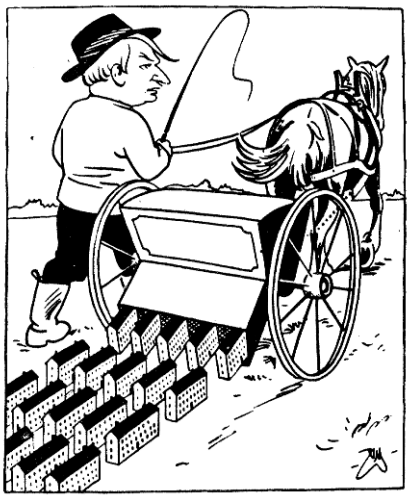
# Kravhantering, produkt- och projektutveckling av industriella byggkoncept



Thomas Olofsson, Luleå tekniska universitet
Anders Rönneblad, Cementa AB
Björn Berggren, Skanska Sverige AB
Lars-Olof Nilsson, Lunds tekniska högskola
Carl Jonsson, Skanska Sverige AB
Ronny Andersson, Cementa AB
Linus Malmgren, Lunds Tekniska Högskola

# Förord

Föreliggande rapport sammanfattar resultaten från SBUF projektet 11931 - Kravhantering i koncept-byggande där syftet har varit att beskriva metoder för konceptutveckling av plattformar i ett mer industriellt byggande. Utvecklingen av ett nytt koncept inkluderar både plattformen samt processut-veckling. Den så kallade projektleveransfasen, det vill säga enskilda byggprojekt, är också enligt defi-nitionen för industriellt byggande skild från konceptutvecklingen. Brukarkraven definierade av den boende, fastighetsägaren eller av byggherren och samhället ska säkerställas. Den slutliga produkten måste uppfylla såväl de övergripande konceptkraven som de projektspecifika kraven. Det senare innehåller förutom brukarkrav även de yttre förutsättningarna såsom geografisk lokalisering, grund-läggningsförutsättningar etc. När de funktionella kraven slutligen vägs samman för att sammantaget få en slutprodukt som väl överstämmer med de olika intressenternas krav, bör därför betydelsen av att använda ett helhetsperspektiv starkt betonas. Speciellt har metoder och systemanalysmodeller samt kopplingar till analysmodeller för fuktsäkerhetsprojektering och energiberäkningar att studeras.

Luleå den 28 juni 2012 för projekt gruppen

Thomas Olofsson
Professor, byggproduktion
Luleå tekniska universitet

# Sammanfattning

I ett industriellt byggande måste krav och önskemål hanteras i två utvecklingsfaser dels i den normala byggprocessen, s.k. projektutvecklingsfas, dels när det industriella konceptet utvecklas i en separat produktutvecklingsprocess, som är åtskild från byggprocessen. När produktutvecklingsfasen är genomförd, ska den på något sätt paketeras, lanseras, tillämpas och förvaltas.

Plattformar och produktfamiljer är begrepp som används för att beskriva utvecklingen av strategier för s.k. "mass customization" i den fasta industrin, d v s sättet att med bibehållen skalfördel i massproduktionssystem kunna anpassa produkten efter kundens önskemål. Det innebär att ägaren av ett byggkoncept skall utveckla dessa plattformar för projektering, produktion och försörjningskedjor som sedan används i projektutvecklingen av konceptet till färdig byggnad. Alla koncept måste projektutvecklas till viss del, d v s anpassas till platsen. Hur stor del som konceptet specificeras i förväg, d v s i teknik och processutvecklingsskedet styr också i hög grad hur byggprocessen behöver förändras.

Dagens utvecklade byggsystem har olika flexibilitet, förtillverkningsgrad och integration av leverantörskedjor. Vilket innebär att möjlighet till kundanpassning varierar. Det är också viktigt att komma in tidigt i beställarens byggprocess för att kunna erbjuda alternativ som passar. Förutom krav som totalentreprenad, kan lokala detaljplaner, illustrationsplaner och skisser innefatta krav som kullkastar användande av ett utvecklat koncept. Industriella byggare måste därför utveckla mer geometriskt flexibla byggkoncept än idag så att de bättre kan uppfylla framtida detaljplaners bestämmelser och intentioner.

Resultaten från kravhanteringen visar att kravbild och kravnivåer är fragmenterade och olika för olika kravställare. En övervägande del av kraven ska beaktas i projekteringsskedet. Koncept som har hög grad av standardisering så måste byggherren tydligt tjäna tid, pengar och kvalitet på att anstränga sig för att anpassa sitt projekt till plattformen. Kravhantering ersätts i princip med en säljprocess där byggherren/kunden har att ta ställning till ett antal val. Görs oförutsedda avsteg från ett sådant koncept förlorar man snabbt vitsen med industrialiseringen.

I projektutvecklingen, d v s när konceptet skall anpassas till kund och plats, kan prestandaanalyser förenklas avsevärt. En stor del av konceptets egenskaper eller indata kommer att vara gemensamt och på förhand känt, d v s endast de egenskaperna som varieras (påverkas av kundanpassningen) behöver definieras. I fallstudien demonstrerades detta med en utvecklad applikation för energianalyser i ett projektutvecklingsskede.

Fallstudien med avseende på konceptutveckling av en betongvägg visar att hög energiprestanda och fuktprestanda ej behöver stå i motsats till varandra. Den valda lösningen av de konceptutvecklade betongväggen gav knappt märkbar försämring av fuktprestanda samtidigt som energiprestandan förbättrades väsentligt. Vidare så kunde anslutningen förbättras utan att påverka det arkitektoniska uttrycket. En observation som gjordes i detta arbete var att modularisering med avseende på funktion krävdes. Metodiken som utvecklades i fallstudien lämpar sig mycket väl i ett industriellt byggande baserat på tekniska plattformar där en stor del av de tekniska lösningarna, komponenter och basmoduler är definierade.

Vi tror att industrialiserat byggande har en framtid men att det kommer under en lång tid att ske i avgränsade nischer medans de stora förändringarna kommer att ske när dagens platsbyggda flerbo-

stadshus övergår till i att allt högre grad baseras på byggsystem och plattformstänkande. En intressant utveckling blir när standardisering av komponenter och processer integreras i plattformar där effektivitetsvinster kan göras i alla led i byggprocessen från projektering och inköp till produktion och montering på plats.

# Begrepp och akronymer

***AHP*** - Analytical Hierarchical Process utvecklat av T.S Saaty är ett beslutsverktyg för att med parvisa jämförelser utvärdera olika alternativ.

***Axiomatisk design*** - är en design teori utvecklat av N.P. Suh för att identifiera och bryta ned kundbehov till funktionskrav, produktparametrar och produktionsvariabler.

