beroendet mellan olika team skulle minska.

I teamens arbetsuppgifter skulle även ingå planering och uppföljning. Arbetarna skulle då bidra till framtagning och spridning av ny kunskap och den resurs som arbetarna utgör skulle utnyttjas till fullo, samtidigt som skillnaden mellan planering och kontroll och arbetarna minskas [Keijer, 1994; Lahdenperä, 1995]. Teammedlemmarna måste vara utbildade i flera arbetsuppgifter, de måste vara *multi skilled workers*, så att varje medlem i teamet i princip känner till alla teamets arbetsuppgifter [Lahdenperä, 1995]. Dessa principer har, vilket beskrivits tidigare i detta arbete, med framgång använts i fast industri och erfarenheter visar att multi-skilling ger goda resultat även i traditionell byggproduktion.

En ökande andel prefabricering i byggandet gör att arbetet på byggsplatsen blir mer inriktat på montering, vilket också minskar behovet av smal specialisering [Lahdenperä, 1995; Sarja & Hannus, 1995]. Sarja [Sarja & Hannus, 1995] föreslår därför en ny indelning av arbetskraften i tre grupper. *Platsmontörer* som utför all mekanisk installation, *elmontörer* som sköter eldragning och *möbelmontörer och ytskiktsarbetare*.

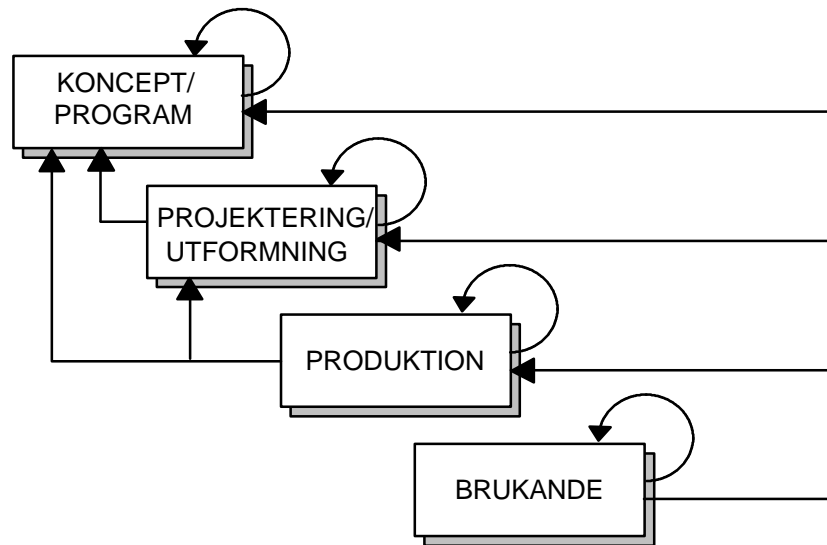
När frågan om mångkunniga arbetare tagits upp i intervjuerna har det framkommit att byggnadsarbetarna har tillräckliga kunskaper för att klara av ett utökat monteringsbyggande. En vidare utbildning av arbetarna till *multi skilled workers* kan fungera bra i viss utsträckning. Det förefaller dock inte meningsfullt att alla arbetare skall kunna alla arbetsuppgifter, det är förmodligen effektivare att t ex målning och matläggning överläts på specialiserade underentreprenörer.

Utvecklingen i byggandet går mot ökad prefabricering, vilket också leder till en förändrad roll för de traditionella underentreprenörerna. Prefableverantörerna genomför ofta monteringen av de system de tillverkar och underentreprenörer som traditionellt endast erbjudit arbetskraft tar i ökande utsträckning ansvar för material- och komponentleveranser, vilket ökar deras betydelse. Denna utveckling kan bli som i Japan, där utvecklingen av industriella processer i byggandet är relativt långt framskriden [Lahdenperä, 1995]. Detta innebär att leverantörerna tar ett helhetsansvar för de byggnadsenheter de levererar. Monteringen sker också snabbt när den utförs av specialiserad personal. Samtidigt finns det ett stort funktionellt och produktionstekniskt beroende mellan system från olika leverantörer. Detta gör att det blir svårt att dra ansvarsgränser och risken för störningar blir större. Genom användning av multifunktionella team elimineras många av dessa problem. Teamen kan antingen tillhöra en leverantör eller huvudentreprenören. Om teamen tillhör huvudentreprenören kan leverantören tillhandahålla en montageledare som leder monteringen av prefabenheter.

System och rutiner för erfarenhetsåterföring

För att uppfylla de krav på kvalitet och produktivitet som ställs på byggandet måste felaktiga och ineffektiva utföranden, metoder och processer elimineras. Därför är det viktigt att berörda parter får information om dessa, vilket kräver bra rutiner för erfarenhetsåterföring. Miles [1996] menar att en av de viktigaste funktionerna hos ett projektteam är att samla in och utnyttja erfarenheter i projektet, både tekniska och procedurmässiga, för att rätta till misstag och förbättra processerna. Det är enligt Miles inte acceptabelt att misstag upprepas i nästa skede i projektet eller i nästa projekt. Erfarenhetsåterföringen bör omfatta hela projektets

livscykel och erfarenheterna kan ha sitt ursprung i alla projektets skeden och kan vara användbara i olika faser i projektet [Kartam, 1996].



Figur 20 Vägar för erfarenhetsåterföring i projektets livscykel [Kartam, 1996]

De traditionella metoderna för insamling och användning av erfarenhetsdata har haft begränsad framgång beroende på brister i kommunikationen mellan bygge experter och mindre erfarna personer, ohanterliga format och dåliga klassificeringssystem som försvårat användning och uppdatering av data, svårigheter att integrera systemen med existerande verksamhet och att fokus främst riktats mot fel och brister, istället för en balans mellan positiva och negativa erfarenheter [Kartam, 1996].

Det effektivaste systemet för erfarenhetsåterföring är att införliva kompetens från samtliga skeden i projektet redan i projektets initialskede [jmf Kartam, 1996]. Problemet med traditionella system för erfarenhetsåterföring är dock att information huvudsakligen överförs verbalt vid någon form av möte och att kunskaperna blir begränsade till en liten grupp människor. För att effektivt kunna utnyttja erfarenheterna behövs dock en systematisk hantering av erfarenhetsdata, som kan utnyttjas både i projekteringsskedet som ett verktyg för att identifiera och hantera problemområden och som ett referensbibliotek i produktionsskedet om det skulle uppstå problem. Detta förutsätter att informationen är lagrad och klassificerad på ett sådant sätt att den är lätt tillgänglig och användbar [Kartam, 1996].

Insamling av erfarenhetsdata i byggprocessen kan vara problematiskt. Datamängden är mycket stor, projektledare och platschefer har ofta utvecklat egna metoder och procedurer utifrån egna erfarenheter och det råder ofta oenighet om riktighet hos metod- och teknikval. Kartam [1996] menar att det är viktigt att informationen bygger på praktiska erfarenheter och att orsaken till rekommendationer finns beskrivna. Eftersom unika och allmänt accepterade lösningar är sällsynta i byggandet bör även alternativa lösningar presenteras.

För att ett system för erfarenhetsåterföring skall fungera krävs en dokumentation av erfarenheter i projekten. Denna bör ske direkt och i ett standardiserat format.

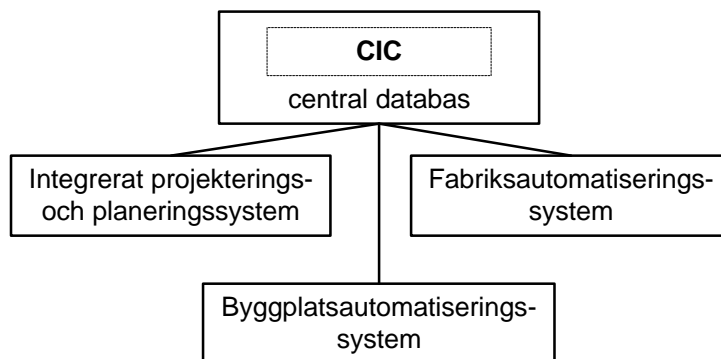
En vanlig form av erfarenhetsdokumentation är slutmöten. Nackdelen med denna typ av dokumentation är att många erfarenheter glöms bort under projektets gång och att dokumentationen sker i form av protokoll från mötet, vilket gör informationen svår att hitta [jmf Kartam, 1996].

Ett problem med mer formella system för dokumentation av erfarenheter är att det kan vara svårt att beskriva erfarenheterna på ett bra sätt och det kan vara svårt att ta till sig skrivet material. Ett sätt att effektivt förmedla erfarenheter är att komplettera med seriöst ordnade studiebesök på byggen. Studiebesöken kan ske i mindre grupper där det finns möjlighet att få diskutera frågeställningar och problem. På detta sätt utnyttjas den verbala informationsöverföringen effektivare och informationen får större spridning än vid t ex slutmöten. Det blir sedan också lättare att finna och ta till sig information från en databas.

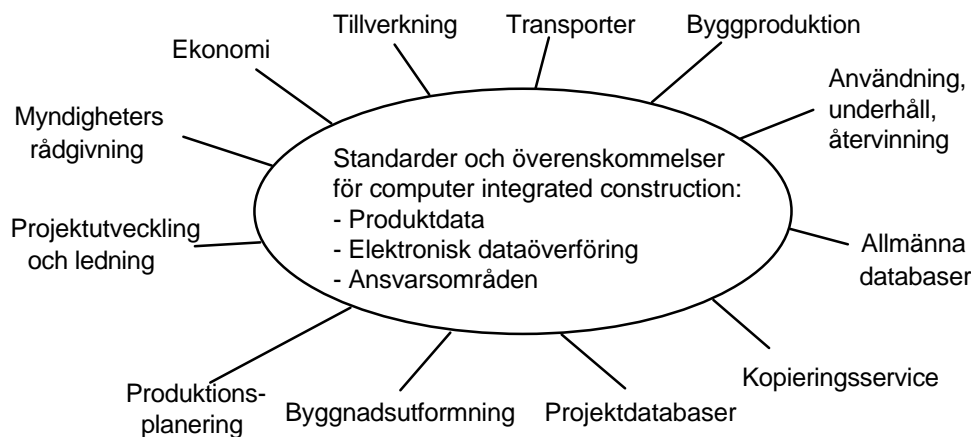
4.3 Computer Integrated Construction

Datorintegration i byggandet

Computer integrated construction (CIC) är en anpassning av CIM-koncept för byggindustrin och har som mål att utnyttja informationsteknik för att integrera planering, utformning, produktion, drift och förvaltning av byggnader [Sanvido & Medeiros, 1990]. CIC karaktäriseras av användning av informationsteknologi i byggprojektets olika funktioner, användning av informationsteknologi för att hantera data med ursprung både i och utanför projektet, ett integrerat informationsflöde som innebär att data kan överföras mellan olika parter utan någon manuell hantering [Sarja & Hannus, 1995] samt hög automatiseringsnivå [Miyatake & Kangari, 1993]. CIC kan delas upp i tre huvudområden: system för integration av projektering och produktionsplanering, system för fabriksautomatisering och system för automatisering på byggsplatsen. Systemen för respektive område är kopplade till en gemensam databas, som knyter samman dessa till ett komplett CIC-system. [Miyatake & Kangari, 1993].



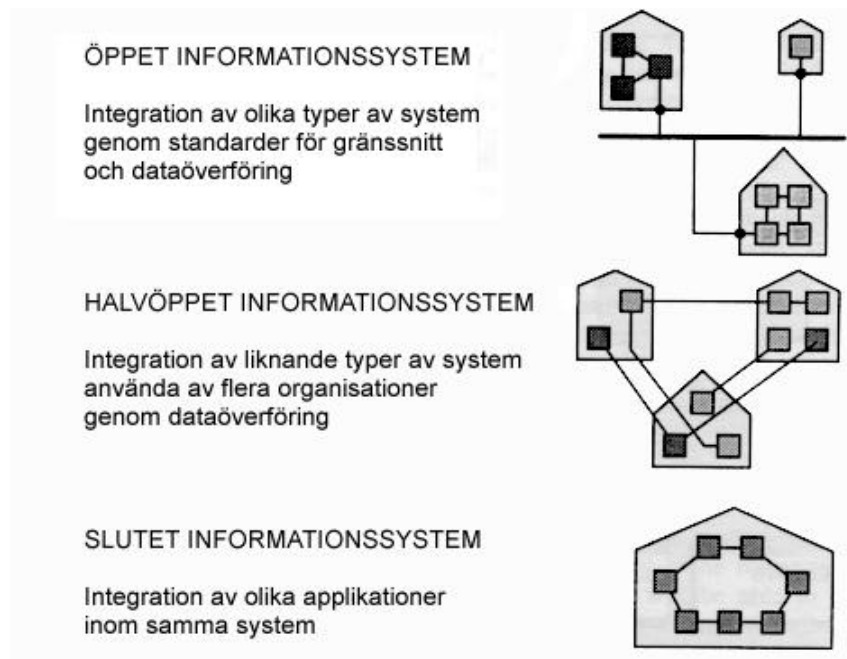
Figur 21 Computer integrated construction-modell [Miyatake & Kangari, 1993].



Figur 22 Grundläggande faktorer i CIC [Sarja & Hannus, 1995].

CIC-systemet består av ett antal verktyg för hantering och överföring av data, t ex databashantering, CAD-system, system för automatisering mm. Grundläggande för att integrationen skall fungera är att det finns ett etablerat system för kommunikation både mellan människor och datasystem [Miyatake & Kangari, 1993]. Detta förutsätter att det finns en uppsättning standarder och definitioner som är allmänt accepterade av alla parter, en processmodell [Sanvido & Medeiros, 1990].

Till skillnad från fast industri där produktutveckling, konstruktion och tillverkning ingår i samma företag så är byggindustrin uppdelad i många olika enheter med olika mål och långsiktiga affärspolicys. Integration av byggprocessens funktioner kan därför inte ske på basis av de enskilda företagen, utan behovet av en gemensam arkitektur för informationsteknologin är väsentligt [Sanvido & Medeiros, 1990]. Slutna, företagsegna informationssystem är visserligen en möjlighet för större företag som kontrollerar hela byggprocessen och har bl a utnyttjats av stora japanska byggföretag, men investeringskostnaden blir hög och användningsområdet begränsat till det egna företagets verksamhet. Flera organisationer kan också enas om redan existerande system som kan kommunicera med varandra. Beroende på hur spridd användningen av EDP-applikationen är kan lösningen hamna någonstans emellan ett öppet och ett slutet system. Denna lösning är vanlig i Sverige. Öppna informationssystem bygger på standardisering av gränssnitt och dataöverföring som möjliggör integrering av olika informationssystem, utan något långsiktigt samarbete mellan företag, den vanligaste situationen i byggindustrin [Sarja & Hannus, 1995]. Öppna informationssystem utesluter dock inte långsiktiga relationer mellan företag, tvärtom underlättas gemensamma utvecklingsinsatser om det finns en etablerat modell för integration av informationssystemen.



Figur 23 Schematisk beskrivning av informationssystem med olika öppenhetsgrad [Sarja & Hannus, 1995].

CIC medför fördelar i projektets alla skeden, både kostnads- och tidsmässiga. Miyatake & Kangari [1993] anför följande positiva effekter av införande av CIC-system:

- ❑ förbättrad produktivitet i produktion och projektering genom automatisering
- ❑ kostnadsreduktion
- ❑ optimering av projekttidplan
- ❑ kvalitetsförbättringar i projektering och produktion
- ❑ förbättringar i koordination och styrning
- ❑ integration i byggnadsutformningen
- ❑ flexibilitet i utformning och produktion av innovativa byggnader
- ❑ parallellt arbete vid olika avdelningar
- ❑ förbättrad kommunikation genom snabb överföring och tillgänglighet till data, bilder och kunskap
- ❑ undvikande av inmatning av samma data i projekterings- och produktionsprocessen
- ❑ ökade möjligheter till ytterligare robotisering i byggproduktionen
- ❑ möjligheter till elektronisk uppkoppling mot underentreprenörer, leverantörer, banker, försäkringsbolag och säljare.

Dessutom ändras yrkesrollerna om CIC införs, arbetsuppgifterna blir mer multidisciplinära genom integration av olika funktioner. CIC ger också underlag för införande av principer från *lean production*, t ex JIT-tänkande [Miyatake & Kangari, 1993]. Effekterna är så pass omfattande att en investering i ett CIC-system blir betalade relativt snabbt. Som exempel kan nämnas Shimizus SMART-projekt där integrerade datorsystem, robotar och byggsystem utvecklats, där investeringarna beräknas vara betalda på tre-fyra projekt [Miyatake & Åhman, 1997].

Produktmodellering

Som kärnan i ett CIC-system utnyttjas en produktmodell. En produktmodell är den logiska struktur i vilken byggnaden beskrivs i en dator [Wikforss, 1993]. En produktmodell bör samla alla data som är nödvändiga för genomförandet av ett byggprojekt. I praktiken har modellen formen av en central databas i vilken all data lagras och görs tillgänglig för samtliga inblandade i projektet. Syftet med användningen av en produktmodell är att informationsöverföring och informationshantering skall kunna göras automatiskt utan någon manuell behandling [Sarja & Hannus, 1995]. I form av en produktmodell kan data automatiskt överföras mellan de olika aktörernas datorapplikationer. Dessa kan sedan välja i vilken form informationen skall kunna hämtas ur modellen, vidarearbetas och presenteras. Detta förutsätter att en gemensam standard för dataöverföring utnyttjas, för att ingen manuell databehandling skall behövas [*Finnish Building Technology*, 1992; Wikforss, 1993; Sarja & Hannus, 1995].

Till skillnad från grafiskt baserad datorprojektering, innebär uppbyggnaden av en produktmodell ett objektorienterat förfaringssätt. Byggnadsmodellen byggs upp av objekt, t ex balkar och skivor, vilkas egenskaper, såsom geometri, material, läge, mm, finns definierade i databasen, och vilka får en logisk koppling till varandra. Modellen och modelluppbyggnaden kan åskådliggöras grafiskt som en tredimensionell modell i en grafisk applikation, men i databasen lagras endast logisk information. Grafiken genereras på nytt varje gång modellen öppnas [*Finnish Building Technology*, 1992; Sarja & Hannus, 1995; Edgar, 1996; Cederfeldt, 1997; Berg, 1997]. Integration av projektdatabas, tredimensionell grafik och produktionsplanering har visat sig förbättra såväl projekterings- som produktionsprocessen. Databasen ger underlag för förbättrad kommunikation och koordinering mellan de olika aktörerna genom hela byggprocessen, samtidigt som informationsflusterna mellan processens olika steg undviks [Reinschmidt m fl, 1991; Berg, 1997].

Den färdiga produktmodellen kan ses som en 'provmontering' av byggnaden, vilket förutsätter att produktionskompetens deltar vid utformningen av modellen. På så sätt säkras att modellen innehåller felfria, koordinerade och produktionsanpassade data vid produktionsstarten. Försök med objektorienterad produktmodellering har visat sig kunna ge helt felfria montage och montagetider som reducerats med upp till 20 %. Även kalkylering, inköp och leveransplanering effektiviseras tack vare den större noggrannheten i modellen. Den färdiga modellen ger stora möjligheter att producera olika typer av tillverkningshandlingar, till en marginell kostnad. Ritningar tas endast fram när de behövs och därmed undviks produktion av irrelevanta ritningar. Databasen kan också användas för produktion av CNC-filer för styrning av automatiska system [Edgar, 1996; Dahlquist, 1996; Cederfeldt, 1997].

Genom en relevant hierarkisk indelning av produktmodellen kan montageelement byggas upp i modellen [Edgar, 1996]. Detta innebär att byggnaden kan delas in i moduler med hänsyn till produktionstekniska och funktionella ställningstaganden, jämfört med traditionellt byggande då ansvarsfrågor varit avgörande. En systematisk hierarkisk uppbyggnad av databasen möjliggörs också en rationell hantering av byggmaterial, komponenter och installationer [Cederfeldt, 1997].

De möjligheter som en produktmodell kommer att öka i takt med att nya applikationer anpassade till byggproduktmodeller tas fram och standardiseringen av gränssnitt för dataöverföring fortskrider. Genom att koppla samman analys- och produktmodeller kan kvalitetsvinster göras bl a genom att det bara finns en originalmodell från analys till slutlig produktion och komponent- och knutpunktsdimensioneringen kan ske automatiskt. Kalkyleringen förenklas om kalkyleringsverktyg kan hämta data direkt ur modellen. Genom att koppla databasen till en erfarenhetsdatabas underlättas erfarenhetsåterföringen, samtidigt som det blir enklare att finna goda tekniska lösningar. Simuleringsteknik förenklar produktionsplaneringen och bidrar till att undvika problem i produktionen [*Finnish Building Technology*, 1992; Edgar, 1996; Cederfeldt, 1997; Berg, 1997]. Byggprocessen kan förändras radikalt, med högre kvalitet, kortare projektider och lägre kostnader som resultat, om dessa möjligheter utnyttjas fullt ut. Men det förutsätter en ny syn på byggprocessen, med tidig integration av projekteringskompetens och mer långsiktighet i relationerna mellan olika aktörer.

Automatisering

De främsta möjligheterna till automatisering och robotisering i byggandet finns naturligtvis i förtillverkningen. Förtillverkning av komponenter i fabriksmiljö liknar i huvudsak annan fabriksstillverkning och det är därför möjligt att överföra teknik från annan fast industri. Den ökade utvecklingen av flexibla tillverkningssystem ger tillverkarna nya möjligheter att erbjuda ett brett sortiment av standardprodukter och specialprodukter.

Förutsättningarna för automatisering på byggplatsen skiljer sig mycket från de på fabriken. Produktionen förändras dagligen vilket gör det svårt att skapa industriliknande förhållanden och byggandet innebär att många olika moment skall utföras, vilket kräver olika robotar för olika konstruktioner. Detta, tillsammans med tekniknivån på dagens robotar gör att det är mer fördelaktigt att utveckla halvautomatiska system eller fjärrstyrda maskiner, än att automatisera fullt ut [Miyatake & Åhman, 1997].

Det finns dock exempel på fungerande helautomatiska system för byggplatsen. Autotruckar utnyttjas alltmer på japanska arbetsplatser och i det tidigare nämnda SMART-systemet utnyttjas robotar för montering och sammansvetsning av stålkomponenter, montering av prefabelement och målning. Systemet är idag användbart för höghus som innehåller en stor andel återkommande moment. Erfarenheterna av användning av systemet visar att införandet av robotar innebär en markant ökning av säkerheten på arbetsplatsen [Miyatake & Åhman, 1997].

Andra exempel på användning av automatiserade system är golvavjämning vid gjutning av betonggolv, murning och automatisk utsättning och positionering som möjliggör arbete med mycket små toleranser [Haas & Åhman, 1996; Rolfsdotter-Jansson, 1996]. Manipulatorer med flexibla robotarmar, som kan utnyttjas till olika arbetsuppgifter på byggarbetsplatsen är ett annat utvecklingsområde. De kan t ex underlätta materialhantering och utnyttjas vid armering och schaktarbeten. Det har visat sig att både kostnader och tidsåtgång halverats vid användning av robotteknik för dessa arbetsuppgifter, samtidigt som miljön och säkerheten blir bättre [O'Brien & Åhman, 1996]. Utveckling av flexibla robotar som kan utnyttjas till olika kon-

struktioner och olika arbetsuppgifter torde vara en förutsättning för ett bredare genombrott för automatisering på byggplatsen.

En förutsättning för att automatisering skall bli kostnadseffektivt är att byggnadsutformningen är anpassad till produktionsförutsättningarna. Ett modulsystem där standardisering, variantbegränsning, kompositstrukturer och stora enheter utnyttjas underlättar automatisering. En hierarkisk uppdelning där parallell montering av modulariserade enheter kan ske på fabrik begränsar arbetet på byggplatsen till att förflytta enheter till rätt position och sammanfoga dem, vilket också underlättar införandet av robotar [Lahdenperä, 1995; O'Brien & Åhman, 1996; Miyatake & Åhman, 1997].

4.4 Byggnadsutformning och byggteknik

Mål och metoder

Målet med byggnadsutformningen är att åstadkomma en produkt som uppfyller vissa funktionella och estetiska krav under vissa ekonomiska villkor. Kostnader måste vägas mot funktion. Byggnaden kan ses som en kombination av ett antal tekniska system som har bestämda funktioner och som interagerar med varandra. Ett industriellt byggande kräver system som bidrar till rationalitet även vid individuell och småskalig produktion.

Byggnaden måste betraktas ur ett livscykelperspektiv och målen för byggnadsutformningen blir därför att åstadkomma egenskaper som ger så låg livscykelkostnad som möjligt, samtidigt som de ställda kraven uppfylls. Ur produktionshänseende bör en god byggbarhet eftersträvas vid systemval och systemutformning. Systemen måste också vara flexibla, dvs de ingående komponenterna måste ha så pass god utbytbarhet, anpassbarhet och överensstämmelse att systemen går att utnyttja i olika projekt utan några omfattande ändringar. I förvaltningsskedet bör utformningen underlätta drift, underhåll och renovering, samt, beroende på byggnadens användning och möjliga framtida användning, vara så flexibel att nödvändiga ändringar kan göras för att passa olika brukare. Systemutformningen bör också möjliggöra demontering och återanvändning.

Metoderna för att uppnå de eftersökta egenskaperna är prefabricering, standardisering, funktionsindelning, samordning och integration, dvs modulindelning enligt den modell som utnyttjas i fast industri. De problem som hanteras kan hänföras till problemområdet sammanbyggnadsteknik, som behandlar samverkan mellan byggnadens fysiska och funktionella enheter, byggandets aktörer och byggprocessens faser.

Vad som är viktigt att uppmärksamma är den starka koppling som finns mellan byggnadsutformning och byggprocess. Ett rationellt byggande förutsätter såväl en rationell byggnadsutformning som en rationell byggprocess och dessa måste utformas parallellt och samordnas för att de fulla fördelarna skall kunna utnyttjas.

Sammanbyggnadsteknik

Sammanbyggnadsteknik är beteckningen på det problemområde som behandlar samverkan mellan byggnadssystem, element och komponenter. Det är inte enbart de fysiska anslutningarna som tillhör problemområdet, utan även angränsande utrymmen och funktioner ingår. Dessutom räknas samverkan mellan olika aktörer, gränssnitten mellan deras respektive ansvarsområden samt informationsöverföringen mellan olika skeden i byggprocessen som delar i problemområdet [Appelqvist & Keijer, 1995]. Det har tidigare framkommit att detta problemområde är viktigt, såväl i den fysiska byggnadsutformningen som vid utformning av process och organisation. I detta avsnitt behandlas främst samverkan mellan element och komponenter, samt mellan system och funktioner.

Fysiska anslutningar

Anslutningar mellan element eller komponenter är, som tidigare nämnts, en av de viktigaste delarna i byggnadskonstruktionen. Erfarenheterna visar att det ofta är anslutningarna mellan komponenter som ger upphov till felaktigheter i byggkonstruktioner. Beroende på var anslutningen är placerad ställs ett stort antal funktionella krav på denna, till vilka hänsyn måste tas vid utformningen. Hänsyn kan behövas tas till bl a [Blach & Kjær, 1975; *FIP*, 1994]:

- kraftöverföring
- rörelsefrihet
- ång- och vattentäthet
- ljudisolering
- värmeisolering
- deformationer och rörelseupptagningsförmåga
- dynamiskt svar på vibrationer
- hållbarhet
- estetik
- demonterbarhet, utbytbarhet och underhållsmöjligheter
- brandmotstånd

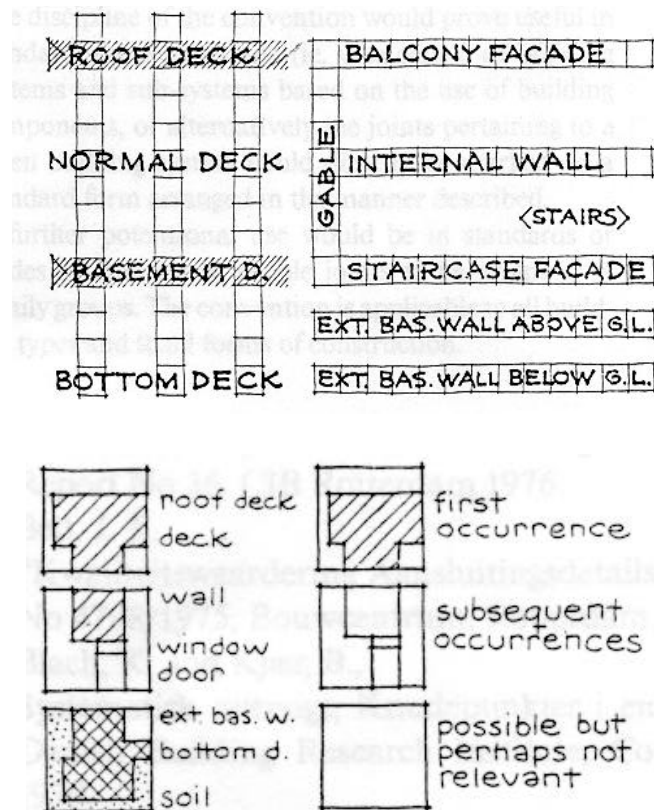
Dessutom måste hänsyn tas till dynamiska faktorer. När till exempel fukt- och vattentätning används måste anslutningarna utformas så att tätningen inte skadas av rörelser på grund av laster, temperaturförändringar, krympning eller krypning [*FIP*, 1994]. Blach [m fl, 1986] konstaterar också att anslutningarna inte kan utformas för sig, utan måste ses som en del i byggsystemet de tillhör.

Vid utformningen måste också hänsyn tas till monterbarheten hos anslutningarna. Det innebär att ta hänsyn till faktorer som [Blach & Kjær, 1975]:

- monteringsordning
- justering
- måttnoggrannhet och toleranser
- fogmaterial och sortrenhet
- möten mellan anslutningar
- formoberoende

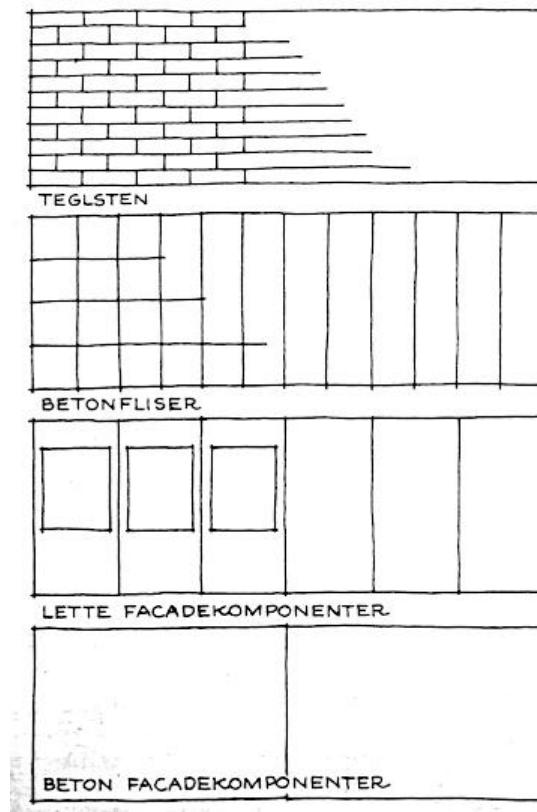
För att konstruktören skall kunna hantera anslutningarna på ett effektivt sätt har CIB utformat en systematisk översikt av anslutningar av nyckelkaraktär som före-

kommer i byggnader [Blach m fl, 1986]. Systemet skall möjliggöra identifikation och presentation av anslutningsdetaljer, för att de skall kunna analyseras med avseende på exempelvis kompatibilitet och utbytbarhet, för byggsystem på en öppen marknad. Bakgrunden till modellen är att elementtillverkare lämnar allt för bristfällig information om hur elementen skall infogas i byggnadsstrukturen och den är främst tänkt som ett verktyg vid utveckling av byggsystem och delsystem.



Figur 24 Schema för identifikation av anslutningar i en byggnad [Blach m fl, 1986].

I princip bör så få anslutningar som möjligt eftersträvas, dels beroende på att fler anslutningar ger fler känsliga punkter, dels för att få element ger en rationellare hantering på byggplatsen, med mindre transportbehov och färre lyft. Dock påverkar egenskaperna hos de element som skall sammanfogas. Komponenter som påverkas mycket av fukt- och temperaturvariationer eller som beroende på tillverkningstekniken kan avvika mycket från gällande mått bör tillverkas med relativt små komponentstorlekar. Storleken hos elementen måste också baseras på möjligheterna till ett enkelt montage. Därför kan det krävas mindre elementstorlekar än om hänsyn endast tas till kravet på minsta antal fogar [Blach & Kjær, 1975].



Figur 25 Exempel på olika komponenter där tillverkning och hantering styr storleken [Blach & Kjær, 1975].

System och funktioner

Samverkan mellan byggnadens tekniska system är en avgörande faktor för styrning och ekonomi i byggandet. En flexibel samverkan har också en väsentlig betydelse för planlösningar, byggnadsanvändning samt underhåll, reparationer och modifieringar. Det är inte möjligt att åstadkomma ett optimalt slutresultat om de tekniska systemen väljs oberoende av varandra. Sambanden mellan de tekniska systemen kan klassificeras enligt följande [Sarja & Hannus, 1995]:

- Ömsesidigt uteslutande system
- Ömsesidigt kompatibla system
- Ömsesidigt stödjande system
- Integrerbara system

För att åstadkomma flexibilitet krävs det i allmänhet att systemen är så oberoende av varandra som möjligt. System med olika teknisk livslängd bör inte integreras med varandra, eftersom det försvårar underhåll, reparationer och utbyte [Sarja & Hannus, 1995; Lahdenperä, 1995]. Ur funktionalitetsperspektiv är det viktigt att den bärande konstruktionen inte begränsar möjligheterna till placering av kompletterande konstruktioner eller installationer [Sarja & Hannus, 1995].

Trots den stora betydelse som valen av tekniska system har finns det mycket dåligt med underlag för samordning av tekniska system, framför allt för samordning av stomme och installationer. De tekniska systemen väljs utifrån de krav som brukar-

det av byggnaden ställer. Det är därför viktigt att en riktig kravanalys görs innan systemen väljs, t ex genom en QFD-analys.

Flexibilitet

Flexibilitet är ett begrepp som inte är helt entydigt. Vad som avses med flexibilitet beror på ur vilket perspektiv frågan ses. Vid systemutformningen innebär flexibilitet en sådan utformning av byggnadssystemen att det är möjligt att anpassa dem till olika projekt med olika förutsättningar, att det finns en sådan överensstämmelse att det är möjligt att kombinera olika tekniska system för att på bästa sätt uppfylla förutsättningarna samt att det finns en utbytbarhet mellan olika tekniska lösningar både inom och mellan systemen. En ökad standardisering av anslutningar, i kombination med måttamordning, ökar möjligheterna till sammanbyggnad av komponenter och bidrar därmed till en större valfrihet på projekteringsstadiet, vilket bidrar till en ökad flexibilitet i byggnadsutformningen [Blach & Kjær, 1987].

Ökat boendeinflytande ställer krav på flexibilitet, både under projektering och i bruksskedet. Vid utformning av enskilda projekt innebär det att det finns möjlighet att anpassa byggnaden till önskemålen hos den enskilde brukaren. Under bruksskedet innebär flexibilitet att det är möjligt att anpassa byggnaden till olika användningsområden och olika brukare.

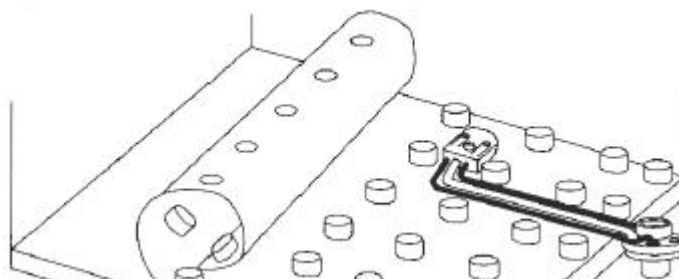
En ökad flexibilitet innebär i de flesta fall ökade kostnader. Dessa kostnader måste vägas mot framtida besparingar och de fördelar som kan uppnås, exempelvis genom minskade olägenheter vid ändringsarbeten och reparationer under brukstiden och möjlighet till boendeanpassning av bostäder även efter byggnadens färdigställande [Blach & Kjær, 1987]. En väl genomarbetad systemlösning bör dock i många fall kunna ge både en mer rationell produktion och en flexibel produkt, om såväl montering som demontering vägs in vid utformningen.

Byggnadens bärande konstruktion avgör hur stor funktionsmässig flexibilitet som kan uppnås genom att flytta, lägga till eller ta bort rumsenheter. För att åstadkomma så stor flexibilitet som möjligt bör vertikala bärande delar placeras hänsyn till förväntade framtida rumskombinationer [Blach & Kjær, 1987]. Lägenhetsstora fria spännvidder hos bjälklagen anses ibland kunna öka flexibiliteten. Adler [1995] konstaterar dock att lägenhetsstora spännvidder inte är någon garanti för goda bruksegenskaper hos bostäderna, det krävs god planering för att detta skall uppnås. Stora fria spännvidder hos bjälklagen förutsätter också spännarmerade konstruktioner, vilket begränsar flexibiliteten i den färdiga byggnaden genom att vertikal håltagning försvåras.

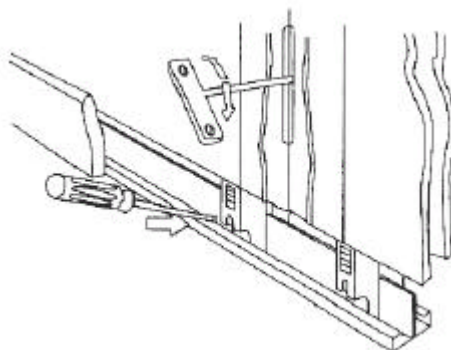
I Holland har man tagit fram ett byggkoncept kallat *open building system* som bygger på en funktionell separation av byggnadens stomme och skal och de invändiga kompletteringarna. Detta ger stora möjligheter till individuell utformning av lägenheter också ganska sent i byggprocessen. Genom 'plug-in'-teknik kan installationerna för varje enskild lägenhet snabbt och enkelt utföras. Denna tekniska lösning gör det också lätt att förändra planlösningen för byggnaden. Genom att tekniskt skilja på skal och invändig komplettering, vilka har olika teknisk och praktisk livslängd ger bättre livscykeekonomi och att den åtskillnad mellan olika ansvar-

sområden som blir resultatet av en sådan uppdelning ger ett effektivare genomförande av processen [Lahdenperä, 1995].

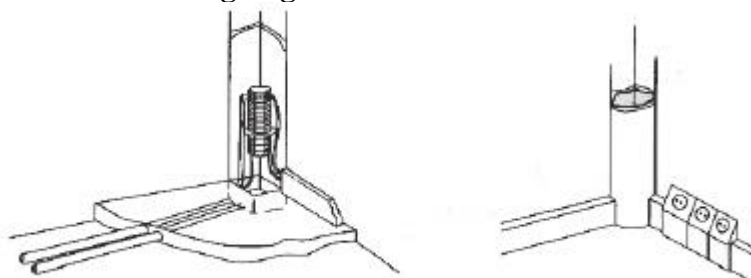
Rördragning i flytande golv



Flyttbara mellanväggar



Flexibel eldragning i socklar

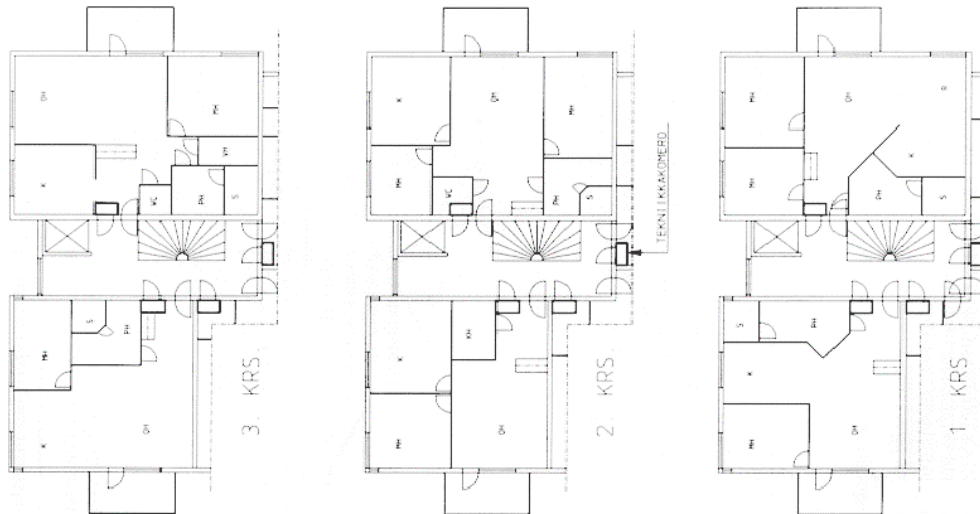


Figur 26 Exempel på system för invändiga kompletteringar. Esprit Infill System är utformat enligt Open Building-filosofin [Lahdenperä, 1995].