***BBR*** - Boverkets byggregler

***BIM*** - Bygginformationsmodell är all information som genereras och förvaltas under en byggnads livscykel strukturerad och representerad med hjälp av (3D) objekt där objekt kan vara byggdelar, men även mer abstrakta objekt såsom utrymmen, processer med mera. BIM-modellering är själva processen att generera och förvalta denna information. BIM-verktyg är de IT-verktygen som används för att skapa och hantera informationen.[1]

***CAD*** - Computer Aided Design, står ofta för verktygen, datorsystemen som används för att skapa digitala modeller.

***ERP*** - Enterprise Resource Planning eller affärssystem på svenska står för de datorsystem och verktyg som används för knyta ihop ett företags affärsverksamhet som försäljning, inköp, hantering av löner och produktionsresurser med mera.

***Leagile*** *produktionssystem* – Uppströms kundorderpunkten produceras komponenter och moduler som ingår i alla produktvarianter, mot en prognostiserad försäljningsvolym. Efterfrågan blir jämn och produktionen kan taktas enligt lean principer. Nerströms kundorderpunkten varierar efterfrågan både till volym och variant av produkt. Produktionssystemet görs mer "agile" för att snabbt kunna färdigställa produkten efter kundens önskemål.

***Koncept*** – Ett koncept kan även beskrivas som en tänkt lösning på ett givet problem. Ett koncept i detta fall definieras som ett byggsystem eller plattform som kan vara utvecklad i olika grad som utvecklas och förvaltas av en organisation. Ett koncept utvecklas i en produktutvecklingsprocess och tillämpas i projektutvecklingen i det enskilda byggprojektet.

***Konfigurering*** – Att konfigurera innebär att man använder modulerna i en plattform för att projektanpassa sin produkt till den specifika kunden.

***MADM*** - Multi Attribute Decision Making. I praktiska problem har man ofta ett ändligt antal kriterier att utvärdera för ett fixt antal alternativ. Denna typ av problem brukar klassificeras som MADM problem.

***Modularisering*** - I en modulär produktplattform grupperas komponenter i moduler som har en eller flera specifika funktioner. Modulerna med definierade gränssnitt kan sedan sättas samman till en eller flera produktvarianter . I ett modulärt produktplattformskoncept ersätts projekteringsprocessen av en konfigureringsprocess.

---

[1] Jongeling, R. (2008). *BIM istället för 2D-CAD i byggprojekt: en jämförelse mellan dagens byggprocesser baserade på 2D-CAD och tillämpningar av BIM*, Research report 2008:04, Luleå tekniska universitet.

***MFD*** - Modular Function Deployment är en metod som bygger på QFD för att identifiera drivkrafter för modularisering samt att utveckla modulariserade produkter. Drivkrafter identifieras i en s.k. MIM matris, (Modul Indication Matrix).

***QFD*** - Quality Function Deployment (QFD) stödjer omvandlandet av kundens behov och krav till tekniska egenskaper för produkter eller tjänster genom hela produktutvecklingsprocessen. House of Quality är ett verktyg eller metod som kan användas i QFD processen

***PDM*** - Product Management System är verktyg för att hantera en produkts struktur över hela dess livscykel. PLM (Product Lifecycle Management) är den affärsmässiga kontexten i vilket PDM är implementerat. PLM och PDM används ofta för att beskriva samma sak.

***PFMP*** - Product Family Master Plan, ett verktyg som utvecklats av Harlou och Nielsen för att beskriva produktfamiljer och dess varianter.

***Plattform*** – En plattform är ett affärsstrategiskt verktyg som definierar villkor inom vilket ett byggprojekt ska hålla sig inom. En plattform består av standardiserade komponenter och processer med etablerade relationer med leverantörer och underentreprenörer samt kunskap hur plattformen skall tillämpas i det enskilda byggprojektet. Plattformar delas ofta in i kategorier som t. ex metodplattformar, produktplattformar, processplattformar och försörjningsplattformar.

***Projektutveckling*** – Ett projekt definieras av en fysisk tomt och innefattar planering och byggande av en eller flera produkter på en specifik tomt.

***Produktfamilj*** – Definieras som produktvarianterna som kan framställas ur ett koncept. I mer slutna koncept med färre valmöjligheter ersätts projekteringen av en säljprocess där prestandadokument och bygghandlingar är i huvudsak framtagna i förväg. I mer öppna koncept där en större del av byggnaden består av unika lösningar har en mer traditionell projekteringsprocess.

***TVE*** - Timber Volume Element , en förkortning för volymbaserade träbyggsystem.

# Innehållsförteckning

Förord ... 1
Sammanfattning ... 3
Begrepp och akronymer ... 5
Innehållsförteckning ... 7
1 Introduktion ... 11
1.1 Bakgrund ... 11
1.2 Syfte och mål ... 14
1.3 Avgränsningar ... 15
1.4 Läsanvisning ... 15
2 Industriellt konceptbyggande och plattformar ... 17
2.1 Introduktion ... 17
2.2 Affärsmodeller, marknad och värdekedjor ... 18
2.3 Produkten - erbjudande till kund ... 21
2.4 Plattformar och byggsystem ... 22
2.5 Exempel på utvecklade industriella koncept ... 25
3 Teori och metoder för utveckling av industriella plattformar ... 27
3.1 Introduktion ... 27
3.2 Axiomatisk design ... 29
3.3 House of Quality och Quality Function Deployment (QFD) ... 33
3.4 Modular Function Deployment (MFD) ... 35
3.5 Lean- Agile organisation av försörjningskedjan ... 38
4 Intressenter, krav, prestanda och beslutprocess ... 40
4.1 Olika intressenters inflytande och krav ... 40
4.1.1 Samhälle ... 41
4.1.2 Konceptägare ... 42
4.1.3 Byggherre/fastighetsägare ... 43
4.1.4 Brukare ... 43
4.2 Från ställda krav till utvärdering av prestanda ... 44
4.2.1 Kundkrav och önskemål till funktionskrav och prestanda ... 44
4.2.2 Beslutsprocess, beslutsstöd och utvärderingskriterier ... 46
4.3 Kravhantering i ett konceptbyggande ... 50

4.3.1 Inledning ... 50
4.3.2 Kategorier av krav ... 50
4.3.3 Kravanalys ... 51
5 Konceptutveckling och projektutveckling ... 55
5.1 Utvecklingsstrategier ... 55
5.2 Konceptutvecklingsprocess och koncepthandlingar ... 58
5.3 Prestandaanalyser och systemmodeller ... 59
5.4 Projektutveckling ... 62
5.4.1 Exempel på tillämpning av koncept i projektutveckling ... 62
5.4.2 Prestandaanalys i projektutvecklingsskedet ... 64
5.5 Informationsstrukturer ... 65
5.5.1 Vyer ... 65
5.5.2 Product family master plan ... 65
5.5.3 Industriella informationssystem ... 66
5.5.4 PFMP för Skanska moderna hus ... 67
6 Fallstudier ... 69
6.1 Introduktion ... 69
6.2 Det industriella byggandets förutsättningar och detaljplaner ... 69
6.2.1 Steg för steg ... 69
6.2.2 Sammanfattning av svårigheter som uppkom i fallstudie ... 74
6.3 Kravanalys mot befintligt koncept ... 75
6.4 Geometriska ändringar - fallet alternativ placering av entrédörr ... 77
6.4.1 Fallstudiebeskrivning ... 77
6.4.2 Genomförda förändringar ... 78
6.4.3 Slutsatser av fallstudien ... 80
6.5 Prestandaanalyser i ett projektutvecklingsskede ... 81
6.5.1 Inledning ... 81
6.5.2 Fallstudie - automatiserade energianalyser ... 81
6.5.3 Fallstudie - beslutsstödsystem i konfigurering av industriella koncept ... 83
6.6 Modularisering och effektsamband - konceptutveckling av en betongyttervägg med avseende på energi- och fuktprestanda ... 85
6.6.1 Bakgrund ... 85
6.6.2 Beskrivning av anslutning och metod för utvärdering ... 86
6.6.3 Resultat ... 88