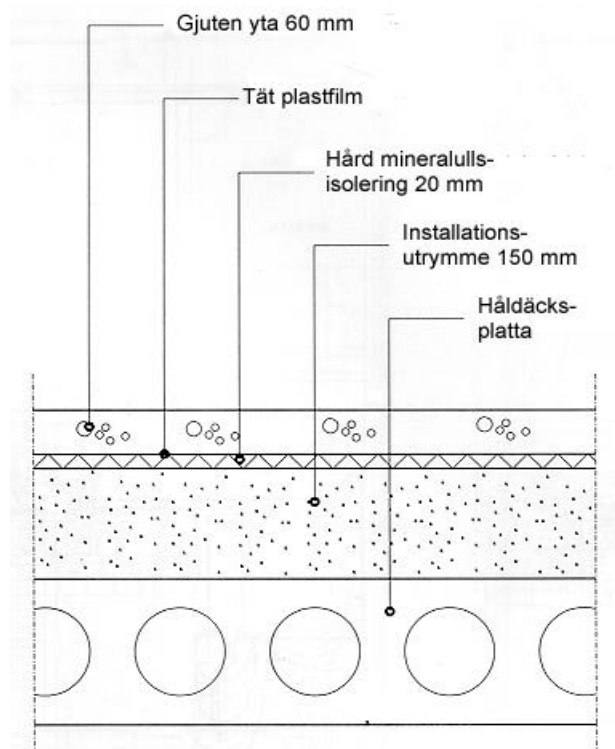
En stor begränsande faktor ur flexibilitetshänseende är installationerna. VS-installationer kräver föringsvägar och även visst fall, vilket begränsar möjligheterna till placering av våtutrymmen [Blach & Kjær, 1987]. Idag gjuts installationer ofta in i stommen, vilket gör att de är svåra att komma åt eller ändra. För att åstadkomma så stor flexibilitet som möjligt bör en separation av olika funktioner och tekniska system åstadkommas i så hög grad som möjligt [jmf Erixon m fl, 1994]. Sarja [Sarja & Hannus, 1995] menar att el- och VS-installationer lämpligen bör placeras i installationsgolv eller i hålrum i väggar och bjälklag. Installationsgolv kan dock vara känsligt i bostadshus med hänsyn till ljudkrav.

En grupp finska företag har tagit fram ett byggsystem kallat *Kerrostalo 3000* (Flervåningshus 3000) där bjälklagstjockleken ökas med 200 mm. På så sätt kan installationer placeras ovanpå bjälklagselementen i ett installationsutrymme, vilket ger möjlighet till en mer individuell planlösning. Installationer dras också ovanför

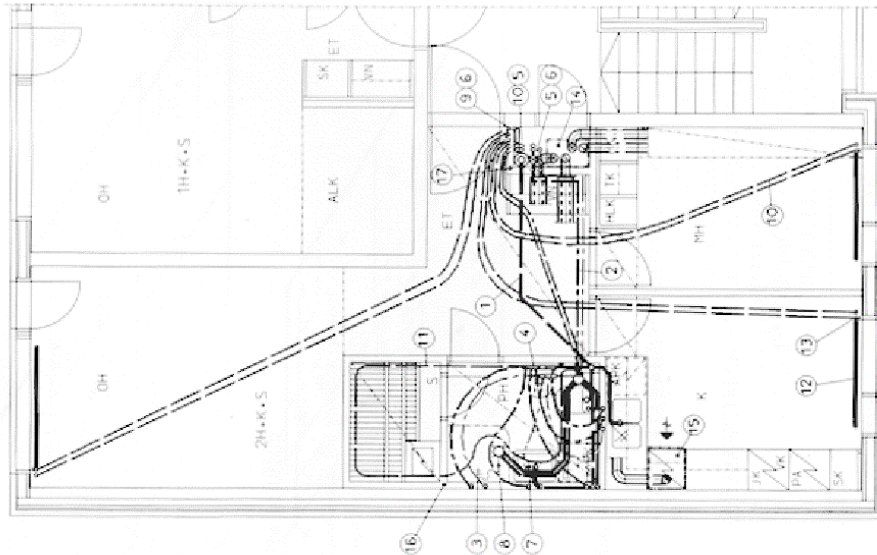
ett undertak. De vertikala schakten placeras i anslutning till trapphusen och blir på så sätt inspekterbara utifrån, samtidigt som schaktets placering inte begränsar lägenhetsutformningen på samma sätt som den hade gjort om den placerats mitt i lägenheten eller vid en yttervägg.



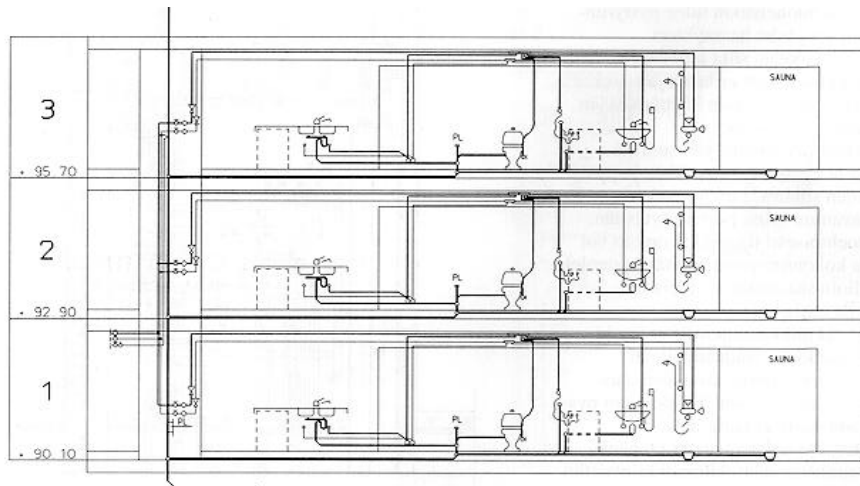
Figur 27 Kerrostalo 3000 ger möjlighet till olika planlösningar för lägenheter ovanför varandra [Kerrostalo 3000].



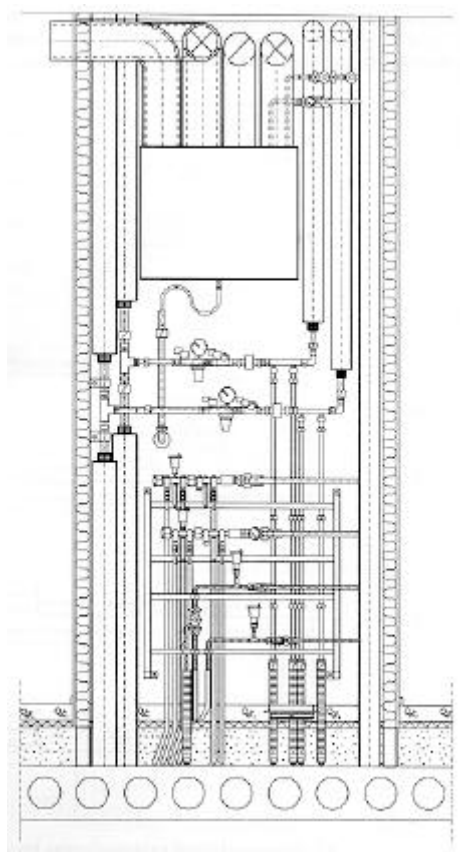
Figur 28 Byggteknisk lösning med ett 150 mm högt installationsutrymme ovanför håldäcksplattan [Kerrostalo 3000].



Figur 29 Ledningarna kan dras fritt i golvet från ett schakt vid trapphuset [Kerrostalo 3000].



Figur 30 Exempel på ledningsdragning [Kerrostalo 3000].



Figur 31 Exempel på utformning av schaktmodul [Kerrostalo 3000].

Byggbarhet och design for construction

Byggbarhet är ett område som i många fall ägnas alltför lite, om något, uppmärksamhet vid bygnadsutformningen. Med byggbarhet avses en bygnadsutformning som tar hänsyn till tillverkning, transport och montering samt möjlighet till förtillverkning, utan att ge avkall på funktionskraven hos den färdiga byggnaden. Construction industry Institute definierar byggbarhet som (fritt översatt) 'den optimala användningen av kunskap och erfarenhet av byggande i planering, projektering, inköp och produktion för att uppnå projektets samlade syfte' [Lautanala, 1995]. Lautanala sätter också in byggbarheten i ett *lean construction*-perspektiv genom att konstatera att dålig byggbarhet leder till onödig resursförbrukning i form av omarbetningar, icke värdeskapande aktiviteter och dålig produktivitet. Byggbarhet kan då ses som ett mått på vad som blivit byggt i förhållande till entreprenörens resurser och med samtidigt hänsynstagande till kundens behov.

Kostnaderna för dålig byggbarhet kan vara svåra att mäta, men studier visar att besparingar på 5-12 % av projektkostnaden är möjliga att uppnå genom satsningar på bättre byggbarhet [Koskela, 1993; Lautanala, 1995; Kartam, 1996]. Kostnader för kvalitetsbrister kan enligt Lautanala också ge en uppskattning av kostnaden för dålig byggbarhet.

Vid monteringsbyggande går en stor del av den totala tiden åt till efterarbete av typen 'lappning och lagning', dvs spackling, igjutning, slipning, fogning mm, vilket i stor utsträckning kan hänföras till bristande byggbarhet. En jämförande studie

mellan traditionellt byggande och monteringsbyggande vid Sticklingehöjden på Lidingö i Stockholm [Pettersson, 1995] visade att så mycket som 48 % av tiden för stomdrivning vid monteringsbyggande gick åt till denna typ av arbete. Hur mycket produktiviteten minskar till följd av svårigheter att passa in eller fästa element finns det inga siffror på, men flera av de intervjuade platscheferna tyckte anpassningen mellan olika element och system var för dålig.

Lautanala [1995] menar att för att åstadkomma god byggbarhet måste två problem lösas. Först måste det klargöras vad som gör en byggnad enkel att tillverka och montera, sedan hur byggnaden kan utformas i enlighet med detta. För att åstadkomma detta föreslår han en processororienterad modell för *design for construction* (DFC). Syftet med DFC är att förbättra samverkan mellan projektering och produktion. Modellen är mer omfattande än DFMA och omfattar två nivåer, företagsnivå och projektnivå. På företagsnivå hanterar modellen strategiska frågor: fastställande riktlinjer för byggbarhet, analys av genomförda projekt och vidtagande av lämpliga åtgärder. Statistisk analys av genomförda projekt är en viktig del i DFC, med hjälp av ett begränsat antal mått bedöms byggbarheten i dessa och erhållna data används för att definiera nya mått. DFC på företagsnivå stöder kontinuerlig förbättring och organisatoriskt lärande.

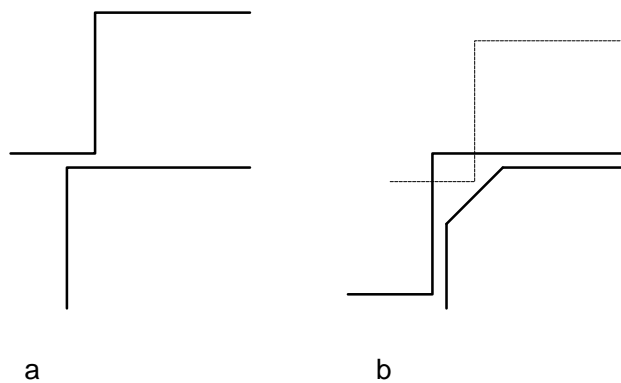
På projektnivå är DFC-processen operativt inriktad och beskriver det byggbarhetsrelaterade informationsflödet mellan byggprocessens huvudaktiviteter. Processen utgår från kundkrav och använder företagets strategiska riktlinjer för en första kontroll. Riktlinjernas syfte är inte att välja den optimala lösningen, utan att göra projektörerna uppmärksamma på den inverkan olika alternativ har på byggandet, exempelvis ökade kostnader och möjliga problem. En analys av byggbarheten görs genom att utvärdera kompatibiliteten hos produktmodellen och produktionsplaneringen, och jämföra dessa med referensdata.

I praktiken kommer ett DFC-system att ta form av en uppsättning verktyg. Lautanala [1995] anger följande exempel på lämpliga verktyg:

- Verktyg för att identifiera byggbarhetsfaktorer och ta fram referensdata.
- Verktyg för att utvärdera byggbarheten, dvs verktyg motsvarande DFMA i den fasta industrin.
- Verktyg som stöder teamarbete och samarbete mellan projektering, planering och produktion, till exempel QFD.
- Verktyg för erfarenhetsåterföring och utvärdering av genomförda projekt.

Användning av DFMA vid byggnadsutformningen

DFMA är verktyg främst framtagna för serieproduktion med korta monteringsstider. Men erfarenheter visar att tillämpning av principer som ingår i DFMA vid även kan vara verkningsfullt vid monteringsbyggande. En av de intervjuade platscheferna berättade om några förändringar som gjorts för att förenkla monteringen av prefabelement av trä. Bland annat hade syllens fasats för att det skulle gå enklare att lyfta väggelement på plats, en princip som ingår i DFMA. Denna förändring gjordes på erfarenhetsmässiga grunder och inte efter en DFMA-analys, men exemplet visar att DFMA är relevant för monteringsbyggande, åtminstone delvis. För att en DFC-modell skall fungera är det dock nödvändigt att riktlinjer speciellt framtagna för byggandet utnyttjas.



Figur 32 Exempel på åtgärd som underlättar elementmontering. Fasning av syllen underlättar inpassning av väggelementet.

En fallstudie utförd av VTT som jämförde produktiviteten vid utformning och byggande med förtillverkade betongelement från tre olika länder, beskriven av Lautanala [1995], visade att införandet av produktstandarder som uppfyller produktionskraven, gemensamt utarbetade av representanter från konstruktion och produktion, ger väsentligt bättre produktivitet, även i projekteringen. Detta beror på att samtidigt som byggbarheten förbättras, får projekteringen mallar för sitt arbete. I det studerade fallet var den nedlagda arbetstiden i projekteringen bara $\frac{1}{4}$ av den högsta, där ingen standard använts och projektering och produktion var separerade. Lautanala menar att det är möjligt att reducera arbetskostnaden i prefab-betongtillverkning med upp till 50 % om byggbarheten förbättras. Erfarenheterna från fallstudien stämmer bra överrens med erfarenheterna från användning av DFMA i den fasta industrin, där inte bara produktionen blir effektivare, utan även produktutvecklingen

Byggbarhet i praktiken

Exemplet med syllen visar hur relativt små förändringar kan ge bättre byggbarhet. Utformning av anslutningar så att monteringen kan ske uppifrån och inifrån, färdigmonterade spikvinklar för enkel placering och infästning av takstolar, samt utformning så att alla förband kan skruvas för enkel demontering och justering är några andra förändringar som visat sig ge bättre monterbarhet och därmed snabbare montering. Olika material i skarvarna bör undvikas, eftersom det lätt skapar problem i monteringen. Överhuvudtaget bör anslutningarna utföras på så att risken för skador minimeras. Det har också visat sig att ett tidigt metodval resulterar i en bättre utformning där anslutningarna är anpassade för montering.

Erfarenheten visar att det är viktigt med god kommunikation mellan konstruktör, prefabproduktionen och platsproduktionen för att få ett bra resultat. Ofta måste monterbarheten vägas mot funktion och en produktion utan flaskhalsar, vilket gör att utformningen kanske inte blir optimal ur monteringshänseende. Med en väl fungerande DFC-process får projektering, planering och produktion gemensamma utvärderingsverktyg, vilket underlättar samordningen mellan funktion, planering och byggbarhet.

Standardisering och modulmåttssamordning

Standardisering i bostadsbyggandet är en känslig fråga. Standardisering är förknippat med 60- och 70-talens massproducerade bostäder, där estetik fick stå tillbaka för en rationell produktion med starkt standardiserade element. Resultatet blev stereotypa byggnader utan större variationer arkitektoniskt sett [jmf *FIP*, 1994; Lahdenperä, 1995]. Standardisering i byggandet ses dock oftast som positivt, så länge det bidrar till en rationell produktion och inte styr de estetiska aspekterna.

En hög grad av standardisering av element reducerar kostnaderna och medför att byggnader och system kan erbjudas till ett garanterat pris. Standardiserade komponenter, element och system bör därför användas där så är möjligt och lösningar och detaljer som ej följer standard bör undvikas. På samma sätt bör upprepningseffekter eftersträvas, ju färre olika element eller komponenter som används, desto effektivare blir produktionen och desto lägre blir kostnaderna. I projekteringskedet kan tid sparas genom att tidsödande rutinarbete ersätts med färdiga detaljlösningar [*FIP*, 1994; Lahdenperä, 1995; *Betongelement*, 1997].

Standardisering i olika former ger en gemensam bas för utformning av byggnader. Samtidigt finns det en risk att en alltför strikt eller omfattande standardisering verkar hämmande på fortsatt teknikutveckling. Variantreduktion genom standardisering och upprepning är inte ett mål i sig utan ett hjälpmedel i byggnadsutformningen.

Standardisering bör genomföras på en lämplig hierarkisk nivå, så att rationell produktion och effektiv förtillverkning kombineras med flexibilitet och frihet i utformningen. På högre nivåer, byggnadsnivå eller modulnivå, bör standardiseringen främst röra gränssnittsutformningen, medan standardisering på lägre nivåer rör komponenter ingående i specifika system. [Lahdenperä, 1995]. Standardisering bör i första hand eftersträvas för detaljer, tvärsnitt, anslutningar och typiserade basprodukter med hänsyn till modulmåttkoordination, snarare än en total standardisering av komponenter.

Modulmåttkoordinering ger en grund för en rationell varianthantering och en ekonomisk produktion, oavsett vilken byggmetod som används. Användningen av modulmåttkoordination skall inte ses som en begränsning för planeringen utan som ett verktyg för att åstadkomma ett systematiskt arbete och ekonomi och förenkla anslutningar och detaljer [*Modul ABC*, 1968; *FIP*, 1994].

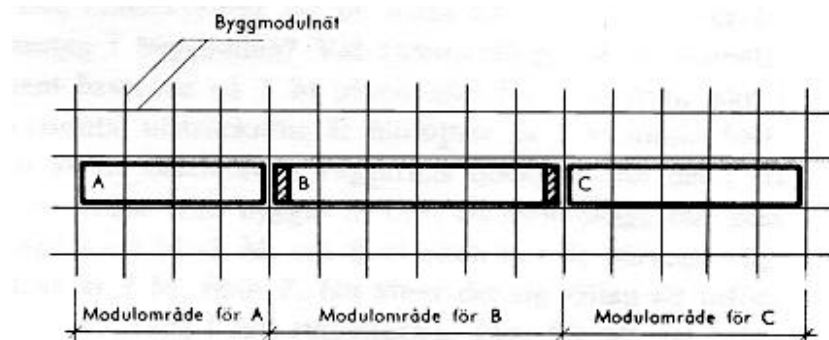
Sarja [1989; Sarja & Hannus, 1995] menar att tillämpning av måttstandarder på alla byggnadens hierarkiska nivåer är nödvändigt för att åstadkomma kompatibilitet mellan olika enheter i byggnadssystemen. I TAT ingår därför ett dimensionellt system uppdelat på två delar, dimensionskoordinering och anslutningskoordinering. Fördelarna med det dimensionella systemet är, enligt Sarja, att det ökar precisionen i utformningen och reducerar felaktigheter, att det bidrar till ökad integration av byggprocessen genom kompatibilitet mellan olika system och produkter från olika tillverkare, att användbarheten hos byggnaden ökar, att utbytbarheten hos komponenter och moduler ökar och utvecklandet av kvalitetssäkring genom systematisk specifikation av standarder för måttnoggrannhet och kompatibilitet. Sarja föresprå-

kar en strikt tillämpning av måttssystemet på alla nivåer, där varje enhet hålls inom gränserna för det egna modulområdet.