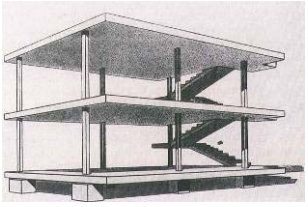
6.6.4 Diskussion ... 89
7 Slutsatser ... 91
7.1 Detaljplaner ... 91
7.2 Kravhantering ... 91
7.3 Geometriska ändringar i ett standardiserat koncept ... 91
7.4 Prestandaanalyser och konfiguratorer i ett projektutvecklingsskede ... 92
7.5 Konceptutveckling med avseende på energi- och fuktprestanda ... 92
7.6 Sammanfattande slutsatser och fortsatt utveckling ... 92
8 Referenser ... 95

# 1 Introduktion

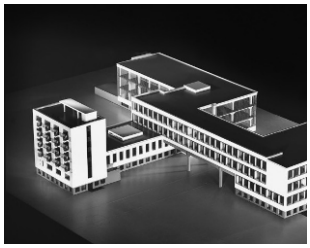
## 1.1 Bakgrund

Byggandet i Sverige präglades fram till 1800-talet av hantverksmässighet och nedärvda traditioner. I takt med industrialiseringen av samhället öppnades nya möjligheter att arbeta med repetition även inom byggandet. Repetition kräver måttnoggrannhet och det kunde åstadkommas med hjälp av maskindragna spikar och sågade trävaror. Arkitekten Fredrik Blom antog utmaningen att kombinera lättheten och flexibiliteten i en tältkonstruktion med hållbarheten hos ett vanligt hus när han skapade sina *Maisons mobiles* – flyttbara hus – på 1820-talet. De flyttbara husen blev internationelltkända och vid 1840 hade c:a 140 byggnader producerats i fabriken vid Hötorget. En ny marknad öppnade sig när emigrationen till främst Amerika tog fart. Särskilt från England skickades nedmonterade stugor med emigranterna på skeppen för att monteras samman vid ankomsten t.ex. i Australien där ett flertal *Portable Manning Cottages* fortfarande finns kvar. Under lång tid förbjöds de engelska kolonierna att ha egen produktion av råvaror för att inte konkurrera med modernationen England, men situationen blev snabbt ohållbar då kolonierna hade stora naturresurser som inte kunde utnyttjas fullt ut. När sågverk uppfördes i Nordamerika skapades möjligheten att arbeta med sågade reglar. Snickaren Augustine Deodat Taylor såg 1833 möjligheten att utnyttja materialet på ett nytt sätt och den första regelstommen såg dagens ljus. Tveksamheter kring stommens möjlighet att motstå vindkrafter gjorde att den döptes till *balloon frame*, då den skulle ”fly away like a balloon” när vinden tog tag i den. Det visade sig felaktigt och det snabba montaget och den enkla tekniken i regelstommen medverkade i hög grad till att Västerns *boom-towns* kunde expandera så snabbt. Den infrastruktur som byggdes upp samtidigt med utbyggnaden av Nordamerika skapade möjligheter för långa transporter, vilket grundlade nästa utvecklingssteg: skapandet av kataloghus där allt material skickades förkapat till byggplatsen, komplett med montage instruktioner och dessutom med lånemöjligheter för den nya husägaren. Sears Roebuck var den största aktören under de tidiga åren på 1900-talet i USA och utvecklade en säljorganisation med lokalkontor runtom landet.

*Typhus från Sears Roebuck. Kataloger från företaget är nu samlarobjekt med egna sidor på Internet.*



*Maison Dom Ino av Le Corbusier. Framtaget med betongelement i tanken.*



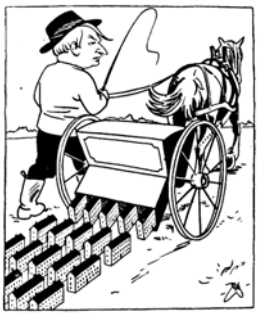
*Bauhaus-skolan av Walter Gropius. Den första modernistiska byggnaden.*

Hela affärsidén har bildat skola för de flesta hustillverkare som är verksamma idag. Under de tidiga åren på 1900-talet hade boendefrågan i Sverige blivit en sanitär olägenhet. Människor flyttade från landsbygden in till städerna och bodde på bakgårdar, på vindar, i källare och många i samma rum. Hanteringen av avträde, sopor och tillgången på rent vatten löstes vartefter, men åtgärderna räckte inte till då urbaniseringen fortsatte i allt snabbare takt. Första världskriget skapade brist på byggmaterial, vilket gjorde att bostadsbyggandet stannade av. Efter kriget krävdes åtgärder för att producera många bostäder snabbt och industrialisering och därmed standardisering kom i fokus. Synen på byggandet som ett sanitärt problem styrde över produktionen från flerfamiljshus till villor, som är ljusa,

placerade på avstånd och lättare att hålla rena. Statens Byggnadsbyrå gav ut typritningar för en- och tvåfamiljshus för att skapa bra instruktioner för de människor som ville uppföra sitt eget hus. AB Industribostäder utvecklade konceptet till hela typhusserier med hus som var energieffektiva då de byggde på tekniken med regelstomme, inte som tidigare plankstomme. Under denna tid bildas de organisationer som senare kallas HSB och SKB.