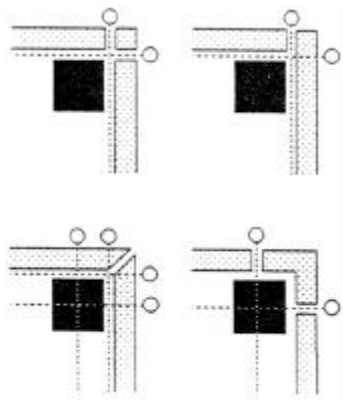
Hierarkisk nivå	Anslutningsdimensionering Rekommenderade mått för utformning, n×	Noggrannhetsklass Basnivå Hög nivå
Byggnad	Beroende av lägre nivåer	± 20 mm ± 10 mm
Del av byggnad	Beroende av lägre nivåer	± 15 mm ± 10 mm
Modul	1 M 3 M	± 10 mm ± 5 mm
Komponent	0,5 M 1 M	± 5 mm ± 3 mm
Baselement	5 mm 10 mm	± 1 mm ± 1 mm

Tabell 2 Huvudprinciper för det dimensionella systemet i TAT på olika hierarkiska nivåer [Sarja & Hannus, 1995]

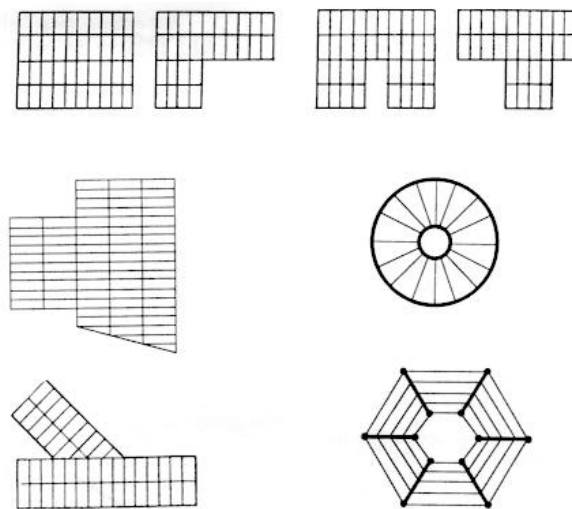
Utnyttjandet av modulmått förenklar variation av planlösningar och arkitektonisk utformning i projekteringskedet [Betongelement, 1997]. För att få flexibilitet i bruksstadiet, utan att tillpassning av element skall behöva göras på plats, är modulmåtkoordinering nödvändig, enligt Blach och Kjær [1987]. I produktionskedet underlättar modulmåtkoordinering kommunikation med arkitekter och konstruktörer och det blir enklare att ange utfört arbete vid uppföljning.



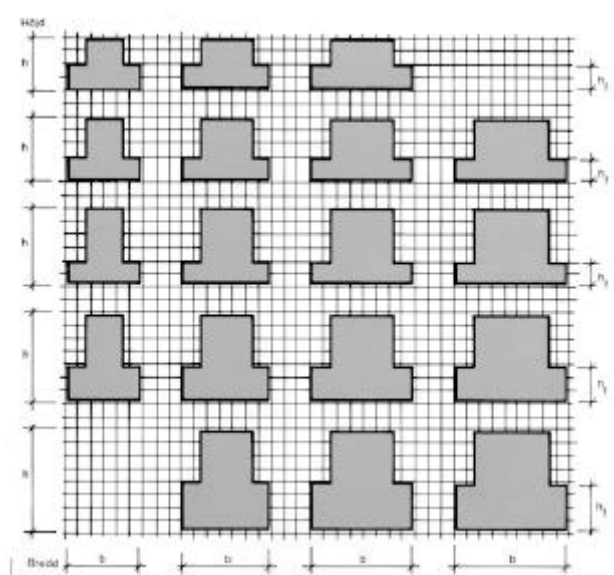
Figur 33 Modulnät och exempel på modulområde för komponenter [Modul ABC, 1968]



Figur 34 Exempel på modulnät och placering av komponenter[FIP, 1994].



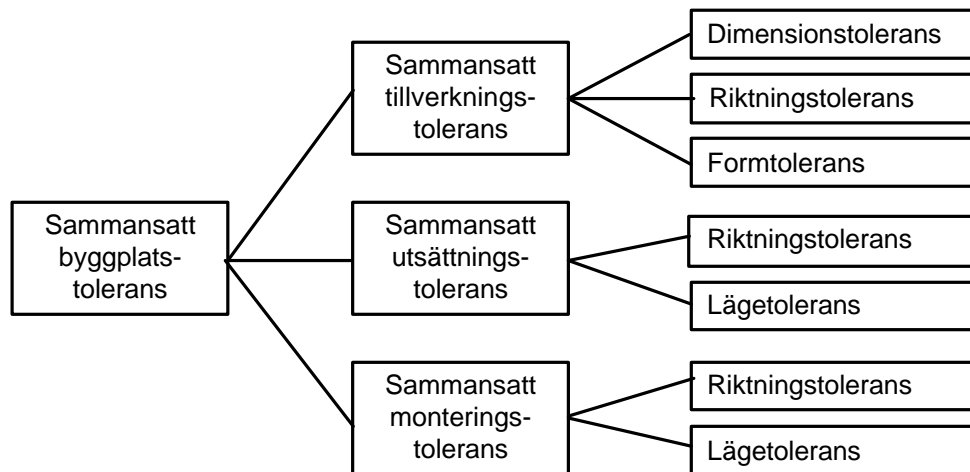
Figur 35 Exempel på möjligheter till utformning av planer [FIP, 1994].



Figur 36 Exempel på komponentstandardisering. Betongelementföreningens produktstandard för flänsbalkar [Betongelement, 1997].

Modulmåtsättningen bör i första hand utnyttjas på en övergripande nivå som en vägledning i planeringsarbetet, medan det kan diskuteras om det på detaljnivå är meningsfullt att använda samordnade modulmått. Detta är en fråga som får bedömas från fall till fall. Användningen av modulmåtsättning bör heller inte vara för strikt. Inpassning av varje element i ett eget modulområde, med hänsyn till toleranser, kan i praktiken ge svårigheter att utföra fogar mellan elementen.

En förutsättning för att måttkoordinering skall fungera är att det måttssystem som utnyttjas stämmer överens med toleranssystemet. Projektering och byggande måste baseras på en rationell hantering av toleranser och kända måttoleranser hos ingående komponenter [Sarja & Hannus, 1995; *Betongelement*, 1997]. Vid datorprojektering är det särskilt viktigt att mått- och toleranssystem är koordinerade. Som exempel visade det sig vid utvärderingen av pilotprojektet Kv Näktergalen i Hässleholm, som projekterats som en produktmodell i 3D, att stålreglar där längden skilde 1 mm, dvs i praktiken var lika långa, fick olika littera pga av alltför snävt satta toleranskrav [Cederfeldt, 1997].



Figur 37 Samband mellan toleranser [*Betongelement*, 1997]

Öppna och slutna system

Den tekniska utvecklingen av byggprodukter och byggnadssystem kan delas in efter två huvudprinciper, det slutna och det öppna systemets principer. I slutna system är byggmetoder och komponenter företagsegna. Producenten utvecklar och marknadsför systemet i typiserade projekt, som oftast erbjuds marknaden i någon form av totalentreprenad. Typiseringen kan avse hela byggnader eller komponenter av nyckelkaraktär. Systemet kan innehålla standardiserade delar och nyckelkomponenterna är ofta standardiserade i viss mån, men inte tillräckligt för att vara fritt utbytbara eller kombinerbara med motsvarande komponenter från andra system [Kämpe, 1994; Adler, 1995].

Öppna system karakteriseras å andra sidan av utbytbarhet mellan komponenter som framställts av olika tillverkare, generellt användbara standardelement. En sådan utbytbarhet föreligger när flera system har sinsemellan samordnade dimensioner, anslutningar och prestanda. Det öppna systemet bygger också på en korrespondens mellan systemets prestanda och omgivningens krav, samt en anpassbarhet av sys-

temets beståndsdelar baserad på en utvecklad flexibilitet hos tillverknings-, upphandlings- och monteringsmetoderna [*Finnish Building Technology*, 1992; Adler, 1995]. Ett öppet system grundar sig på en uppsättning regler som styr hur de olika komponenterna i en byggnad skall sammanfogas [*Finnish Building Technology*, 1992]:

- ❑ Klassificering av funktionella krav baserat på användning av utrymmen.
- ❑ Klassificering av byggnadens system.
- ❑ Regler för hur de individuella delarna av byggmodulerna skall kombineras.
- ❑ Ett system för dimensioner och toleranser.
- ❑ Byggnadskomponenter och system producerade av olika tillverkare följer förutsättningarna för det öppna systemet.
- ❑ En metod för modulär produktion.

Ett komplett öppet system ger möjlighet för vem som hels att utnyttja systemet utan att bli beroende av ett enda byggföretag. Liksom i det traditionella byggandet kan projekteringen utföras av fristående konsulter och alla byggföretag kan konkurrera om utförandet eftersom de tillverkade delarna är allmänt tillgängliga. Detta innebär en möjlighet att fritt välja entreprenadform [Kämpe, 1994]. Ett komplett öppet system ger också helt lika status åt olika utförandemetoder och tekniska lösningar, vilket gör att olika lösningar kan konkurrera med varandra i samma projekt utan att några restriktioner införs i förväg [*Finnish Building Technology*, 1992].

De slutna systemens största fördel ligger i att begränsningen i allmängiltighet underlättar utvecklingsarbetet inom företaget. Systemet utvecklas som en helhet, samtidigt som antalet möjliga kombinationer av element begränsas, vilket ger goda möjligheter att tillgodose funktionskrav och skapa goda tekniska lösningar för anslutningar. Eftersom lösningen är företagsegen finns inga hinder för fortsatt utveckling av systemet inom företaget och utvecklingskostnaden kan spridas på flera projekt. Samtidigt så krävs det hög och jämn beläggning för att systemutvecklingen skall vara lönsam, något som knappast gäller för de flesta leverantörer i Sverige. Den låga byggvolymen gör att det är svårt för ett enskilt system att få tillräcklig beläggning för att nå lönsamhet [Kämpe, 1997] och teknikutvecklingen blir därför eftersatt.

Kritiken mot slutna system gäller de begränsningar i val av upphandlingsform och leverantör som dessa innebär. En förutsättning för användningen av slutna system är att systemleverantören, som också ofta är entreprenör för systemet, behärskar projekteringen i det enskilda fallet så att projektet kan läggas till rätta för systemet. Detta, menar kritikerna, utesluter alla andra entreprenadformer än totalentreprenad [*jmfr* Kämpe, 1994]. Detta är sant, så länge leverantörerna inte tillhandahåller bra produktinformation och projekteringsanvisningar och anvisningar för tidiga kostnadskalkyler. Om denna typ av material finns tillgängligt är det möjligt för beställaren att anlita en fristående projektör som skissar på alternativa systemlösningar, väljer den fördelaktigaste och därefter kontaktar leverantören, för att gemensamt fortsätta projekteringen.

Det öppna systemets generellt användbara, standardiserade element kan användas i många olika projekt som upphandlas som delade entreprenader i fri konkurrens. Men fördelen med öppna system ligger, enligt Adler [1995], inte enbart i möjlig-

heten att upphandla komponenter i konkurrens utan kanske främst i möjligheterna att bättre utnyttja de olika tillverkningsanläggningarnas kapacitet och möjligheten att bedriva en kontinuerlig produktutveckling för att förbättra komponenternas och delsystemens prestanda och användbarhet. Denna produktutveckling kan dels ske inom företagen, med den öppna systematiken som riktlinje, dels på central nivå, genom forskning och utveckling initierad av branschorgan eller statliga institutioner.

En vanlig invändning mot öppna system från leverantörshåll är att 'det kostar att vara först', eftersom ny teknik blir tillgänglig för alla. Detta är sant om det gäller utveckling på systemnivå. För de enskilda företagen ligger kostnadsfördelarna i att utvecklingen kan begränsas till en eller ett mindre antal komponenter eller delsystem, som tack vare att de utförts enligt den öppna systematiken har en allmängiltighet som gör att de kan utnyttjas i olika projekt, tillsammans med komponenter från andra leverantörer. Det är inte de tekniska lösningarna i sig som är intressanta i det öppna systemet, utan att de är kompatibla och utbytbara. I Finland är normalt bara ca 30 % av elementen i en byggnad standardelement från leverantörer, resten är specialritade av konstruktörer och den öppna systematiken är ett instrument för att åstadkomma kompatibilitet.

Ett annat argument mot öppna system är att det krävs en relativt strikt standardisering för att få en god funktion i praktiken. Nissen [1982] framför två förutsättningar för utnyttjandet av öppna system: strikt tillämpning av föreskrivna standarder för måttamordning och standarder för produktframställning, testmetoder och kvalitetskontroll. Till detta kan läggas standardisering av anslutningar, som i praktiken förmodligen är betydligt viktigare än måttamordningen. Risken finns att strikt tillämpning av standarder i projektering och upphandling reducerar möjligheterna till introduktion av ny teknik. Här har byggherre och projektörer en viktig roll, genom att i upphandlingen inte ställa krav som ger onödiga begränsningar för konkurrens mellan olika utföranden vad gäller metod och tekniska lösningar.

Den kanske viktigaste förutsättningen för öppna system är att idén är allmänt accepterad av byggandets alla parter. Om kunskapen inte är allmänt tillgänglig och antagen, kan det öppna systemets fördelar inte utnyttjas till fullo [Nissen, 1982]. I Finland ses det öppna systemet som en förutsättning för det industriella byggandets fortsatta utveckling och utvecklingen av modulsystematik för byggandet [*Finnish Building Technology*, 1992].

Det förefaller som om det finns utrymme för en parallell existens av öppna och slutna system, det ena behöver inte nödvändigtvis utesluta det andra. Idag utnyttjas slutna system tillsammans med öppet utbytbara komponenter på den svenska byggmarknaden. Ett öppet system är ett sätt för mindre tillverkare, leverantörer av komponenter eller delsystem att samordna produktionen så att de får en starkare konkurrenssituation, genom möjligheten att kombinera deras produkter i olika projekt. För större leverantörer är det möjligt att tillhandahålla kompletta system vilket gör att behovet av att inlemma sig i ett öppet system är mindre, de kan istället utveckla de funktionella och tekniska fördelarna med det egna systemet.

Erfarenheter från användning av öppna system visar dock att det kan vara svårt att finna standardiserade tekniska lösningar som har tillräcklig allmängiltighet samti-

dig som de uppfyller funktionella och estetiska krav. Gränssnitten mellan olika system är den känsligaste frågan i byggnadsutformningen, oavsett utförandemetod och det är förmodligen denna fråga som i praktiken begränsar möjligheten till införandet av komplett öppna system. Utvecklingen av flexibla tillverkningssystem och bättre informationshantering via IT minskar betydelsen av en standard för mått och toleranser, sådant kan samordnas inom det enskilda projektet, även om det på en övergripande nivå underlättar att utnyttja måttstandarder, t ex modulmått. Däremot finns ett behov av systematisk information från tillverkare vad gäller projekterings- och kalkylunderlag, utformning av anslutningar samt möjligheter till anpassning av produkten. Samordnande riktlinjer som rationaliserar, snarare än standardiserar, utformningen av anslutningar och knutpunkter i byggnaden, t ex i form av AMA, skulle också vara ett bra hjälpmedel vid projektering för att skapa goda lösningar.

Modulsystematik

I byggandet har modulanvändning tidigare varit synonymt med användning av modulmåtsättning. Om detta jämförs med modulbegreppet så som det uppfattas i den fasta industrin, så är det senare betydligt mer omfattande och mer inriktat på funktioner. Syftet är dock i båda fallen att åstadkomma en allmängiltig kompatibilitet och utbytbarhet mellan de ingående komponenterna.

En väsentlig skillnad mellan moduler i andra industrier jämfört med i byggandet är att i de fasta industrierna är modulerna delar i företagsegna, i huvudsak slutna system, medan i byggbranschen är modulerna en del i ett försök att skapa ett öppet system, gemensamt för branschen. Detta har varit framgångsrikt för komponenter som produceras industriellt och som har en relativt entydig utformning av anslutningar till omgivande komponenter och funktionell renhet, dvs de funktioner som skall uppfyllas är begränsade till den enskilda komponenten. Det finns ett stort antal sådana komponenter i dagens byggande, till exempel fönster, dörrar, köksskåp, garderober, sanitetsporlin mm. Dessa komponenter, eller hellre moduler, kan utan att behöva anpassas användas i vitt skilda produkter - byggnader - och har sinsemellan, för varje modultyp, en utbytbarhet som gör att de kan uppfylla olika krav.

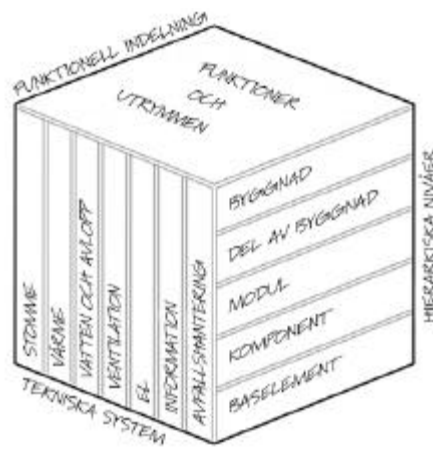
I finska VTTs program för industriellt byggande ingår utvecklandet av en systematik för öppet byggande. Sarja [Sarja & Hannus, 1995] beskriver modulering som en indelning av helheten från det perspektiv som behandlas vid ett speciellt tillfälle, i delenheter vilka i stor utsträckning är kompatibla och oberoende. Moduleringen kan ske på olika hierarkiska nivåer. Exempel på perspektiv för indelningen är:

- ❑ funktionell utformning
- ❑ arkitektur och visuell utformning
- ❑ teknisk utformning
- ❑ komponent- och modultillverkning
- ❑ transporter
- ❑ installation på plats
- ❑ ytbehandling och finish på plats
- ❑ marknadsföring, försäljning och information
- ❑ byggnadsanvändning och underhåll

Den modulära analysen av byggnaden ändras när perspektivet ändras under byggprojektets olika faser [Sarja & Hannus, 1995]. Analysens huvudinnehåll för de olika faserna presenteras i tabell 3.

Fas i byggprojektet	Huvudprincip för modulindelning
Behovsanalys	Analys av utrymmesbehovet utifrån utrymmestyper
Projektplanering	Utrymmesuppdelning Produktionsuppdelning
Byggnadsutformning	Uppdelning i sektorer Utrymmesuppdelning Modulär definition av de tekniska systemen Definition av de funktionella kraven på de tekniska systemen
Produktion	Uppdelning i delprodukter Uppdelning i delkontrakt och underkontrakt Uppdelning i arbetssteg
Användning	Planering av underhåll och reparationer Planering av moderniseringar

Tabell 3 Modulanalysens innehåll för byggprojektets olika faser [Sarja & Hannus, 1995]



Figur 38 Översikt av byggnadsindelning enligt VTTs modulära byggsystem [Sarja & Hannus, 1995]

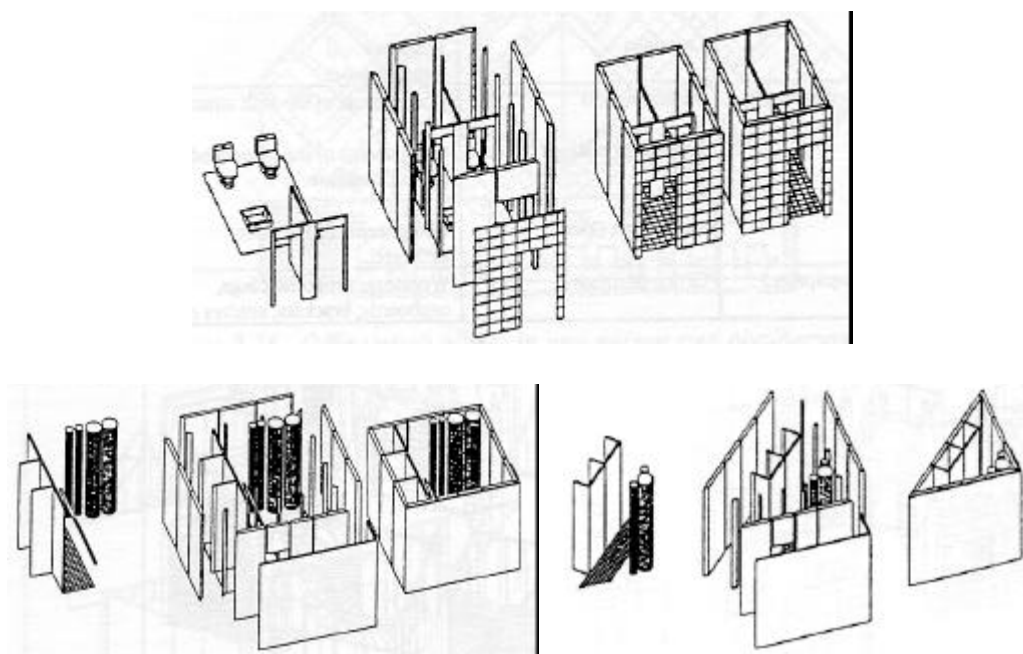
Den tekniska utformningen av modulerna bör vara sådan att de tekniska systemens

- ❑ dimensioner,
- ❑ toleranser,
- ❑ anslutningar och
- ❑ funktionella och tekniska egenskaper

är ömsesidigt kompatibla. För de system som har kort livslängd eller korta serviceintervaller understryks vikten av möjlighet till underhåll, modifiering, utbyte och demontering.

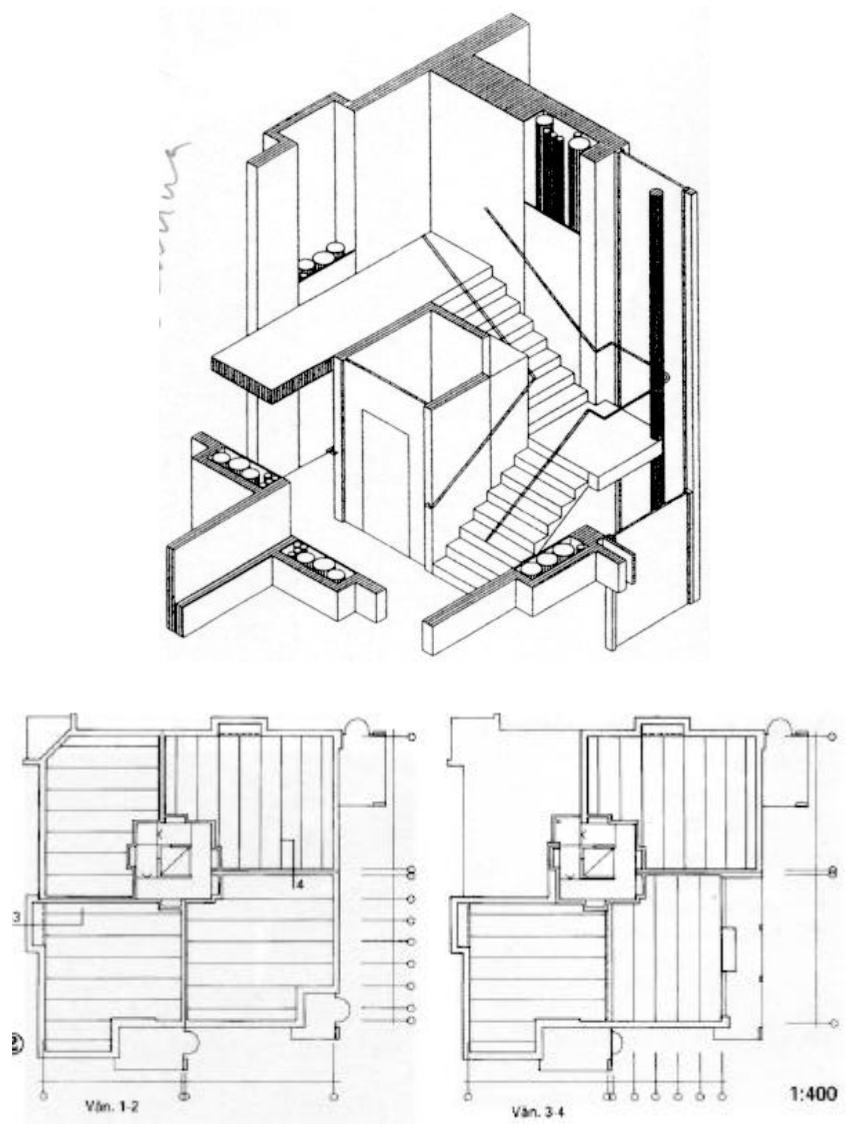
Del av byggnad	Moduler	Komponenter
Byggnadens stomsystem	Olika ramzoner (t ex torra zoner, våta zoner, balkonger)	Väggar, pelare, plattor, balkar
Tekniska installationer	Hela delenheter av de tekniska installationssystemen (t ex vertikala schakt, horisontell dragning, armaturer)	Rör, ledningar, ventilations- och informationssystemsutrustning, fläktanläggning
Fasadsystem	Väggar	Väggkomponenter
	Öppningar	Fönster, dörrar
Mellanväggar	Väggar	Väggkomponenter
	Öppningar	Fönster, dörrar
Inredning	Köksinredning, förvaring	Skåp, maskiner
Trafiksystem	Trapphus, hissar, vägar	Trappschakt, trappor, hissar, hisschakt

Tabell 4 Exempel på modulering av det tekniska utförandet för flerbostadshus enligt TATs principer [Sarja, 1992].



Figur 39 Exempel på moduler i TAT-systemet a) våtrummodul, b) och c) installationschaktsmoduler [Sarja & Hannus, 1995].

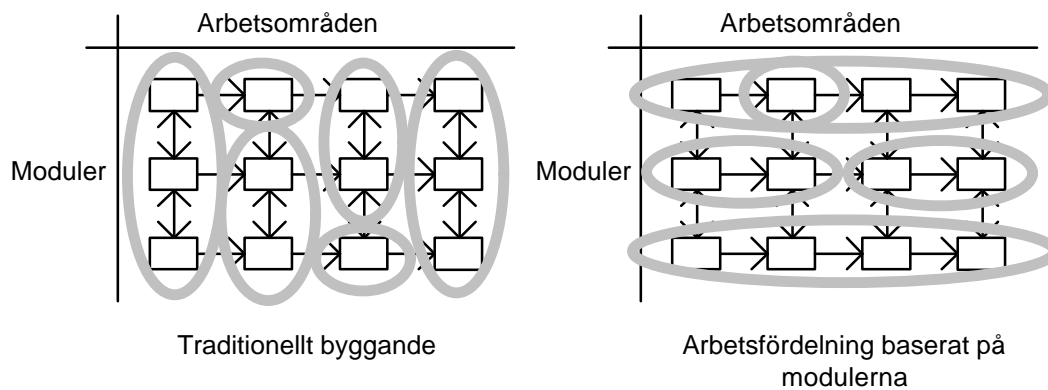
TAT-systemet har prövats i ett pilotprojekt vid uppförandet av bostadsområdet Westendinportti utanför Helsingfors. Området består av två femvånings punkthus, utförda med prefabricerade betongelement och konventionella monteringsmetoder användes. Vad som speciellt utmärker projektet är långt driven modulmåtsamordning, samordning mellan stomme och installationer, t ex genom speciella schaktelelement som gör är tillgängliga från trapphuset, samt den goda ljudisoleringen mellan lägenheter som åstadkommit [Finnish Building Technology, 1992; Adler, 1995].



Figur 40 Exempel på modulsystematiken i experimentprojektet Westendinportti. a) Modulärt trapphus med installationsschakt. b) Stomnät med modulmått [Adler, 1995].

Lahdenperä [1995] definierar modulering som standardisering och färre varianter på komponent- och baselementnivå, kombinerade strukturer och stora, starkt förädlade enheter. Moduleringen bör enligt Lahdenperä vara så funktionellt och produktionstekniskt oberoende som möjligt. Detta möjliggör en process där en organisation ansvarar för den modul som levereras med ett helhetsåtagande, med tillverkning, montering och funktionsansvar, medan projektören och huvudentreprenören svarar för kompatibiliteten mellan de olika modulerna.

Modulering enligt denna modell leder till klarare ansvarsgränser och färre samordningsproblem, eftersom ansvarsgränserna blir baserade på modulerna och inte på yrkesroller och arbetsuppgifter som i det traditionella byggandet. För att det skall vara möjligt att genomföra ett projekt enligt denna modell krävs också en förändrad organisation av byggandet, där yrkesrollsperspektivet byts mot ett produktionsperspektiv, med produkten - modulen eller byggnaden - som utgångspunkt. Detta minskar beroendet mellan olika parter och skapar underlag för effektivt genomförande och god kvalitet [Lahdenperä, 1995].



Figur 41 Effekt av samordning av moduler och arbetsfördelning. När en organisation har ett helhetsåtagande för utförandet av moduler minskar parternas beroende av varandra [Lahdenperä, 1995]

Ett hierarkiskt baserat modulsystem leder till att antalet komponenter på varje nivå minskar, vilket ger en rationellare hantering, enklare planering och möjlighet till automatisering på byggplatsen. Möjligheterna till parallell förtillverkning på fabrik ökar också tack vare den standardiserade koordineringen av gränssnitt, mått och toleranser.

Erfarenheter av att utnyttja system med standardiserade detaljlösningar och komponenter som kan anpassas till varierande arkitektur och geometri finns redan för småhusbyggande och hallbyggnader. Inget tekniskt hinder finns för att även utveckla sådana system för flervåningsbyggnader [Johansson, 1996].

Bedömning av byggnadsutformningen

Vid byggnadsutformning och metodval påverkas ett stort antal faktorer som påverkar värdet för kunden och som berör byggnadens hela livslängd. Det kan därför vara intressant att kunna analysera hur en vald konstruktion påverkar värdet för kunden. Grundläggande är då att försöka hitta en uppsättning kriterier för utvärdering av kundvärdet som har en relativt stor allmängiltighet och på motsvarande sätt finna kriterier för utvärdering av byggnadsutformningen. Dessa kriterier bör vara mätbara i någon form för att en kvantitativ jämförelse mellan olika byggmetoder skall vara möjlig.

Vilka målvärden som bör sökas för de olika måtten beror på ur vems perspektiv som byggnadsutformningen betraktas. Producentens krav är inte samma som förvaltarens eller brukarens. Målet för en industriell byggprocess är dock att skapa värde för slutkunden, brukaren. Det är alltså de faktorer som skapar värde för slutkunden som bör styra utformningen. Svårigheterna ligger i att identifiera de faktorer som är värdeskapare. Enkelt sett kan dessa uttryckas som rätt funktion och rätt kvalitet till rätt pris. Några exempel på vanliga direkta krav från brukaren är möjlighet till individuell utformning av planlösning, både vid nybyggnad och i brukskedet, bra inomhusklimat, god ljudisolering, estetiska krav, omväxlande arkitektur och naturligtvis låga kostnader. För att få en komplett bild av brukarkraven måste en kravanalys göras, t ex en QFD-analys.

För att kunna erbjuda sin kund, brukaren, en fullgod produkt med maximal vinst ställer ägaren till byggnaden vissa krav på byggnadsutformningen. Förvaltningskostnaderna måste vara låga och drift och underhåll måste kunna ske med minsta möjlig störning för brukarna. Detta innebär att tekniska system är åtkomliga och att komponenter är lätt utbytbara. Dessutom skall det finnas möjlighet att anpassa byggnaden till olika brukare, vilket kräver flexibilitet i bruksskedet. För bostäder är detta krav ganska begränsat, men om användningsområdet skall kunna ändras, t ex från bostäder till kontor, beroende på efterfrågan är kraven större.

Byggherren, den som svarar för kapitalanskaffningen för byggandet vill så snabbt som möjligt få avkastning på sin investering oavsett om avsikten är att sälja eller hyra den färdiga byggnaden eller använda den i egen verksamhet. Därför ställs krav på ett snabbt genomförande av projektet. Byggbarhet, kvalitet i form av få fel, möjlighet till parallella aktiviteter, enkel samordning och möjlighet till automatisering är faktorer som påverkar möjligheten att uppfylla detta krav.

Kriterierna för kundvärdet kan, enligt ovanstående resonemang, sammanfattas i tre punkter:

- *Kostnad.* Livscykelkostnaden för en byggnad kan delas upp i ett antal olika poster. Enkelt betraktat kan dessa uttryckas som projekteringskostnad, produktionskostnad, driftskostnad och demonteringskostnad. Traditionellt sett läggs störst vikt vid produktionskostnaden, men ofta är driftkostnaden en minst lika viktig post att ta hänsyn till, eftersom livscykelkostnaden kan bli mycket högre om en lösning som är billig ur produktionshänseende men med dyrare drift och underhåll väljs framför en dyrare produktionsmetod med låg drift- och underhållskostnad. Livscykelperspektivet är därför viktigt vid kostnadsjämförelser. Ofta sätter dock beställarens ekonomi vid produktionstillfället upp begränsningar för produktionskostnaden, vilket kan utesluta dyrare produktionslösningar.

Produktionskostnaden påverkas av genomförandetiden eftersom ett snabbt genomförande ger lägre kapitalkostnader och snabbare avkastning för beställaren. Därför kan produktionstekniska kriterier som transporterbarhet och byggbarhet för byggmaterialet och möjlighet till parallella aktiviteter också tas in under denna punkt. Möjligheterna att sänka framtida kostnader genom teknisk utveckling bör också bedömas.

- *Användbarhet.* Byggnadens möjligheter att uppfylla de krav som brukaren ställer på användandet är en viktig bedömningspunkt. Ur detta hänseende är möjligheten att påverka byggnadsutformningen viktig, både i projekterings- och bruksskedet. Detta styrs av byggnadssystemets flexibilitet och planlösningsfrihet genom hela livscykeln.
- *”Upplevelse”.* Hur väl en byggnad uppfyller sitt syfte beror inte enbart på den planmässiga lämpligheten, utan också på hur den upplevs. Ljud, ljus, färger och variation påverkar upplevelsen av byggnaden.

Byggnadsutformningen skall alltså bedömas utifrån vilken inverkan den har på ovanstående kundvärdespåverkande faktorer. Svårigheten ligger i att finna lämpliga mått för att denna gradering skall kunna göras. Måtten måste avspegla grundläggande egenskaper hos byggnadsutformningen och vara relevanta vid en jämförelse

mellan olika produktionssätt och byggteknik. Dessutom måste de ha inverkan på åtminstone någon av de faktorer som

- Ett begrepp som ofta förs fram är *prefabriceringsgrad* eller förtillverkningsgrad, som mått på hur anpassad byggnaden är för industriell produktion. Någon mer precis definition av begreppet har dock inte återfunnits i litteraturen, varför en jämförelse mellan angiven prefabriceringsgrad i olika projekt kan vara vanskelig. Det är naturligt att anta att prefabriceringsgraden anger hur stor andel av någon resurs som utnyttjats, alternativt hur stor del av slutvärdet som uppnått när komponenten eller elementet lämnar fabriken. Beroende på vad som betraktas fås dock olika värden för prefabriceringsgraden, till exempel är oftast förädlingsvärdet hos en förtillverkad produkt högre i jämförelse med det slutliga värdet, än den ackumulerade kostnaden.

För att en jämförelse mellan olika projekt och olika delar inom samma projekt skall bli rättvisande bör måttet vara kostnadsneutralt. När frågan togs upp vid några av intervjuerna, föreföll *arbetsinsatsen* vara ett lämpligt mått. Arbetsinsatsen kan relativt lätt fastställas och den är relativt kostnadsberoende. Vid byggprojekt sker alltid kompletteringsarbeten på byggplatsen. Detta innebär att en prefabriceringsgrad på 100 % i praktiken är omöjlig att uppnå med detta mått.

Det visar sig också att prefabriceringsgrad för sig inte ger någon fullständig bild av byggnadsutformningen. Därför har ytterligare fyra begrepp definierats, vilka tillsammans med prefabriceringsgraden ger en fullständigare grund för utvärdering av byggnadsutformningen:

- *Element/komponentintensitet* är ett mått på objektets komplexitet och anges som antal element eller komponenter per m² bjälklagsyta [Kämpe, 1997].
- *Standardiseringsgrad* är ett mått på hur standardiserat objektet är. Detta mått är svårt att kvantifiera och bedömningen blir därför mer subjektiv. Som bedömningsgrund har följande skala tagits fram:

Låg	Full frihet i utformning Måttsamordning Måttstandardisering, t ex modulmått Komponentstandardisering Standardisering av anslutningar och prestanda hos elementen Standardisering av element eller byggdelar
Hög	Standardisering av byggnader

Denna skala är naturligtvis inte några exakta mått, utan skall mer tjäna som en vägledning vid bedömningen.

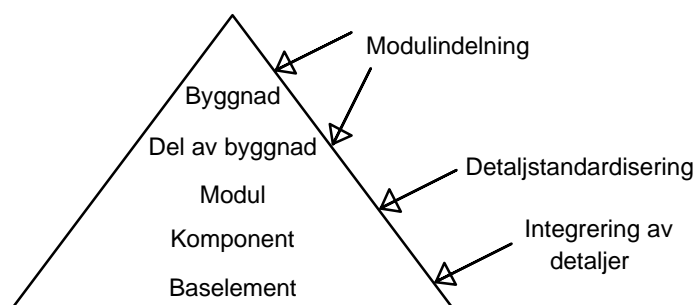
Ett annat möjligt mått på standardiseringsgraden, som är kvantifierbart och mer entydigt i sin definition är andel standardelement eller -komponenter. Även antalet olika element i förhållande till det totala antalet är ett intressant mått på standardiseringen.

- *Integrationsgrad* är också ett mått på objektets komplexitet. Vad som bedöms är integration av olika funktioner eller delar av olika system i samma komponent, element eller modul. Även här är bedömningen subjektiv och en skala har tagits fram som bedömningsgrund:

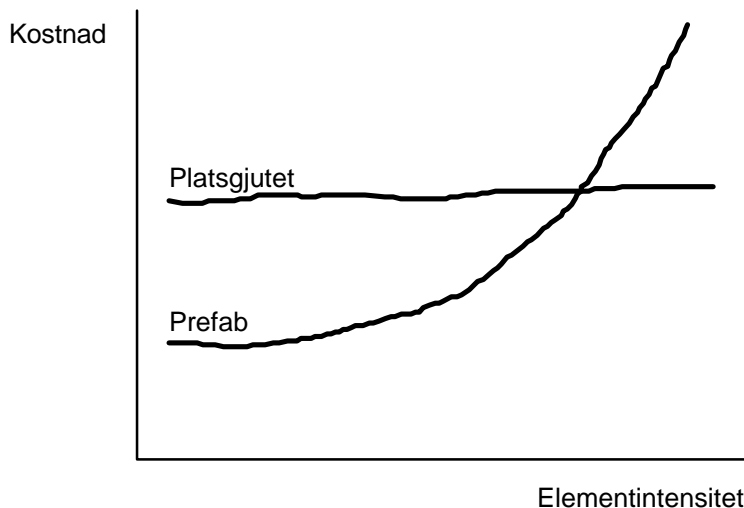
Låg	Flexibel installationsdragnig Flyttbara innerväggar Bärande fasader Bärande innerväggar
Hög	Installationer integrerade i stommen

Integrationen kan också ses ur ett produktionstekniskt perspektiv. I vissa fall är integration positivt, när arbetsmoment försvinner eller flyttas i tiden, så att beroendet mellan olika parter minskar. Men integration kan också leda till att beroendet mellan olika parter ökar, vilket skapar större behov av samordning och större risk för störningar.