Byggandet var en stor politisk fråga mellan första och andra världskriget och 1928 formulerade statsminister Per Albin Hansson sin idé om folkhemmet. Den idén sammanföll med en viktigt arkitekturhistorisk händelse: 1930 revolutionerades synen på arkitektur för lång tid framåt i Sverige då Stockholmsmässan hölls och funktionalismen introducerades. I Europa kallades rörelsen modernism och hade sina främsta företrädare i Le Corbusier från Frankrike och Walter Gropius och Konrad Wachsmann från Tyskland. Sverige var starkt influerat av Tyskland och när Gropius utformade Bauhaus-skolan 1927 fick det effekt även hos oss. Idén med rena linjer, skapade för att återupprepas i ett industriellt tänkande och litande till ny teknik som prefabricerad betong var hjärtat i modernismen. Idéerna passade ett land i behov av många byggnader snabbt som hand i handske och en strömning startade där människans sätt att leva och verka i sitt hem blev fokus för studier av arkitekter. Ergonomiska frågor i t.ex. köket hamnade i fokus och sökandet efter att standardisera inredningar ledde till att industrier så småningom (efter 1945) kunde byggas upp kring köksinredningar, garderober, vitvaror o.s.v. De vetenskapliga studierna kring boende byggde på en idé om en normmänniska (*Medel-Svensson*) som vi fortfarande bär arv efter. Hela konceptet med industrialisering av byggandet för att skapa rena bostäder och bygga folkhemmet drevs av ett antal tongivande arkitekter som exempelvis Sven Markelius. Tidens syn på boendet och människan sammanfattades i skriften Acceptera. Men ännu ett världskrig lade locket på för en verklig expansion inom byggandet.

Direkt efter andra världskriget lade regeringen fast en grundsten för det som senare skulle bli Miljonprogrammet – lånesystemet för att uppföra nya bostäder till människor. De statliga lånen premierade de kommunala bostadsföretagen och innehöll sämre villkor för privata aktörer. De privata husbyggarna var för små för att fullt ut kunna profitera på de volymer av byggnader som uppfördes. De aktörer som hade muskler var istället anläggningsbyggarna som redan kunde organisera många intressenter samtidigt och hade färdiga rutiner för att upphandla underentreprenörer med goda ekonomiska resultat. Den tekniska utvecklingen inom husbyggandet var stark under 1950-talet och introduktionen av byggkranen revolutionerade sättet att gjuta betong som nu inte måste fraktas ett antal våningar upp i sina beståndsdelar, utan nu kunde gjutas på marken för att sedan lyftas upp. Snart var de första betongelementfabrikerna i drift och beroendet av transporter med lastbil var grundlagt. Utvecklingen av nationella svenska byggnormer underlättade ytterligare ett industriellt byggande och måttfokuseringen fortsatte med att modulsystemet 1M infördes. Med statens fortsatta intresse för byggnadsfrågan blev nästa naturliga steg att inte bara planera enskilda byggnader industriellt utan också hela områden eller stadsdelar.



*Nidbild av masstillverkning av bostadshus, Svenska Dagbladet 1938*

*Vällingby centrum, Arbete – Bostad – Centrum*

Detta intima samarbete mellan stat, kommun och entreprenörer skapade bland annat Vällingby centrum, 1954[2], där devisen *Arbete, Bostad, Centrum* symboliserade satellitstaden som kunde tillfredsställa alla människans behov. Många internationella gäster besökte Vällingby och inspirerades.

I början på 60-talet var framtidstron starkt i Sverige och urbaniseringen såg aldrig ut att ta slut. De ekonomiska hjulen snurrade bara snabbare och snabbare. Samtidigt var det brist på arkitekter och de större byggföretag som växt fram under 1950-talet tog gradvis över mer och mer av arkitektens traditionella arbetsuppgifter. Detta ledde till en rörelse mot utformning med produktion i fokus som ifrågasatte den rådande normen att konsulter och entreprenörer arbetade skilda åt. Totalentreprenaden såg dagens ljus och den gjorde att de prefabricerade betongelementens gyllene era tog sin början. 1964 presenterades *Miljonprogrammet* som en gång för alla skulle sätta punkt för bostadsbristen i Sverige genom att uppföra en miljon bostäder under 1965-1975. Programmet var en naturlig fortsättning på den takt på 90.000 bostäder som redan förelåg, men tryggheten i ett statligt stöd under en tidsperiod på 10 år gjorde att många aktörer nu investerade. Samtidigt byggdes infrastrukturen i samhället ut. Den tekniska utvecklingen fortsatte att vara stark; nu rationaliserades placeringen av byggnaderna för att maximera utnyttjandet av kranen, måtten i byggnaderna standardiserades så att antalet elementvarianter kunde hållas nere, installationerna drogs utanpåliggande för att inte störa produktionen av elementen, grundläggningen förenklades, utfackningsväggar förtillverkades och metoder från tillverkningsindustrin användes för att rationalisera arbetsmomenten i byggandet. I den snabba utveckling som förelåg tappades individen bort, en stark motreaktion uppstod bland de boende i byggnaderna som producerades – de ville inte bli sedda som likadana, inte skolas in i ett mönstersamhälle, inte bo i trevånings limpor där innergårdarna knappt skilde sig åt. Arkitekterna i Sverige tog 1972 beslutet att ”vi ställer oss på de boendes sida” och värnar om individen och bröt därmed radikalt med sin tidigare roll som drivande av teknikutvecklingen. För miljonprogrammets del fick kritiken effekten att senare delen slutfördes med fokus på enfamiljshus vilket innebar att miljonprogrammet till slut bestod av en tredjedel villor, en tredjedel lägre flerbostadshus och den sista tredjedelen höga bostadshus. Småhusindustrin förde de industriella traditionerna vidare, men gjorde det på ett sätt som var mer individfokuserat och tillät de boende att påverka utformningen av sitt hus.

Under 1980-talet fick ekonomin ett uppsving igen efter de tuffa åren på 1970-talet. Det medförde återigen ett ökat intresse för industrialisering av byggandet, men nu med fokus på variation i utformning. Bomässan 1985 presenterade spännande koncept av prefabricerad betong, med stora möjligheter att skapa arkitektonisk variation. När efterfrågan på bostäder sjönk kraftigt i början av 1990-talet blev dock idéerna kring industrialisering svåra att realisera. 1994 ändrades de svenska normerna till att överensstämma med den europeiska tanken om funktionsbaserade krav. Det innebar samtidigt att trästommar blev möjligt att använda även i högre byggnader än två våningar. Småhusindustrin erfarenheter av industriellt producerade villor med trästomme blev nu värdefulla när trä baserade byggsystem för flervåningshus började tillverkas. Idag, 2010, byggs bostadshus med trästommar upp till 6 våningar. 1990-talet medförde en starkare fokusering på marknaden och kunden när de statliga stöden till byggandet gradvis trappades ner. Debatten under 2000-talet har i hög grad handlat om hur byggandet skall effektiviseras. Förespråkare för prefabricering menar att framtidens bostäder skall i huvudsak produceras i fabrik. Platsbyggarna kontrade med att det visst går att effektivisera platsbyggeriet med nya metoder, lean-tänkandet och effektiva försörjningskedjor. Begreppen indust-

[2] Se invigningen av Vällingby centrum på http://svtplay.se/v/1371539/oppet_arkiv/vallingby_centrum_invigs

riellt (prefabricerat) byggande och industrialiserat (plats) byggande lanserades för att kategorisera dessa inriktningar. Egentligen finns ingen skarp gräns utan all byggproduktion har komponenter som är förtillverkade respektive monteras på plats.