Vid bedömning av effekterna av standardisering och integration har det stor betydelse vilken hierarkisk nivå som betraktas. Även elementintensitet och prefabriceringsgrad har olika påverkan på olika hierarkiska nivåer. De erfarenheter från fast industri som behandlas i kapitel 2.6 och 2.7 stämmer även för byggnadsutformningen. Standardisering och integration är effektivast på baselement- och komponentnivå, där de bidrar till reducerad tidsåtgång för projekteringsarbete och förenklad materialadministration, utan att införa några större begränsningar för utformningen av slutprodukten. En hög prefabriceringsgrad på komponent och modulnivå leder automatiskt till en hög prefabriceringsgrad på byggnadsnivå, eftersom större andel av arbetsinsatsen flyttas till fabrik. En låg elementintensitet bör eftersträvas på alla hierarkiska nivåer, eftersom det har en direkt inverkan på kostnaderna genom enklare hantering. Hur stor effekten är beror dock på byggmetod, effekterna är betydligt större för monteringsbyggande än vid traditionellt platsbyggande.



Figur 42 Olika åtgärder har olika effekt på olika hierarkiska nivåer [jmf Erixon m fl, 1994; Sarja & Hannus, 1995]



Figur43 Exempel på samband mellan elementintensitet och kostnad. Jämförelse mellan stomme i prefabricerad och platsgjuten betong [jmf Kämpe, 1997]

I tabell 5 presenteras en översiktlig tolkning av de valda måttens på byggsystemets industrialiseringsgrad påverkan på de kundkrav som identifierats tidigare. Det är dock svårt att dra några allmängiltiga slutsatser om vilken byggnadsutformning som ger bäst resultat, det beror i hög grad på den individuella byggnaden, systemval och materialval. För att få en relevant tolkning av det enskilda systemet måste en mer nyanserad analys göras.

	Prefabriceringsgrad	Standardiseringsgrad	Elementintensitet	Integrationsgrad
Projekteringskostnad	En hög prefabriceringsgrad kan ge billigare projektering, tack vare en bättre konceptuell utformning. Avgörande är hur tidigt preleverantören kommer in i processen.	Standardisering ger lägre projekteringskostnader, tack vare en mer rationell hantering av detaljer.	Inget direkt samband.	Hög integration kräver större samordningsinsatser och ger högre projekteringskostnader.
Produktionskostnad	Hög prefabriceringsgrad sänker produktionskostnaderna, tack vare bättre produktionsförhållanden på fabrik.	Standardisering ger en rationellare produktion och enklare materialhantering, vilket leder till lägre kostnader.	Hög elementintensitet leder till lägre produktionskostnader.	Integration kan ge lägre produktionskostnader, tack vare att arbetsmoment försvinner.
Drifts- och underhållskostnad	Inget direkt samband.	Standardisering ger lägre underhållskostnader, tack vare god utbyttbarhet.	Få element kan leda till sämre utbyttbarhet. Beror dock på element/modulindelningen.	Hög integrationsgrad försämrar åtkomlighet och utbyttbarhet, vilket ger högre kostnader.

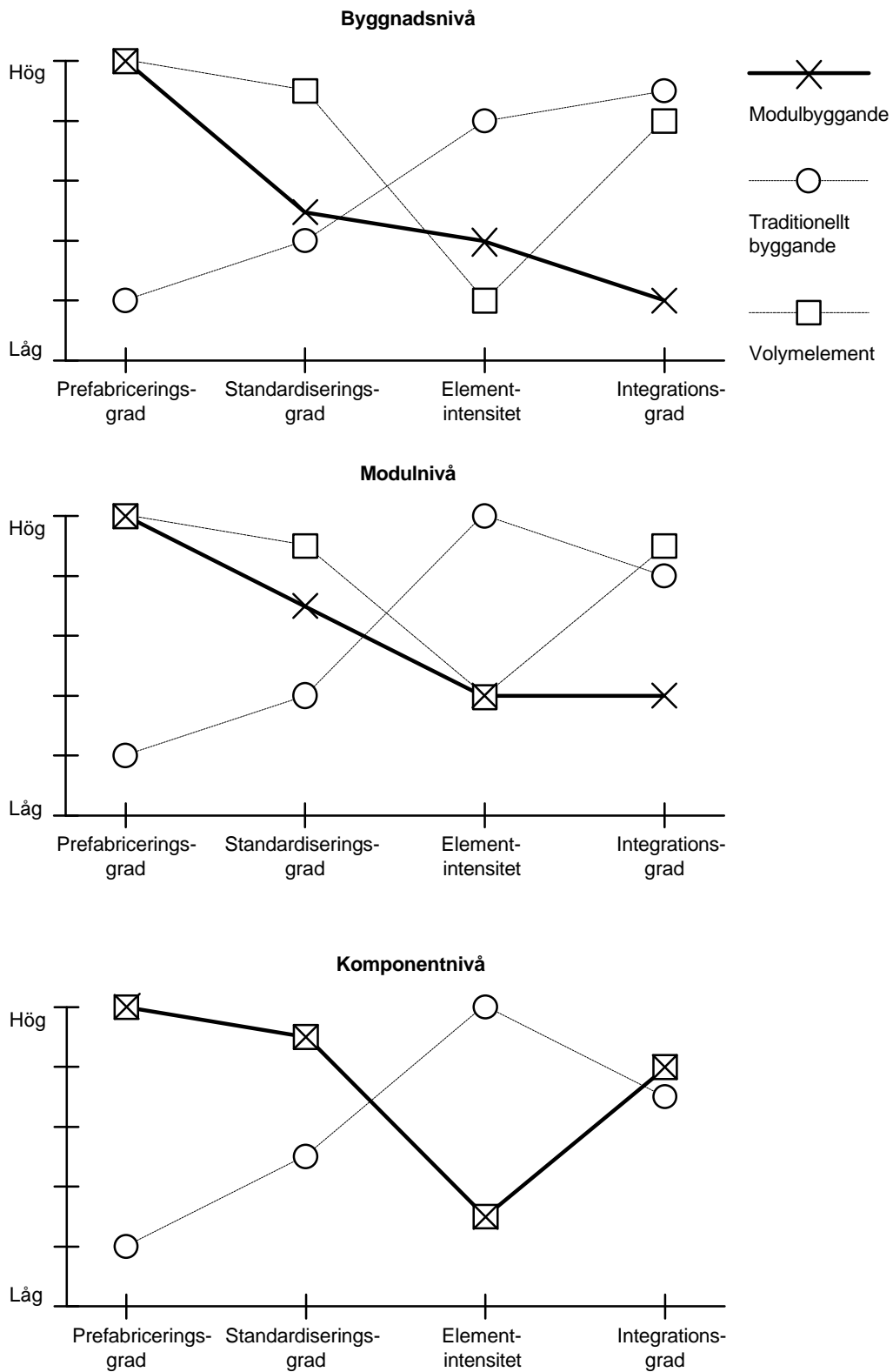
	Prefabriceringsgrad	Standardiseringsgrad	Elementintensitet	Integrationsgrad
Demonterings- och återanvändningskostnad	Prefabricerade enheter är i högre grad utformade för montage som underlättar en framtida demontering, vilket påverkar kostnaden positivt.	Hög standardiseringsgrad underlättar återanvändning.	Hög elementintensitet ger längre demonterings-tid, men kan underlätta hanteringen vid demontering av tunga element.	Låg integration underlättar såväl demontering som återanvändning.
Flexibilitet i utformning, planlösningsfrihet	Hög prefabriceringsgrad kan leda till sämre flexibilitet i utformningsskedet, eftersom många förutsättningar binds tidigare i processen.	Standardisering på detalj/komponentnivå, samt övergripande modulmått ger bra förutsättningar för att variera utformningen. Alltför strikt standardisering på högre hierarkisk nivå kan innebära begränsningar.	Ingen direkt påverkan. Beror på element/ modulindelningen.	Hög integrationsgrad försämrar möjligheterna att variera utformningen med hänsyn till placering av t ex våtutrymmen. Lägre integrationsgrad medför också vissa begränsningar, då mer hänsyn måste tas till installationsdragning och materialval.
Flexibilitet i bruksskedet	Ingen direkt påverkan.	Hög standardisering av anslutningar och detaljer, samt modulmåttssättning förbättrar flexibiliteten i bruksskedet.	Få element kan leda till sämre utbytbarhet. Beror dock på element/modulindelningen.	Hög integrationsgrad försämrar möjligheterna att variera utformningen.
Ljudisolering	Prefabricering ger goda möjligheter till bra utförande och testning av ljudisolering.	Inget direkt samband. Dock kan lösningar som uppfyller höga krav prioriteras.	Stora element ökar risken för flanktransmission, speciellt för betong och lättbetong.	Inget direkt samband. Integration kräver noggranna överväganden så att inte ljudisoleringen försämras.
Estetisk utformning	Prefabricering innebär alltid fogar, vilket kan vara en nackdel ur estetiskt hänseende.	Ingen påverkan på låg hierarkisk nivå. På byggnadsnivå kan standardisering och upprepning vara negativt.	Inget direkt samband.	Integration är ofta positivt ur estetisk synvinkel, t ex genom dold förläggning av ledningar.

	Prefabriceringsgrad	Standardiseringsgrad	Elementintensitet	Integrationsgrad
Transporterbarhet	Hög prefabriceringsgrad ger i de flesta fall bättre transporterbarhet. Hög prefabriceringsgrad ställer dock högre krav på transportskydd	Inget direkt samband.	Beror på material och element. Dock ger generellt sett låg elementintensitet bättre transporterbarhet	Varierar.
Monter/byggbarhet	Prefabricering innebär att flyttas till fabrik detta innebär mindre behov av samordning och färre svåra arbetsmoment på byggplatsen.	Hög standardisering av detaljer och anslutningar ger god monterbarhet.	Beror på materialval. Tunga och svårhanterade element ger sämre monterbarhet.	Hög integrationsgrad kan ge komplicerade anslutningar vilket medför sämre monterbarhet.
Möjlighet till automatisering	Prefabricering ger möjlighet till automatiserad tillverkning på fabrik.	Standardisering av detaljer och anslutningar är en förutsättning för automatisering på byggplatsen. Standardisering underlättar också automatisering på fabrik.	Inget direkt samband.	Inget direkt samband.
Parallella aktiviteter	Prefabricering möjliggör modultillverkning på fabrik samtidigt som arbete pågår på byggplatsen.	Standardisering möjliggör parallellt arbete i både projekterings- och produktionskedet.	Inget direkt samband.	Hög integrationsgrad kräver mer samordning och försvårar därmed parallella aktiviteter.
Teknisk utveckling	Fabrikstillverkning ger goda möjligheter till teknisk utveckling.	Alltför strikt eller omfattande standardisering kan hindra den tekniska utvecklingen.	Inget direkt samband.	Inget direkt samband.

Tabell 5 Bedömning av byggnadsutformningens påverkan på faktorer som styr värdet för kunden

Utifrån vad som anförts i tabell 5 kan ungefärliga idealvärden för industrialiseringsgraden i form av de valda måtten uttolkas. Tolkningen blir inte entydig, utan beror i hög grad på vilken vikt som läggs vid olika krav. Dock har författaren försökt att göra en sådan tolkning och jämföra dessa värden med två förekommande produktionsmetoder som bygger på olika byggsystem, dels traditionellt byggande, dvs huvudsakligen platsproduktion, med hantverksmässiga metoder, specialiserade yrkesgrupper och endast i låg grad automatiserat arbete, samt volymbyggande där färdigproducerade volymelement med hög färdigställandegrad, t ex färdiga ytskikt,

monteras på plats. Detta presenteras i figur 44, där modulbyggande motsvarar de ”ideala” värdena för industriell produktion.



Figur 44 Bedömning av byggnadsutformningen på olika hierarkiska nivåer för industriellt byggande, traditionellt byggande och volymelement.

4.5 Prefab och monteringsbyggande

Prefab och industriell produktion

Även om industriellt byggande inte är synonymt med monteringsbyggande, är prefabteknik ett bra sätt att effektivisera byggprocessen och en bra grund för en industriell byggproduktion. Prefabricering innebär att delar av byggproduktionen flyttas från byggplatsen till mer kontrollerade förhållanden på fabrik. Arbetet på byggplatsen blir därmed reducerat till montering av förtillverkade element och vissa kompletteringsarbeten. Arbetet på fabriken kan ske parallellt för flera element och produktionen kan därmed effektiviseras. Automatisering och robotisering införs i ökande grad på fabriken och kan även få ökad användning på byggplatsen [Lahdenperä, 1995].

Möjligheterna att införa standardiserade rutiner ökar vid tillverkning på fabrik, eftersom störningarna minskar och processerna utvecklas. Därmed ökar möjligheterna till förbättrad effektivitet, dvs bättre kvalitet och produktivitet. Fabrikstillverkning underlättar också införandet av produktionsfilosofier utvecklade i andra branscher vilket ger möjlighet till effektiv tillverkning av små serier för genomförande av unika projekt [Lahdenperä, 1995].

Som monteringsbyggandets största fördel brukar framhållas att det går snabbt [jmf *FIP*, 1995; Lahdenperä, 1995]. Detta var också den egenskap som först nämndes när fördelar och nackdelar med monteringsbyggande togs upp i intervjuerna. Tiden till 'tätt hus' förkortas väsentligt, vilket gör byggandet mindre väderberoende. Byggtiden kortas också totalt sett, vilket ger minskade räntekostnader och snabbare intäkter. Om prefab väljs redan i ett tidigt skede kan projektering och produktionsplanering bedrivas parallellt, vilket ytterligare bidrar till en förkortad projekttid.

I produktionen på byggplatsen bidrar monteringsbyggandet till en jämnare produktionstakt, vilket gör att det är lättare att planera arbetena och ger ett jämnare utnyttjande av arbetsstyrkan. Byggplatsen blir också renare och säkrare, med mindre materialspill och mindre materialupplag. Tack vare att elementproduktionen sker under skyddade förhållanden är det möjligt att hålla en hög och jämn kvalitet. Det krävs dock bra kontrollrutiner på byggplatsen för att slutprodukten skall få samma höga kvalitet. I monteringsbyggandet är det också färre moment att planera, vilket ger en säkrare tidplan. Planeringen måste också vara noggrannare och med bättre framförhållning än vid traditionellt byggande, vilket är positivt eftersom det minskar risken för störningar. Ur ekonomisk synvinkel ger bättre planering säkrare kalkyler och därmed reducerade risker.

Pettersson [1995] gör en jämförelse av tunga arbetsmoment i platsbyggande och monteringsbyggande, som visar att det är betydligt färre tunga arbetsmoment i monteringsbyggandet, vilket gör arbetet säkrare och minskar risken för försurningsskador. Många av de kvarvarande tunga arbetsmomenten på arbetsplatsen är också av sådan art att de kan hänföras till bristande byggbarhet eller monterbarhet, t ex svetsansamling av element, bilningsarbete vid fel och svårare tråddragning för elmontörer. Pettersson konstaterar dock att många av de tunga arbetsmo-

menten i stället flyttats till fabriken och därmed överlåtits till fabrikspersonalen, snarare än försvunnit.

Det som upplevs som det största problemet, enligt vad som framkommit i intervjuerna, är projekteringsfelen. Vanliga fel är t ex felplacerat eller uteblivet ingjutningsgods, främst för eldragning, som ger mycket extraarbete i form av bilning och 'lappning och lagning'. Vid platsbygge är det lättare att rätta till sådana fel när de upptäcks. Brister i projekteringen leder ofta till tidskrävande korrigeringar av småfel. Riskerna för att det skall förekomma systematiska fel är också större, eftersom dessa inte upptäcks förrän vid inbyggnad av de färdiga elementen. Det kan vara svårt att rätta till felaktigheter när de upptäcks, t ex kan bilning i håldäck vara känsligt och placeringen av armeringen i spännarmerade konstruktioner vara osäker. Detta gör att felaktigheter ibland lämnas som de är, efter överenskommelse med byggherren. Det är också svårt att ha samma kontroll på alla moment i produktionen som vid platsbygge, vilket ökar risken för att fel inte upptäcks.

Anslutningarna mellan olika element och mellan element och andra byggdelar är en besvärlig fråga och många av prefabbyggnadens svårigheter är förknippade med detta. Skarvar mellan elementen samlar känsliga punkter, vilket gör att felkällor är koncentrerade där. Med monteringsbyggande blir det fler generalskarvar som är känsliga för nedböjning, belastning mm. Riskerna i produktionen blir också koncentrerade till element och elementskarvar, vilket innebär att om något går fel med ett element får det stora konsekvenser för produktionen. Detta ställer höga krav, både på monteringspersonal och på transporter. Monteringsbyggande ställer också högre krav på måttnoggrannhet och planhet hos anslutande delar, t ex grund. I FIP prefabbetonhandbok [FIP, 1994] framhålls också utformningen av anslutningar som den viktigaste frågan, jämte stabilitet, vid projektering av prefabkonstruktioner. Dålig samordning av anslutningarna mellan olika system upplevs ibland som ett problem. Generellt sett verkar detta fungera bättre om byggnaden projekteras för monteringsbyggande från början. Däremot är samordningen av anslutningarna inom prefabsystemen ofta god.

I prefabricerade fasader finns det alltid fogar eller skarvar, som kan döljas mer eller mindre väl. Ur estetisk synvinkel kan därför prefab vara känsligt. Även synlig förläggning av installationer är en känslig fråga ur estetiskt hänseende. Detta kan antas vara en av orsakerna till att prefabbyggnad inte utnyttjas mer i Sverige. Under det senaste decenniet har dock möjligheterna till en estetisk och varierad utformning av prefabfasader ökat betydligt. Nya material och metoder har gjort tegel, kalksten och granit till möjliga fasadmaterier och det är också möjligt att putsa fogfritt på prefabelement [FIP, 1994; *Putsa fogfritt...*, 1997]. Hur resultatet blir beror på hur fasadutformningen är anpassad till prefabproduktion.



Figur 45 Exempel på utformning av prefabricerade fasader [FIP, 1994].

Projektering för monteringsbyggande

Varje byggnadssystem har sin egen karakteristik, som påverkar planlösning, våningshöjd mm. För att åstadkomma det bästa resultatet bör projekteringen från början utgå från de möjligheter och begränsningar som de valda systemen ger [FIP, 1994; *Betongelement*, 1997]. Metod- och systemvalet är en av de viktigaste delarna i ett byggprojekt [Adler, 1995; Kämpe, 1997]. I de intervjuer som utförts i detta arbete framkom det att det var färre problem och bättre byggbarhet i de projekt som projekterats med prefabteknik som en förutsättning från början.

Trots att stomvalet är en av de viktigaste delarna i byggprojektet, är underlaget för detta ofta bristfälligt. Tidigare erfarenheter är ofta avgörande, tillsammans med kostnads kalkyler, produktionsaspekter och byggnadsmått, men funktionskrav och föränderbarhet i tiden vägs sällan in [Adler, 1995]. Valet av kompletterande tekniska system bör också samordnas med stomval och med varandra. För att effektivisera systemvalen krävs bättre instrument för urval med hänsyn till funktionskrav, flexibilitet och bättre instrument för tidiga kalkyler.

Projektering för monteringsbyggande kräver bättre samordning än projektering för traditionellt byggande, eftersom det inte finns samma möjligheter att rätta till felaktigheter under produktionen. Komponenter som skall monteras eller gjutas in i elementen på fabriken måste planeras tidigare än vid platsbyggande, för att elementleverantören skall förbereda sina ritningar [FIP, 1994; *Betongelement*, 1997].

Vid projektering av en byggnad bör standardisering, modulmåttkoordinering och upprepning eftersträvas, för att få en effektiv och ekonomisk produktion. Vid projektering av prefabbetong bör modulmått samordning som regel användas, både för stomme och kompletterande system. Det är idag dock för de flesta tillverkare inga

problem att åstadkomma flexibla lösningar med korta ledtider, tack vare ny produktionsteknik och datorstöd. Element som avviker från modulmåttén går därför lätt att tillverka. Modulmåttén bör ses som en rekommendation snarare än ett krav och bör användas så länge det inte strider mot andra konstruktionstekniska eller arkitektoniska krav [FIP, 1994; *Betongelement*, 1997].

Tid och kostnader

Forskning tyder på att ett fullt utvecklat prefabbyggande kan sänka byggkostnaderna med minst 20 % [Hansson, 1994; Pettersson, 1995]. I dagsläget har dock inte sådana vinster uppnåtts, även om prefab i många fall visat sig ge en betydande kostnadsreducering. Pettersson [1995] har inom ramen för ett forskningsprojekt jämfört två likvärdiga områden utförda med traditionell respektive monteringsmetod. Uppföljningen visade att det monteringsbyggda området hade ca 7 % lägre kostnader än det traditionella. Vinsten berodde till största delen på minskade maskinkostnader och omkostnader. Entreprenörens minskade personalkostnader uppvägdes till stor del av ökade kostnader för underentreprenörer. Kapitalvinsterna blev mycket små, trots kortare byggtid, på grund av tidigareläggning av stora utgiftsposter.

Vid ett försöksprojekt i Ljusdal, där ett elevhem med ca 90 rum uppfördes med volymelement i högpresterande betong [Hansson, 1994] beräknades kostnaderna kunna sänkas med drygt 20 % jämfört med platsbyggt. Det verkliga utfallet blev knappt 10 %, varav knappt 8 % kunde hänföras till minskade byggkostnader och resterande till minskade kreditivkostnader. Då har bortsetts från att projekteringen blev dyrare jämfört med traditionellt byggande, till följd av inkörning och ovana vid den nya tekniken. Bygget drabbades också av förseningar på grund av bristande samordning mellan volymelementen och kompletterande traditionella betongelement. Hansson konstaterar att det vid prefabproduktion är viktigt att elementen snabbt kommer på plats efter fabrikstillverkningen för att fördelen med minskade kreditivkostnader skall kunna utnyttjas.

Tidsåtgången för monteringsbyggande blir betydligt mindre än vid traditionellt byggande. Hansson [1994] redovisar ca 25 % kortare produktionstid för volymelement jämfört med motsvarande platsproducerat tunnelement. Total byggtid planerades till 5 månader, jämfört med ett år för platsbyggt. Pettersson [1995] redovisar ca 35 % kortare stomdriftstid för monteringsbyggande jämfört med platsgjutet. Tiden till 'tätt hus', dvs från färdigt vindsbjälklag till tät takkonstruktion var 3 dagar för de monteringsbyggda husen, jämfört med 4 veckor vid det platsbyggda. Av den totala stomdriftstiden användes 26 % vid platsgjuten stomme och hela 48 % vid prefabricerad till efterarbeten, varav mycket av typen 'lappning och lagning'. Det finns alltså en stor potential till tidsbesparing på detta område. Projekteringstiden ökade dock med 28 % för prefabbygget jämfört med det traditionella. Denna ökning är direkt kopplad till den projekteringstid som betongelementtillverkaren lade ned på projektet.

Vad som kan vara intressant att notera med den jämförande studien inom Sticklingehöjden [Pettersson, 1995] är att projekteringen först utfördes för det traditionella området och sedan modifierades för monteringsbyggande. Enligt vad författaren erfarit finns det ingen motsvarande studie där förfaringssättet varit det omvän-

da, projektet har projekterats för monteringsbyggande och sedan modifierats för platsbyggande. En sådan studie skulle förmodligen kunna ge ett annat resultat. Skall monteringsbyggandets fulla potential kunna utnyttjas måste projekteringen ske enligt de förutsättningar som metoden ger och motsvarande gäller naturligtvis för platsbyggande.

Hellström [1996] menar att den traditionella byggandet med platsgjuten betongstomme gjort att det inte varit så stor efterfrågan på rationellt monterade kompletterande system, eftersom det under uttorkningstiden funnits gott om tid för installations- och kompletteringsarbete. För att kunna utnyttja fördelarna med ett prefabricerat delsystem maximalt krävs det att även övriga delsystem har en hög prefabriceringsgrad. Sådana system är bland annat de som nämndes i avsnitt 4.4 som är under utveckling i Holland och som skall möjliggöra en senarelagd kundanpassning av bostäder. Exempel på lösningar är upphöjda golv för enkel ledningsdragning och 'plug-in'-teknik för snabb och riskfri installation av kanaler, rör och ledningar (se figur 26) [Lahdenperä, 1995].

Transporter och materialadministration

Materialadministrationen på bygget minskar vid monteringsbyggande, vilket underlättar planering och ger mindre spill. Antalet transporter minskar och transporterna blir mer oberoende av varandra. Leveranserna är inlagda i tidplanen vilket gör att de blir lättare att hantera. För att detta skall fungera bra krävs bra planering där resurser finns avsatta vid rätt tidpunkt.

Transporterna blir dock tyngre och det blir fler tunga lyft vilket kräver större krankapacitet och noggrann planering av byggplatsdispositionen. Transportsystemen för prefabelement behöver utvecklas så att lösningar som passar både tillverkare, transportör och monteringspersonal uppnås och lastkapaciteten utnyttjas. Även emballage och lastskydd behöver förbättras för att minimera transportskadorna samtidigt som det är enkelt att demontera emballagen. Vid transport av volymelement med färdig invändig ytbehandling, till exempel färdigkaklade badrumsenheter, ställs extra höga krav på transportsäkringen. Det finns exempel på att kaklet spruckit pga påfrestningar under transporten.

Vid tillverkning av volymelement är det framför allt transportmöjligheterna som begränsar storleken på elementen. De förtillverkade elementen ställer särskilda krav på transportsystemet. Laster på upp till 2,6 m bredd får i Sverige transporteras på vägarna utan särskilt tillstånd, däröver krävs dispens och i vissa fall även följevagn och polis eskort [Hansson, 1994].

5 GENOMFÖRANDE AV ETT PROJEKT MED INDUSTRIALISERAT MONTERINGSBYGGANDE

Förutsättningarna för byggprojekt styrs av många olika faktorer. Beställarens kompetens och byggnadens art är de främsta, men andra faktorer kan också spela in. Förutsättningarna skiljer sig om beställaren är ett bostadsbolag, ett expansivt industriföretag eller en privatperson och om byggnaden är en villa eller en högteknologisk industribyggnad. Det är därför uppenbart att det inte är praktiskt möjligt att finna en processmodell som passar alla projekt. Det är dock möjligt att i stora drag göra en modell för en industriell byggprocess. En sådan modell innefattar processens olika skeden och resultaten av dessa, medan vilka aktörer som deltar i varje skede kan variera.

5.1 Informationsprocess

Informationsprocessen i en industriell byggprocess skulle kunna ha följande förlopp:

Program

Kunden/beställaren skissar upp en projektplan med uppgifter om t ex ekonomi, läge och planerad användning. Sedan vänder han sig antingen till en arkitekt, en entreprenör eller ett projektledningsföretag. I de senare fallen anlitar företaget en arkitekt eller konsult.

Grunden för det fortsatta arbetet är användningen av team, där deltagarna representerar samtliga aktörer och besitter nödvändig kompetens för varje skede. Deltagarna behöver inte vara samma genom hela projektet utan växlar allteftersom arbetsuppgifterna ändras, men det är viktigt att teamet finns med kontinuerligt genom hela projektet för att undvika informationsförluster pga brister i informationsöverföringen mellan olika aktörer.

Arkitekten eller konsulten och kunden gör tillsammans en behovsanalys, en översiktlig rumsplan och dokumenterar kundkrav, t ex angående material- eller teknikval. Krav på specifika tekniska lösningar bör dock undvikas för att möjliggöra för entreprenören att lämna anbud grundade på egna tekniska lösningar.

Arkitekt och konstruktörer utformar utifrån behovs- och kravanalysen, t ex med QFD, en funktionsspecifikation som uppfyller standarder och regler, projektspecifika krav och kundönskemål samt en kvalitetsspecifikation. Även förvaltningspersonal eller någon annan förvaltningskompetens bör delta i arbetet. Arkitekten utformar ett detaljerat rumsprogram och skisser för planlösning och fasadutformning. Informationen lagras lämpligen i en projektdatabas i en sådan form att den är kompatibel med externa informationskällor, t ex erfarenhetsdatabaser, produktmodeller och DFC-verktyg.

Konceptuell projektering

Dessa handlingar utnyttjas för kontraktering av huvudentreprenör/er, om inte sådan redan finns. Entreprenören kan antingen vara knuten till projektören eller projektledningsföretaget genom någon form av partnering, eller så kan en traditionell anbudsupphandling göras. I detta fall ställer kunden och projektledaren upp urvalskriterier som ingår som en del i anbudsinfördran. Eventuellt kan designriktlinjer tas fram och ingå. Anbuderna grundas på entreprenörens egna tekniska lösningar och materialspecifikationer och alla urvalskriterier måste vara uppfyllda. Med tanke på den höga tekniska nivån på installationer bör det bedömas huruvida både bygg- och installationsentreprenörer bör upphandlas samtidigt, eller om entreprenören kan anses besitta tillräcklig kompetens på båda områden och kompletterande upphandlingar kan göras i ett senare skede.

När huvudentreprenör valts fastställs valet av stomsystem och övriga tekniska system, samt principer för modulindelning och gränssnittsutformning. QFD kan utnyttjas för att omvandla funktionskrav till tekniska specifikationer - produktionskriterier i Huovilas m fl [1995] modell - för de olika systemen, med hjälp av riktlinjer för samordning av olika tekniska system. Redan i detta skede bör DFC-verktyg utnyttjas för att åstadkomma god byggbarhet. Utnyttjandet av DFC-verktyg möjliggör också en effektiv fortsatt projektering.

Arkitektens skisser justeras för att passa det valda stomsystemet. När stomval gjorts kontrakteras en eller flera stomleverantörer, som deltar i stomprojekteringen. Beroende på system- och metodval görs också en modulindelning i den första delen av projekteringen. Modulindelningen görs av huvudentreprenören och projektörerna gemensamt. Stommen kan bestå av separata moduler eller ingå i andra moduler, som i volymelement. Därefter kontrakteras leverantörer - tillverkare eller underentreprenörer - av de olika modulerna, som deltar i den fortsatta projekteringen. Leverantörerna bör upphandlas av huvudentreprenören, i samråd med övriga aktörer. Leverantörerna kan antingen väljas med utgångspunkt i ett partneringsamarbete mellan företagen, eller genom traditionell anbudsupphandling.

Modulerna bör vara så funktionellt- och produktionstekniskt oberoende som möjligt. På så sätt kan utformningen och produktion av de olika modulerna bedrivas parallellt, och leverantörerna kan välja egna tekniska lösningar för att uppfylla de ställda kraven. Om modulerna är funktionellt oberoende kan de funktionstestas innan de monteras och därmed undviks störningar i monteringen. Modulindelningen påverkar även monteringsordning och transportbehov. Det är därför viktigt att produktionsplaneringen samordnas med byggnadsutformningen i detta skede. Även möjligheterna till brukarinflytande i senare skeden kan påverkas av modulindelning och monteringsordning. T ex ställer användning av volymelement krav på tidigare beslut eftersom de måste komma på plats redan vid stomdrivning.

Kompatibiliteten mellan modulerna fastställs dels genom standardiserade gränssnitt och toleranser, dels genom utnyttjandet av en gemensam produktmodell där de olika modulerna ”provmonteras”. En gemensam projektdatabas med en enda produktmodell från vilken produktionsdata hämtas är ett effektivt sätt att undvika ändringar och störningar i produktionen.

Detaljprojektering

Projekteringen görs i form av en produktmodell kopplad till projektdatabasen. Med lämplig mjukvara och referensbibliotek kan en enda modell utnyttjas för såväl konstruktion och dimensionering som produktions- och monteringsplanering. Tack vare att alla intressenter deltar i arbetet underlättas produktionsplanering, och såväl byggbarhetsfrågor som drift- och underhållsfrågor kan vägas in. Vid stomprojekteringen planeras även vertikala installationsschakt. För att möjliggöra flexibla lösningar och underlätta drift och underhåll bör installationerna om möjligt inte vara integrerade med stommen. På så sätt underlättas individuella anpassningar av längheter och en gradvis mer detaljerad projektering och ändringar i installationsdragningen ger inte upphov till ändringsarbeten på redan färdiga element. Tack vare att gränssnitten är fastställda kan produktionshandlingar för färdiga moduler tas ut ur databasen och produktionen påbörjas parallellt med den fortsatta projekteringen.

Produktion

Tack vare att endast en produktmodell utnyttjas och produktionsplaneringen bedrivs parallellt med projekteringen kan komplett och felfri information för produktionen hämtas ur projektdatabasen när den behövs. Den information som hämtas ur databasen bör ha en sådan form att ingen manuell behandling krävs, dvs ritningar, tidplaner, listor eller filer för styrning av automatisk tillverkning.

Systematisk erfarenhetsåterföring bör utnyttjas under hela projektet, men är särskilt viktig i produktionsskedet. Under produktionen sker erfarenhetsåterföring, dels genom avstämning av tids- och kostnadsplaner mot projektdatabasen och dels genom dokumentation av eventuella problem. Det är också lämpligt att projektörer och leverantörer aktivt får ta del av denna information t ex genom möten och besök på byggplatsen. Detta för att undvika att samma problem uppstår senare i projektet eller i andra projekt.

Idrifttagning

Idrifttagningen är ett känsligt skede i byggprocessen. För att denna skall fungera så bra som möjligt krävs att relevant information kan överföras från producent, dvs projektörer, leverantörer och entreprenörer, till konsument, dvs förvaltare och brukare. Därför bör informationen i projektdatabasen kunna utgöra grund för informationshanteringen i förvaltningsskedet, t ex genom att produktmodellen innehåller information om material, drift och skötsel. Med lämplig mjukvara kan då exempelvis underhållsplaner, driftsinstruktioner mm enkelt tas fram. Idrifttagningen underlättas också om förvaltningspersonalen ingår i projektteamet redan tidigt i projektet. De kan då vara med och påverka utformning och får en bättre kännedom om byggnaden och dess system.

Vid färdigställandet överlämnar huvudentreprenören byggnaden till kunden och ansvarar också för slutresultatet.

Drift och förvaltning

Informationsprocessen är inte avslutad i och med att byggnaden tagits i drift. Erfarenhetsåterföring från driften är viktigt för produktutvecklingen och utformningen av nya byggnader. Därför bör systematisk erfarenhetsåterföring från drift och skötsel eftersträvas. Ett mer omfattande producentansvar för byggnaden och nya sätt att driva projekt, där entreprenören ansvarar för driften under den första perioden, t ex BOT, kan förmodligen att underlätta denna del i processen.

5.2 Fysisk process

Den fysiska processen i en industriell byggprocess skulle, något förenklat, kunna ha följande förlopp:

Fabrikstillverkning

Modul- och komponentleverantörerna tillverkar sina produkter i fabriker, där kvalitet och funktion testas i så stor utsträckning som möjligt. Tillverkningsdata hämtas ur projektdatabasens produktmodell.

Prefabricering av moduler eller komponenter på fabrik ger fördelar dels genom möjligheten till parallell produktion, vilket leder till kortare projekttider, och dels genom att tillverkningen sker i en skyddad miljö med goda möjligheter till kvalitetskontroll. Fabrikstillverkning ger också bättre möjligheter att införa automatik och robotar i tillverkningen än vad platstillverkning ger.

Logistik

Leveranser till byggplatsen sker *just in time*. Genom att leverans- och monteringsplaner finns integrerade i projektdatabasen, till vilken de flesta leverantörerna har tillgång, och kontinuerliga avstämningar görs kan detta fungera utan att det blir några förseningar. EDI-kommunikation mellan byggplats, inköpsavdelning och leverantörer underlättar också leveransplaneringen. Genom att leveranserna sker JIT minskar behovet av lageryta på byggplatsen och risken för skador på byggmaterialet minskar.

Genom att vid lossning placera komponenter eller moduler där de skall byggas in minskar behovet av transporter inom byggplatsen och tidsspill i form av onödig hantering. Ny robotteknik i form av autotruckar kan också komma att effektivisera transporter inom byggplatsen.

Platstillverkning

Platstillverkning av komponenter och moduler kan ske antingen i en fältfabrik eller direkt på inbyggnadsplatsen. En fältfabrik är att föredra ur effektivitetssynpunkt. Tillverkningen kan vara antingen tillverkning av en komponent från råvara eller förmontering av en modul bestående av flera förtillverkade komponenter. Orsaken till att flytta viss tillverkning från fabrik till byggplatsen är främst att underlätta och

effektivisera transporterna, men även att möjliggöra en bättre anpassning till förhållandena på platsen.

Montering

Monteringen kan ske antingen med leverantörens egen personal, eller med entreprenörens personal. I det senare fallet kan det vara lämpligt om leverantören bidrar med personal som kan samordna och leda arbetet. Om entreprenörens personal sköter montaget är det lättare att utforma och använda multifunktionella team där arbetarna klarar av monteringen av komponenter från olika leverantörer. Därmed undviks de samordningssvårigheter som uppstår om varje leverantör skall montera sina egna komponenter och byggandet blir snabbare och produktiviteten och effektiviteten ökar.

Det är möjligt att tänka sig att en entreprenör ansvarar för montering av alla moduler om installationerna utförs som plug-in enheter. Installationsentreprenaden skulle då begränsas till anslutning av installationsenheterna till elsystem och ventilations-, värme- och VS-anläggningarna. Troligare är dock att en entreprenör kommer att ansvarara för montering av byggmoduler och en, eller eventuellt flera, för installationerna.

Komplettering

Oavsett hur väl utformade modulerna är kommer det alltid att krävas vissa kompletteringsarbeten. Det kan röra sig om ytskikt, snickeridetaljer och fasader. Golvavjämning, grängning, spackling och murning är arbeten som kan automatiseras och det finns redan prototyper på robotar eller semiautomatiska system för denna typ av arbeten. Det är också möjligt att multifunktionella team kan utnyttjas för kompletteringsarbeten.

6 SLUTSATSER OCH DISKUSSION KRING RESULTATEN

6.1 Kunskapsöverföring från fast industri till byggandet

Detta arbete har i stor utsträckning behandlat överföring av kunskaper från fast industri till byggindustrin. Detta är en fråga som har stor aktualitet med tanke på den goda utveckling av produktivitet, kvalitet och effektivitet, både i produktionen och i logistik och administration som skett i många olika industrisektorer, inte minst bilindustrin. Försök att utnyttja kunskaper från fast industri i byggandet har också gjorts i ett flertal uppmärksammade projekt under de senaste åren.

En viktig utgångspunkt för arbetet har varit att klargöra vilka skillnader och likheter som finns mellan fast industri och byggandet, eftersom detta rimligen måste påverka möjligheterna till kunskapsöverföring till byggandet. Det finns mycket som skiljer byggindustrin från övrig tillverkningsindustri och i många fall har dessa skillnader sin grund i produktens - byggnadens eller byggnadsverkets - egenskaper, men även produktionens egenskaper spelar en stor roll. Frågan är huruvida dessa skillnader hindrar, möjliggör eller rentav underlättar kunskapsöverföringen. De slutsatser som kan dras utifrån detta arbete är att byggandets egenheter inte hindrar överföring av kunskap och erfarenheter från tillverkningsindustrin och i många fall underlättar denna process. För att tillämpning av dessa kunskaper skall fungera krävs dock att teknik och metoder hämtade från fast industri anpassas efter byggandets förutsättningar och inte tvärtom.

6.2 Modulanvändning i byggandet

Användning av moduler har fått stor utbredning i många olika tillverkningsindustrier. I princip så innebär det att produkter sätts samman av standardiserade komponenter, moduler. Genom att utforma dessa så att största möjliga antal komponenter kan användas i de olika produktvarianterna kan lagerhållningen minskas och produktutvecklingstiden kortas ned samtidigt som produktsortimentet ökas.

En sådan utveckling är naturligtvis önskvärd även i byggandet. De flesta byggnader har i princip en liknande uppbyggnad med många komponenter av samma typ, vilkas utformning i princip är gemensam för alla byggnader. En byggnad borde därför teoretiskt sett kunna modulariseras enligt den modell som används i fast industri.

Det är dock svårt att se en direkt överföring av modulsystematiken så som den fungerar i fast industri, där standardiserade komponenter utnyttjas till flera modeller av samma produkt, till byggandet. Även om en mer integrerad projekteringsprocess kan ge underlag för utnyttjande av en viss andel standardbyggkomponenter, i huvudsak samma som idag t ex trappor, snickerier och inredning, så kommer många komponenter specialtillverkas för varje projekt. IT och CNC, liksom en ny produktionsfilosofi där just in time-leveranser och enstyckstillverkning är medel att nå lönsamhet, stöder en sådan utveckling. Modulsystematiken i byggandet bör i stället främst inriktas på gränssnittsstandardisering, indelning av byggnaden i funk-

tionellt- och produktionstekniskt fristående delar, samordning mellan tekniska system samt utvecklandet av verktyg för att åstadkomma flexibilitet och byggbarhet. Motsvarande frågor är centrala vid modulutveckling i fast industri, varför det torde vara möjligt att överföra kunskap om och metoder för modulanvändning från fast industri till byggandet.