Byggare med rötter i småhusindustrin har gått i bräschen för industriellt byggda flerbostadshus. Lindbäcksbygg är ett exempel på ett familjeföretag som bygger industriellt producerade flerbostadshus i trä med s.k. volymbyggnadsteknik där huvuddelen av förädlingen sker i fabrik. Företaget startade med att producera studentlägenheter, och hyreslägenheter men har successivt ökat sin marknadsnisch till att omfatta bostadsrätter, seniorboende 55+, äldreboenden och hotell. Andra liknande satsningar har varit mindre lyckade[3]. Open House och NCC komplett är två exempel på utvecklade byggsystem som lagts ner under 2000-talet. I Open house fallet skulle 1200 hyresbostäder byggas i Annestadsprojektet. På grund av projektanpassningar och avsteg från byggsystemets regler blev kostnadsnivån alltför hög för att kunna konkurrera med det traditionella byggandet, I fallet NCC komplett nådde man inte de uppsatta målen i visionen ”Hälften så dyrt och dubbelt så fort” i jämförelse med traditionellt byggande. Utvecklingskostnaderna skenade också iväg samtidigt som man brottades med en del oplanerade efterarbeten på plats. Beslutet att lägga ner NCC Komplett togs i oktober 2007 endast 2 år efter att byggsystemet lanserats. Andra koncept som tillkommit under 2000-talet är Skanska Moderna Hus som består av sex olika hustyper med tre till åtta våningar där 60-70 % är förtillverkat resterande utförs platsbyggt. Skanska, JM och PEAB har också lanserat s.k. gemensamma plattformar för teknikval och arbetsprocesser. Skanskas plattform Xchange har nu börjat användas i Skanskas egenutvecklade bostadsprojekt i Sverige, Finland och Norge. JM har sedan 2003 utvecklat plattformar som de benämner strukturerad projektering, strukturerat inköp och strukturerad produktion. Konceptet bygger på projekteringsanvisningar och ritningar som begränsar valmöjligheterna för projekten gällande ”icke värdeskapande” detaljer som inte ska påverkar kundnyttan som mark, stomme, tak, väggar, stomkomplettering och installationer och berör inte exempelvis köksinredning och kulörval. Peab har gjort en nysatsning av industriellt byggande genom PGS (Peab Gemensamt system). I fabriken i Ängelholm tillverkas standardiserade byggnadsdelar, betongbjälklag och väggelement för flerbostadshus. NCC använder sig idag av tekniska bostadsplattformar. Konceptet är baserat på i förväg definierade metoder och lösningar som integreras och projektanpassas i olika projekt[4].

## 1.2 Syfte och mål

Projektet syftar till att studera hur man fångar upp och hanterar krav och önskemål från brukare, byggherrar och samhälle i ett industriellt konceptbyggande. I industriellt byggande måste krav och önskemål hanteras i två utvecklingsfaser dels i den normala byggprocessen, s.k. projektutvecklingsfas, dels när det industriella konceptet utvecklas i en separat produktutvecklingsprocess, som är åtskild från byggprocessen. När produktutvecklingsfasen är genomförd, ska den på något sätt paketeras, lanseras, tillämpas och förvaltas. Rapporten beskriver en metod för ett sådant arbetssätt där funktionskrav hanteras i en integrerad systemmodell och jämförs med konceptets prestandamått samt visar och testar stödjande verktyg för olika typfall. Exempel prestandamått är: TE-kostnad (kostnad för totalentreprenaden), montagetid, LCC, brand, ljud, fukt, energi och miljö.

---

[3] Andersson R., Apleberger L., Molnár M. (2010), *Erfarenheter och effekter av industriellt byggande i Sverige*, Malmö: Sveriges byggindustrier (Teknisk rapport 0905)

[4] Haglund, F. (2010), *Tekniska bostadsplattformar: erfarenheter av användning och tillämpning i projekteringen*, Examensarbete 2010:095, Luleå tekniska universitet

## 1.3 Avgränsningar

Speciell fokus har lagts på utveckling och tillämpning av industriella av koncept och plattformar plattkrav rörande detaljplaner, brukarkrav på funktioner samt modularisering och prestandamått gällande energi och fukt. Tillgänglighet, estetik, stadsbyggnadsutformning och liknande kvalitativa mått på prestanda har inte studerats specifikt i detta arbete.

## 1.4 Läsanvisning

I kapitel 2 ges en allmän beskrivning av det industriella byggandet i Sverige mot bakgrund av marknaden, produkterna som erbjuds samt de produktionsprocesser som paketeras i plattformar och koncept.

I kapitel 3 ges en kort översikt över några viktiga teorier och metoder som används inom andra branscher när man vill utveckla industriella plattformar. Kapitel 4 behandlar de intressenter som påverkar utvecklingen av industriella koncept, hur krav kan matchas med prestanda och hur olika beslutstöd kan hjälpa till att utvärdera olika koncept.

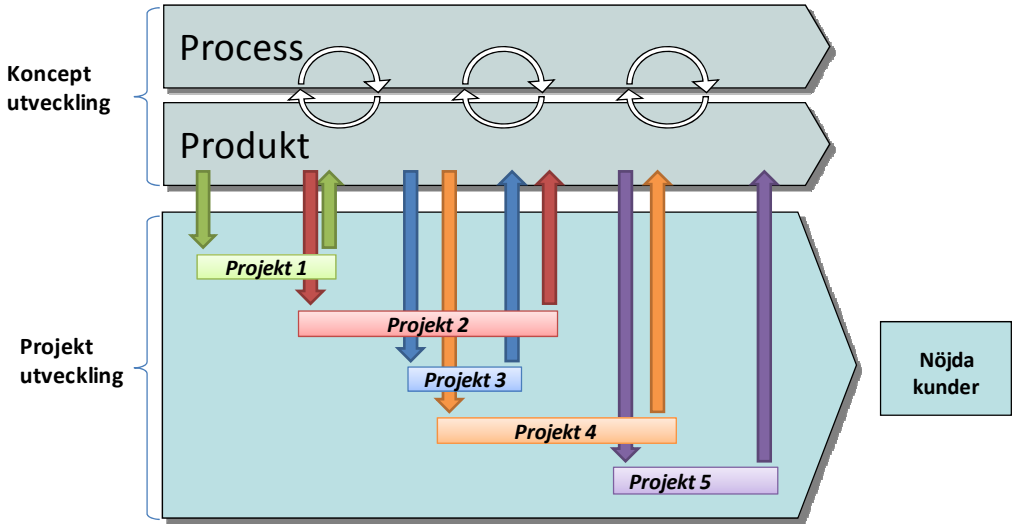
Kapitel 5 behandlar konceptutveckling och projektutveckling av industriella byggkoncept. Utvecklingsstrategier, konceptutvecklingsprocess samt hur projektutvecklingsdelen kan förändras. Prestandaanalyser och systemmodeller behandlas innan kapitlet avslutas med att beskriva informationsstrukturer och IT system för industriella byggkoncept .

Kapitel 6 behandlar en fem fallstudier där olika koncept som introducerats i kapitel 5 testas på ett utvecklade koncept. Slutsatser från de olika studierna sammanfattas i kapitel 7.

# 2 Industriellt konceptbyggande och plattformar

## 2.1 Introduktion

Ett industriellt byggande skiljer sig från det traditionella sättet att producera byggnader[5]. I stället för att varje enskilt byggprojekt planeras, projekteras och produceras med egna unika tekniska lösningar och metoder, utvecklas robusta och effektiva byggnadstekniska och processtekniska lösningar i en separat utvecklingsprocess. Lösningarna och utvecklade metoder paketeras i mer eller mindre färdiga koncept som erbjuds kunden i det enskilda projektet. Byggnadsprojektets relation med utvecklingen av de tekniska och processrelaterade plattformarna visas i Figur 2.1.




*Figur 2.1: Modell av konceptbyggandets process, efter Lessing[5].*

Tanken på ett industriellt byggande är inte ny utan kommer från andra industrialiserade näringsgrenar. Förr beställdes exempelvis kläder av en skräddare och när de konfektionssydda plaggen kom var det något av en marknadsmässig revolution som för alltid förändrade klädindustrins processer. På samma sätt är konceptbyggandet så pass annorlunda att dom invanda processerna som så länge har styrt byggbranschens parter behöver förändras.

”This process implies a fundamental difference in design process, and also in the management of requirements and decisions. The planning and design work of a specific project should be kept to a minimum and above all direct to the specific needs of the client. The main ideas and solutions, the concept, is being supplied by the industrialised partner…”[6] (som oftast består av ett byggföretag).

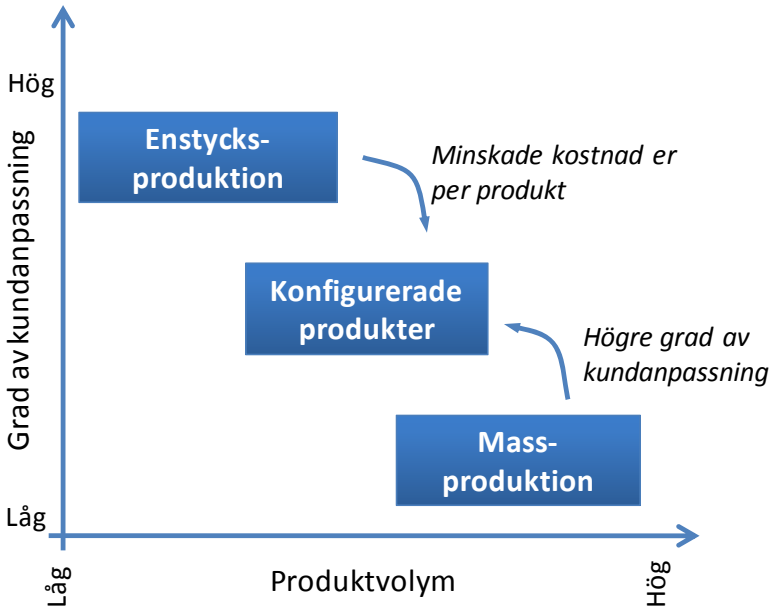
Det finns idag en väl förankrad traditionell byggprocess och ett förhållningssätt mellan byggherre, byggare och myndigheter. Denna process innebär att ett projekt sakta växer fram, och en rad kompromisser, förhandlingar och överenskommelser i samförstånd måste genomföras innan ett projekt kan förverkligas. Denna process är inte förenlig med konceptbyggande och är grunden till att nya och obeprövade lösningar gång på gång testas skarpt i pågående byggprocesser.

---

[5] Lessing, J. (2006) *Industrialised House Building*, Licentiate thesis, Div. of Design Methodology, Lund Institute of Technology, Lund

[6] Häkkinen T, Vares, S., Huovila, P.,Vesikari, E., Porkka, J., Nilsson, L., Togerö, Å., Jonsson, C., Suber, K., Andersson, R., Larsson, R. and Nuorkivi, I., (2007): *ICT for whole life optimization of residential buildings*, VTT research notes 2401, ISBN 978-951-38-6948-9, VTT, Esboo.

Det optimala ur ett strikt produktionsperspektiv är ett koncept baserat på massproduktion. Men eftersom byggbranschen arbetar nästan enbart med enstycksprodukter krävs att dessa två principer kan mötas genom att utveckla koncept som kan jämka kundkrav och volymer, Figur 2.2.




*Figur 2.2: Olika produktionssystem förhållande till produktvolymer och möjlighet till kundanpassning.*

## 2.2 Affärsmodeller, marknad och värdekedjor

När ett koncept ska utvecklas ställs konceptägaren inför följande utmaningar[7]:

- Marknad - *vem* är kund?
- Produkt - *vad* erbjuder vi kunden?
- Process - *hur* skall produkten produceras och monteras på plats

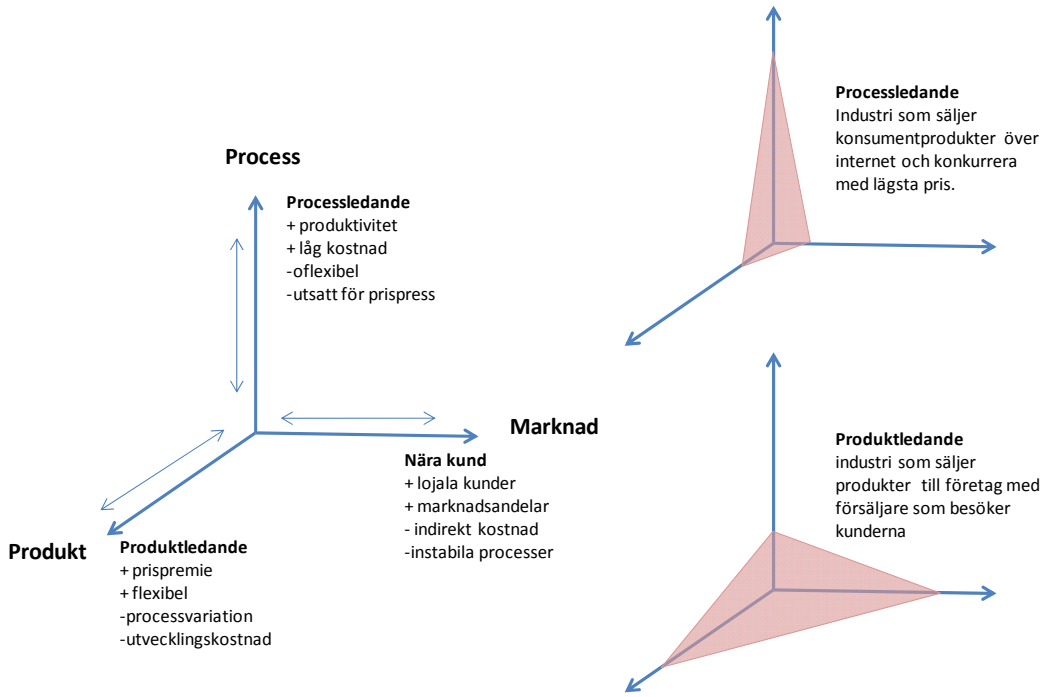
Marknad, produkt och process (eller marknadsposition, erbjudande och operativ plattform[8]) tillsammans med finansiella instrument (d v s kostnader och inkomster) definierar affärsmodellen[9] som ägaren av ett industriellt koncept har. Detta gör att det konceptbyggande måste förlita sig i högre grad på marknadsanalyser på ett sätt som är ovanligt i dagens projektinriktad byggsektor. Förutom kundkrav (d v s krav från boende, fastighetsägare, byggherrar) måste även krav från nationella och lokala myndigheter beaktas i konceptutvecklingen. Konceptägaren bidrar också med ekonomiska, produktionstekniska och andra funktionella krav på sitt val av koncept, för att underlätta och skapa skalfördelar för inköp, produktion och försäljning samt för att minimera risker som återkommande fel och skador som påverkar varumärket negativt. Detta gäller inte minst funktionskrav på miljö, energi och fuktsäkerhet.