Det är inte modulindelningen som är det väsentliga utan möjligheterna att sätta samman modulerna. Byggbarhet och monterbarhet är eftersatta områden i byggindustrin, vilket medverkar till att utvecklingen av nya produkter endast ger marginella förbättringar för tidsåtgång och kostnader. Genom att aktivt utveckla gränssnitt, byggnadsindelning och byggsystem så att byggbarheten främjas kan en rad positiva effekter uppnås genom hela byggprocessen, från beställning till rivning, inte bara ur teknisk synvinkel utan även ur organisatorisk genom bättre möjligheter till teamarbete och kontinuitet. Erfarenhetsåterföring är mycket viktigt, det är väsentligt att kunna återanvända och vidareutveckla goda tekniska lösningar och välja bort mindre fördelaktiga.

6.3 Utveckling av en industriell byggprocess

En förändring av byggandet förefaller vara nödvändig för att kunna uppnå de produktionsförbättringar som krävs för att uppfylla de krav som ett modernt samhälle ställer. I förändringsprocessen är det omöjligt att inrikta sig enbart på enskilda delar som process, organisation eller byggteknik och det är heller inte möjligt att studera enbart utvalda skeden i byggprocessen. Utveckling enligt dessa modeller kan förvisso ge stora förbättringar, men för att få riktigt genomgripande förbättringar måste de olika delarna i ett byggprojekt ses som en helhet och processen som en kontinuerlig utveckling och inte klart avstykade skeden.

För att åstadkomma ett mer industriellt arbetssätt i byggandet kommer det att krävas stora utvecklingsinsatser. På grund av branschstrukturen är det nödvändigt att dessa insatser till stor del är gemensamma för hela branschen. Om inte alla parter i byggprocessen är överens om vilket arbetssätt som skall användas omöjliggörs den integration av de olika skedena i processen som är en nödvändighet för att åstadkomma de förbättringar i produktivitet och kvalitet som uppvisats i tex bilindustrin. Branschen måste byta samarbetsformer, från det kortsiktiga utnyttjandet av priskonkurrens som idag i stor utsträckning utnyttjas vid upphandling till mer långsiktiga affärsförhållanden präglade av öppenhet och gemensamma vinstintressen.

De idéer som ligger till grund för utvecklingen av *lean construction* har i många fall en helhetssyn på byggandet. En fortsatt utveckling av *lean construction* förefaller därför vara en möjlig väg att nå de förbättringar som eftersträvas. Särskilt viktigt är det att utveckla former för samarbete och samordning som underlättar integrationen, dels mellan de olika skedena i byggprocessen, dels mellan aktörer i respektive skede. Framförallt är det användandet av multifunktionella team som kan leda fram till en högre integrationsgrad.

Informationsteknikens snabba utvecklingstakt och utvecklingen av *computer integrated construction* kommer också spela en viktig roll för utvecklingen av byggan-

det. Utformandet av gemensamma datastrukturer och standarder för datakommunikation är utvecklingsområden som bör prioriteras, eftersom branschstrukturen och de affärsformer som används inte ger incitament för enskilda företag att satsa på egen IT-utveckling. Först när branschgemensamma riktlinjer för strukturer och kommunikation kommit till stånd kan CIC få riktig genomslagskraft. På sikt kommer dock IT att kraftigt att påverka byggandet och driva fram nya arbetsformer.

Det förefaller också som att det i byggbranschen finns ett intresse för att söka nya samarbetsvägar, med en mer långsiktig inriktning. Det verkar finnas en vilja att reducera antalet aktörer i byggprojekten genom att huvudentreprenörerna tar ett mer omfattande ansvar. Ett exempel är entreprenörer som driver projekt med totalinstallationer, där de tar ansvar för samtliga installationer. På så sätt skall samordningen förbättras och byggprocessen kunna bedrivas effektivare. Det har också blivit vanligare med en integrerad projekterings- och produktionsprocess.

Samtidigt blir dock specialiseringen på arbetsplatserna allt större. Underentreprenörer specialiserade på ett smalt område anlitas i stället för att anställa arbetare. Om planeringen och samordningen är mycket noggrann och allt går som planerat så leder detta till vinster både tids och kostnadsmässigt. Brister det dock på någon punkt leder det till tidsspill i form av väntan, onödiga ändringar och ett alltmer pressat tidsschema. I kombination med en bitvis bristande förståelse hos entreprenörerna för vad som är den egentliga produkten - byggnadens funktion, inte projektet - och en beställarroll som inte alltid matchar kunnande med ansvar så leder det i förlängningen till kvalitetsbrister.

För att komma till rätta med detta krävs enligt författarens mening utveckling av ny bygg- och produktionsteknik som effektiviserar byggandet och underlättar en samordnad produktion. Denna utveckling måste ha sin grund i nya entreprenadformer som gynnar samarbete mellan projektörer och entreprenörer och som ger frihet att söka nya lösningar.

Beställaren har dock en mycket viktig roll i byggprocessen, eftersom det i princip är han som avgör hur processen kommer se ut genom val av entreprenadform. Så länge det inte finns ett trovärdigt produktansvar, ur funktions-, kvalitets- och livscykelkostnadshänseende, så finns det ingen motivation för beställarna att välja entreprenadformer som främjar en utveckling mot en mer industriell process och utan en förändrad byggprocess är det svårt att sänka byggkostnaderna till den nivå som efterfrågas.

KÄLLFÖRTECKNING

Litteratur

- Abrahamsson M (1992) *Tidsstyrd direktdistribution*. Studentlitteratur, Lund.
- Adler P (1995) *Bostadsbyggande: på väg mot öppen industrialisering*. AB Svensk Byggtjänst, Stockholm.
- Agerberg M (1997) Modulbyggda bussar ger Scania försprång. *Ny Teknik*, nr 39, s 19.
- Aktuellt bostadsprojekt i Hammarbyhöjden bevisar: "Småprefabteknik" lönsamt även i mindre projekt. (1996) *Husbyggaren*, nr 2, ss 14-15.
- Andersson R (1991) *QFD: Ett system för effektivare produktframtagning*. Studentlitteratur, Lund.
- Appelqvist I & Keijer U (1995) *Sammanbyggnadsteknik: problemanalys och felklassificering*. TRITA-BKN. Rapport 12, Brobyggnad, Institutionen för byggkonstruktion, Kungl Tekniska Högskolan, Stockholm.
- Berg S (1997) Den digitala byggplatsen är här! *Aktuella byggen*, nr 1, ss 151-153.
- Bergqvist P (1996) Forskare lär industrin hitta rätt bland modulerna. *Ny Teknik*, nr 40, ss 36-37.
- Bertfelt O (1996) Det går att bygga med hög kvalitet till låg kostnad. *Byggindustrin*, nr 16, s 34.
- Betongelement. Handbok i rationellt byggande* (1997) Betongelementföreningen, Bromma.
- Blach K & Zachariassen H (1989) *Modulprojektering i praksis. Byggetekniska detaljer fra fem modulprojekterede byggerier*. SBI-anvisning 164, Statens Byggeforskningsinstitut SBI, Hørsholm.
- Blach K, Harrison H, Volbeda A (1986) *Systematic survey of key junctions in a building*. CIB Report No. 93, An Foras Forbartha, Dublin - SBI Statens byggeforskningsinstitut, Hørsholm.
- Blach K & Kjær B (1975) *Samlinger. Sammenbygningsprincipper for byggekomponenter*. SBI-anvisning 99, Statens byggeforskningsinstitut, Hørsholm.
- Blach K & Kjær B (1987) *Udvikling af fleksibelt byggeri*. SBI-anvisning 155, Statens byggeforskningsinstitut, Hørsholm.
- Boothroyd G, Dewhurst P, Knight W (1994) *Product design for manufacture and assembly*. Marcel Dekker, New York.
- Bröchner J (1995) Pattern transfer: Process influences on Swedish construction from the automobile industry. I: *Lean Construction* [1997] se referens.
- Bröchner J (1996) Sverige och omvärlden. *Byggindustrin*, nr 15, s 34.

- Bygga med öppna system - finska Bostads-BES* (1986) Rapport R1:1986, Byggnadsfunktionslära, Kungl Tekniska Högskolan KTH, Stockholm.
- Cederfeldt L (1996) *Lättbyggnadsteknik för bostadshus med utnyttjande av 3D-teknik*. Byggnadsforskningsrådet BFR, Anslagsrapport 950416. Bloco AB, Stockholm.
- Cederfeldt L (1997) *Modellorienterad projektering av bostadshus med Lättbyggnad - Kv Näktergalen, Ängelholm*. Publikation 163, Stålbyggnadsinstitutet SBI, Stockholm.
- Dahllöf S (1996) Robotar lyfte danskt varv ur krisen. Kan datorn rita - kan roboten svetsa. *Ny Teknik*, nr 40, ss 16-18.
- Dahlquist H (1996) Billigare bygge med teknik från bilindustrin. Stålhus i byggsats. *Ny Teknik*, nr 43, ss 18-19.
- Edgar J-O (1996) 3D-IT revolutionerar byggprocessen. *Väg- och vattenbyggaren*, 3/96.
- Erixon G, Erlandsson A, Yxkull A von, Östergren B M (1994) *Modulindela produkten - halverade ledtider och offensiv marknadsorientering*. Sveriges Verkstadsindustrier, Stockholm.
- Everett J G & Saito H (1996) Construction Automation: Demands and Satisfiers in the United States and Japan. *Journal of Construction Engineering and Management*, June, ss 147-151.
- Finnish building technology* (1992) Juhani Keppo (red.), Technology Development Centre of Finland, TEKES, Helsingfors.
- FIP Planning and design handbook on precast building structures* (1994) FIP Commission on Prefabrication, Fédération Internationale de la Précontrainte FIP. SETO Ltd, London.
- Grennberg T (1996 a) Funktionsentreprenad för effektivare byggande. *Byggindustrin*, nr 17, ss 32-33.
- Grennberg T (1996 b) Byggentreprenörens organisation i en effektiv byggprocess. *Byggindustrin*, nr 18, ss 24-25.
- Groák S (1994) Is construction an industry? *Construction Management and Economics*, 12, ss 287-293.
- Haas C & Åhman P (1996) Automatisering och robotanvändning revolutionerar USAs byggindustri. *Byggindustrin*, nr 19, ss 24-27.
- Hamrebjörk L & Cederfeldt L (1996) Mot ett tumstockslöst byggande. *Väg- och vattenbyggaren*, 2/96.
- Hamrebjörk L (1996) Lättbyggnad - nya material, nya byggmetoder. *Husbyggaren*, nr 7-8, ss 25-29.
- Hansson B (1994) *Volymelement i betong: Produktionsekonomisk analys*. Statens råd för byggnadsforskning BFR, Anslagsrapport 910409. Inst. för byggnadsekonomi TVBP-94/3040, Tekniska högskolan i Lund, Lund.
- Harback H F, Basham D L, Buhts R E (1994) Partnering Paradigm. *Journal of Management in Engineering*, January/February, ss 23-27.

- Hellström A (1996) Hårdare konkurrens bäddar för elementbygge. *Husbyggaren*, nr 2, ss 24-26.
- Hindersson P (1996 a) Per Kämpe, Prefabutveckling: ”En öppnare prefab-marknad möjliggör industriellt byggande”. *Byggindustrin*, nr 7, s 9.
- Hindersson P (1996 b) Teknikupphandling ska ge billigare bostäder. *Byggindustrin*, nr 28, s 9.
- Howell G & Ballard G (1994) Lean production theory: Moving beyond ‘can do’. I: *Lean Construction* [1997] se referens.
- Hunhammar M (1995) IT & designteori kan ge en ny syn på byggprocessen. *Fas-tighetsnytt*, sept/okt, ss 18-19.
- Huovila P, Lakka A, Laurikka P, Vainio M (1995) Involvement of customer requirements in building design. I *Lean Construction* [1997] se referens.
- Hårde U (1993) Bygga stort med volymelement. *Tidningen byggindustrin*, nr 17, ss 25-26.
- Johansson B (1996) Investering i FoU måste betala sig. *Byggindustrin*, nr 13, s 34.
- Jonsson J (1996) *Construction site productivity measurements: selection, application and evaluation of methods and measures*. Byggeforskningsrådet BFR, Anslagsrapport 920032. Avd. för anläggningsproduktionsteknik, Doctoral Thesis 1996:185 D, Tekniska Högskolan i Luleå, Luleå.
- Kangari R & Miyatake Y (1997) Developing and managing innovative construction technologies in Japan. *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 123, No.1, ss 72-78.
- Kartam N A (1996) Making effective use of construction lessons learned in project life cycle. *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 122, No. 1, ss 14-21.
- Keijer U (1994) *Future Organisation of the Building Process: The Building Process Seen as a Complex System*. TRITA-BKN. Report 8, Structural Design and Bridges, Institutionen för byggkonstruktion, Kungl Tekniska Högskolan, Stockholm.
- Koskela L (1993) Lean production in construction. I: *Lean Construction* [1997] se referens.
- Kämpe P (1994) En förändrad byggprocess. *Husbyggaren*, nr 7-8, ss 14-16.
- Kämpe P (1997) Det industriella byggandets Moment 22. *Husbyggaren*, nr 2, ss 16-19.
- Lagerqvist O (1996) När ska man börja köpa hus på funktionsentreprenad? *Byggindustrin*, nr 20, ss 32-34.
- Lahdenperä P (1995) *Reorganizing the building process: The holistic approach*. VTT publications 258, Technical Research Centre of Finland VTT, Espoo.
- Lautanala M (1995) A process approach to design for construction. I: *Lean Construction* [1997] se referens.
- Lean Construction* (1997) Luis Alarcón (red.), A. A. Balkema, Rotterdam.

- Miles R S (1996) Twenty-First Century Partnering and the Role of ADR. *Journal of Management in Engineering*, May/June, ss 45-55.
- Miyatake Y & Kangari R (1993) Experiencing computer integrated construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 119, No.2, ss 307-322.
- Miyatake Y & Åhman P (1997) Japanska byggföretag visar vägen mot framtidens byggproduktion. *Byggindustrin*, nr 8, ss 17-21.
- Modul ABC: anvisningar till svensk standard* (1968) 2. uppl. Byggstandardiseringsringen, Stockholm.
- Nissen H (1982) Open System Characteristics and Prerequisites. *Trends in Industrialized Building in Denmark*. Publication No 42, The Danish Ministry of Housing, Köpenhamn.
- O'Brien J & Åhman P (1996) Australien i täten för användning av byggrobotar. *Byggindustrin*, nr 37, ss 31-34.
- Olson H (1996) IT och nya samverkansformer ger bättre och billigare hus. *Väg- och vattenbyggaren*, nr 1.
- Pajakkala P, Matilainen J, Perälä A-L (1993) *The Finnish construction branch: Markets and R & D*. Technical Research Centre of Finland VTT, Tampere.
- Persson G & Virum H (red) (1996) *Logistik för konkurrenskraft*. Liber-Hermods.
- Persson M H (1997) *Lättbyggnadsteknik för bostadshus i flera våningar*. Förhandsutgåva 1997-05-20, Inst. för byggnadsekonomi, Lunds Tekniska Högskola, Lund.
- Pettersson O (1995) *Traditionellt byggande kontra montagebyggande*. Examensarbete 294, Avdelningen för byggadministration, Kungl. Tekniska Högskolan KTH, Stockholm.
- Putsa fogfritt även på prefabfasad (1997) Redlund M (red.) *Byggindustrin*, nr 36, s 35.
- Ránky P G (1986) *Computer integrated manufacturing: an introduction (with case studies)*. Prentice-Hall International, UK.
- Reinschmidt K F, Griffis F H, Bronner P L (1991) Integration of engineering, design and construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 117, No. 4, pp 756-772.
- Research and development on industrialised building technology* (1995) Technical Research Centre of Finland VTT.
- Rolfsson Jansson C (1997) Modern datorteknik och prefabricerade hus. *Aktuella byggen*, nr1, ss 154-155.
- Rudberg E (1981) *Uno Åhrén. En förgångsman inom 1900-talets arkitektur och samhällsplanering*. Byggeforskningsrådet. Svensk Byggtjänst, Stockholm.
- Sanvido V E, Medeiros D J (1990) Applying Computer-Integrated Manufacturing concepts to construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 116, No. 2, pp 365-379.

Sarja A & Hannus M (1995) *Modular systematics for the industrialized building*. VTT publications 238, Technical Research Centre of Finland VTT, Espoo.

Sarja A (1989) *Principles and solutions of the new system building technology (TAT)*. VTT research reports 662, Technical Research Centre of Finland VTT, Espoo.

Scheer A-W (1991) *CIM Computer Integrated Manufacturing: Towards the Factory of the Future*. Second, Revised and Enlarged Edition. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

Serpell A & Wagner R (1994) Application of Quality Function Deployment (QFD) to the determination of the design characteristics of building apartments. I: *Lean Construction* [1997] se referens.

Tarschys R (1997) Högt i tak i egenritade lägenheter. *Dagens Nyheter*, 27 november 1997.

Wikforss Ö (1993) *Informationsteknologi tvärs genom byggsvetige*. Svensk Byggtjänst, Solna.

Womack J P & Jones D T (1996) *Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation*. Simon & Schuster, New York.

Womack J P, Jones D T, Roos D (1991) *The machine that changed the world: the story of lean production*. HarperPerennial, New York.

Övrigt material

Arcona Ab (1997) Lean Construction. **Fel! Bokmärket är inte definierat.** 8 oktober.

B⁴ - Bo bra bygg billigt. Informationsmaterial från Myresjöhus AB, Vetlanda.

Comfort House - en helt ny måde at bygge på. Rasmussen & Schiøtz Øst A/S, DK.

Engvall F (1996) Nya och nygamla entreprenadformer i USA. *Sveriges Tekniska Attachéer - Notiser och Utlandsrapporter*, **Fel! Bokmärket är inte definierat.** Los Angeles, 19 juli.

Fleximodulen. Informationsmaterial från NCC Bostad, Stockholm.

Florence. Informationsmaterial från Scanian housing center, Båstad.

Hökarängen. En stadsvandring i Familjebostädernas kvarter. (1998) Familjebostäder, Stockholm.

Kerrostalo 3000. LVI-Keskusliitto Ry, Helsingfors.

Mekano 1:1. Informationsmaterial från Creacon Consult AB, Halmstad.

MiljöModulen: Ett komplett lätt stålbyggnadssystem till flervåningsbyggnader för bostäder, kontor och hotell. Terra Firma Gothia AB, Bjärred.

Play it again Sam. Informationsmaterial från AB Projektgaranti, Linköping.

Puistokartano. Uudenlaista kerrostaloasumista - koti elämäntilanteesi mukaan. Asunto Oy, Espoo.

STEN/CTEN. Informationsmaterial från Creacon Consult AB, Halmstad.

Struimus. Informationsmaterial från Concrete Volumes Sweden AB / L. Öhmans Bygg AB, Ljusdal.

VVO - creating milieu for the year 2000. VVO Rakennuttaja Oy, Helsingfors.

Personer

Peter Adler
arkitekt SAR

Lars-Åke Beckstrand
NCC Hus, NCC AB

Lars Cederfeldt
Bloco AB

Erik Eken
NCC Bostad, NCC AB

Per Hallgren
Tyréns Byggkonsult AB

Sören Hed
Bloco AB

Hans Henriksson
NCC Hus, NCC AB

Agge Holmqvist
NCC Bostad, NCC AB

Ola Karlsson
NCC Bostad, NCC AB

Per Kämpe
Prefabutveckling AB

Merja Laitinen
NCC Poulimatka Oy

Sune Lindell
NCC Hus, NCC AB

Börje Pettersson
NCC Hus, NCC AB

Gunnar Rise
Strängbetong AB

Väino Tarandi
Institutionen för Fastigheter och Byggnad, KTH

Peeter Trepp
NCC Bostad, NCC AB

Thorsten Wanngren
Stockholms Kooperativa Bostadsförening SKB