[7] Markides, C. (1999). *All the Right Moves: A Guide to Crafting Breakthrough Strategy*. Boston, Harvard Business School Press, 1999.
[8] Collin A., Eckerby, J., Definitioner och beskrivning av affärsmodellerna i industriellt träbyggande, i *Byggandet av flervåningshus i trä*, eds Stehn, L., m. fl, Teknisk Rapport 2008:18, Luleå tekniska universitet.
[9] Osterwalder, A., Pigneur, Y., Tucci, C. L. (2005), Clarifying business models: origins, present, and future of the concept, *Communications of the Association for Information Systems*, 15, 1-40

Porter[10] menade att de strategiska valet för ett företag består i att välja vilken av följande kategorier man vill tillhöra inom valt marknadssegment:

- Processledande ("cost leadership"); företaget konkurrerar inom ett givet marknadssegment med lägsta pris, d v s företaget måste ha en effektiv process som kan erbjuda produkter till ett konkurrenskraftigt pris.
- Produktledande ("differentiation ") ; företaget konkurrerar med att erbjuda mervärden i form av produktprestanda eller tjänster som gör att företaget kan få bättre betalt för sina produkter jämfört med processledande företag.

Porter ansåg att man kan inte vara både processledande och produktledande. En tredje kategori som diskuterats av Erixon[11], är närhet till kund och som bestämmer hur man skall organisera sina marknadskanaler. Figur 2.3 visar de tre kategorierna process, produkt och marknad avbildat i ett ortogonalt system. Valet av process, produkt och marknad kan dock inte göras oberoende av varandra eftersom en viss produktstrategi påverkar möjliga val av process och marknadsstrategier och vice versa. I figuren har två alternativa strategier skisserats, det produktledande alternativet med marknadskanaler nära till kund och det processledande alternativet med försäljning över Internet.




*Figur 2.3:Valet av produkt-, process- och marknadsstrategi bestämmer ett företags affärsmodell, anpassad efter Erixon[11].*

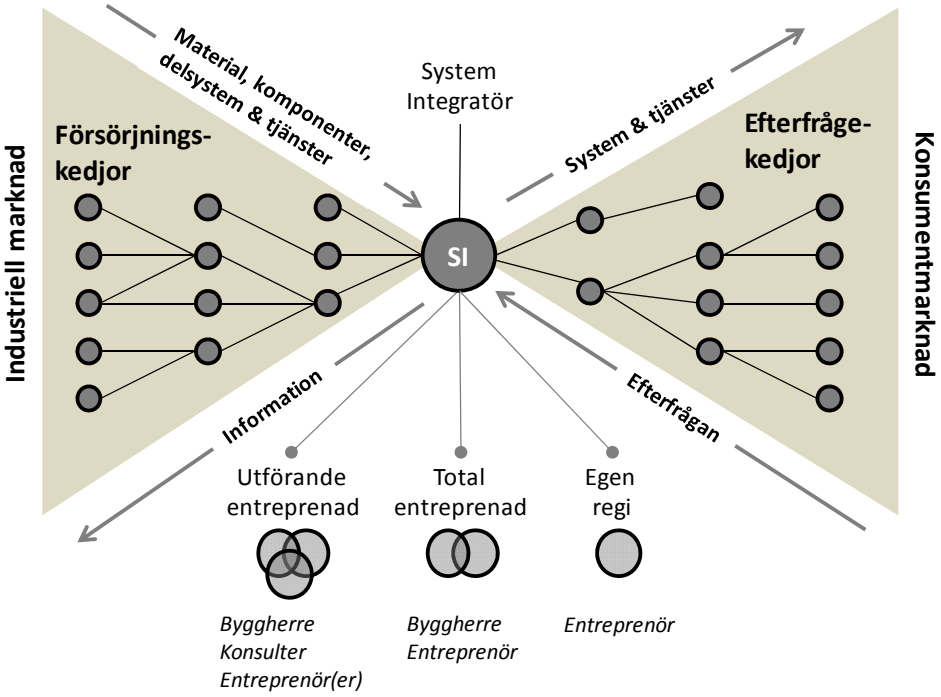
I marknadsstrategin ingår det att definiera kunden; förstå kundens och sin egen position i värdekedjan, marknadstyp (industriell eller konsumentinriktad), transaktionens komplexitet, vad som kunderna efterfrågar i ett visst segment, geografi (läge och kulturella aspekter). Det bestämmer också hur konceptet bör marknadsföras och säljas.

[10] Porter, M.E., 1980. *Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competitors*. The Free Press, New York.
[11] Erixon, G. (2007) *Presentation, workshop om modularisering*, Lean Wood Engineering, 18 sept 2007, http://itspolopoly.its.ltu.se/cms_fs/1.29936!/presentation%20gunnar%20erixon%202007-09-18.pdf

Kundens positionen i värdekedjan illustreras i Figur 2.4. Om man har en kund som befinner sig på den vänstra delen av figuren, d v s man levererar material, komponenter, delsystem och/eller tjänster till företag nedströms värdekedjan så har man en industriell marknad. En industriell marknaden karakteriseras av heterogena kundgrupper som köper in större kvantiteter. Utbytet mellan leverantör och kund är ofta relationsorienterat som bygger på nära informationsutbyte, förtroende och avtal för att skapa fördelar på längre sikt, s.k. integrerade leverantörskedjor.

En konsumentmarknad (kunder i högra delen i figuren) består i högre grad av homogenare grupper av kunder som har ett transaktionsorienterat utbyte med leverantören, ofta av enklare karaktär där produkten/tjänsten är standardiserad och priset är den avgörande faktorn.

Mellan den industriella marknaden och konsumentmarknaden agerar systemintegratören som "integrerar" komponenter, delsystem och tjänster uppströms till en produkt och eller ett tjänsteerbjudandet för konsumenten. Systemintegratörsrollen ser annorlunda ut för en stor del av byggsektorns konsumentmarknader. Istället för att producenten tar rollen som systemintegratör så delas den av flera parter beroende på vilken entreprenadform som byggherren väljer.




*Figur 2.4: Systemintegratörer i byggindustrins värdekedjor, anpassad efter Segerstedt och Olofsson*[12]

Det gör att det blir svårare att lansera utvecklade byggkoncept på t ex flerbostadsmarknaden speciellt i utförandeentreprenader där byggherren redan har skissat på en färdig lösning tillsammans med en arkitekt innan konceptägaren (entreprenören) kommer in i projektet. Därför är totalentreprenad av de traditionella entreprenadformerna ofta den enda möjliga att använda i ett industrialiserat konceptbyggande om inte konceptägaren själv agerar som systemintegratör och bygger i egen regi. Det gör att marknaden för flerbostadshus och lokaler är en blandform av en industriell marknad och konsument marknad. Däremot sker produktion och försäljning av enfamiljshus på en traditionell konsu-

[12] Segerstedt, A., & Olofsson, T. (2010). Supply chains in the construction industry. *Supply Chain Management*, 15(5), 347-353.

mentmarknad där systemintegratör är husfabrikaten/ägaren av konceptet som levererar till en kund som är brukaren av fastigheten.

Komplexitet i transaktionens mellan köpare och säljare påverkar i hög grad närheten mellan leverantör och kund. I traditionella byggprojekt designar ofta byggherren via inhyrd arkitekt produkten som han sedan skall köpa av entreprenören. Det har lett till att inköps- och samarbetsformer har institutionaliserats med utveckling av standard kontrakt (AB och ABT) där transaktionen är lång och komplex. Istället för att jämföra pris prestanda mot funktionella behov utvecklas ofta krav på specifika tekniska lösningar i upphandlingar som försvårar utvecklingen av rationella system som både uppfyller funktionella krav samtidigt som dom kan produceras rationellt.

Vad kunderna efterfrågar har också en stark koppling till det geografiska läget eftersom kostnader för mark kan utgöra en väsentlig del av totalpriset för fastigheten speciellt i attraktiva lägen.

## 2.3 Produkten - erbjudande till kund

Begreppet produkt innefattas både fysiska produkter och tjänster som ett företag kan erbjuda kunden. Ett byggprojekt består i allmänhet av både tjänsten att projektera byggnaden och varan byggnaden. I produkterbjudandet kan också ingå andra tjänster och varuerbjudande som försäljning av hyresrätter och bostadsrätter, underhåll och fastighetsförvaltning.

En produkt kan i sin tur karakteriseras i kundvärden som offereras till tilltänkta kunder. Kundvärden som uppstår under en produkts hela livscykel[9] är:

- Värden som offereras i kundanpassning av en produkt. Mervärden uppstår när kunden integreras i produktframtagningsprocessen.
- Värden som uppstår i inköpsprocessen av produkten. Att förenkla/effektivisera inköps- och leveransprocess eller möjliggöra för kunden att genomföra inköpet (t. ex att erbjuda avbetalning) kan bidra till att öka kundvärdet.
- Värden som uppstår i produktanvändningen. De huvudsakliga kundvärdet uppstår vid användning. Värdet är maximalt när erbjudandet matchar kundens behov.
- Värden som offereras när hela/delar av produkten skall förnyas. Värdet kan förnyas när det tagit slut alternativt uppgraderas till en högre nivå (t ex byta till ett effektivare värmesystem).
- Värden som kan offereras när produktens ekonomiska livslängd har uppnåtts. Att ta hand om produkter som blivit ointressanta för kunden antingen genom att överföra värdet till en annan kund alternativt för skrotning och återvinning kan vara ett värde för kunden i sig.

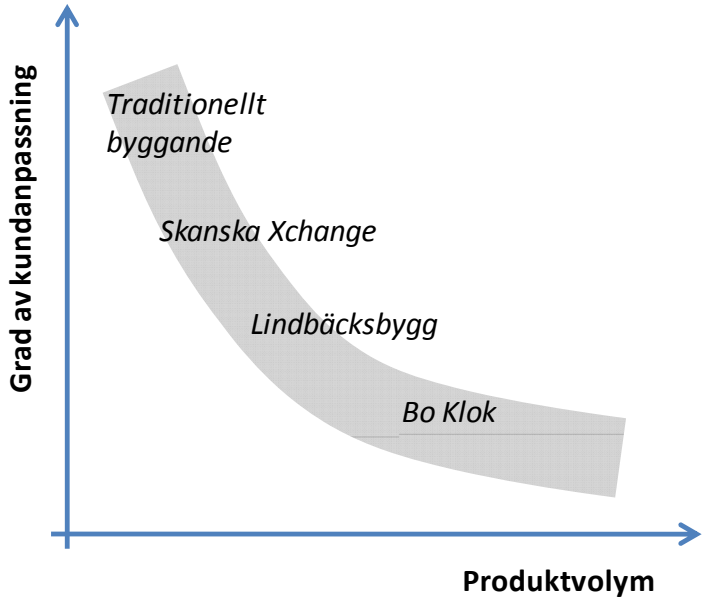
Uppskattade värden jämförs med satt prisnivå för specifika identifierade kundvärden. En produkts kundvärde översätts ofta i mätbar prestanda. Olika produkters pris prestanda kan sedan jämföras.

I traditionellt byggande är ofta byggherren, (kunden), en integrerad del i produktframtagningen (projekteringen). Byggherren beställer tjänsten att utforma och bygga bostaden. Produkten i detta fall är en byggnad kopplad till tjänsten att utforma (produktutveckla) och producera byggnaden. I utförandeentreprenader delas ansvaret för utformning och produktionen av byggnaden av olika aktörer.

En tydlig tendens den senaste decenniet är utvecklandet av olika slags standardiserande koncept[3]. Konceptens produkterbjudandet kan delas in efter flexibilitet där möjligheterna till kundanpassning

minskar när vi går från ett traditionellt sätt att projektera och bygga till att nyttja olika hårt standardiserade koncept. Man kan säga att produkterbjudandet går från att vara en tjänst i traditionella utförandeentreprenader till ett mer varuinriktat erbjudandet allteftersom standardisering av konceptet ökar, se Figur 2.5.

De större entreprenörerna utvecklar även bostäder i egen regi. I JMs strukturerad projektutveckling av bostadshus ingår även försäljningen och kundanpassning av bostadsrätter i konceptet , d v s produkten är i detta fall kundanpassade bostadsrätter. Genom att integrera sig uppströms i värdekedjan kan JM bli systemintegratör och förflytta sig från en tjänsteerbjudande position på en industriell marknad till att erbjuda produkterna på en mer konsumentinriktad marknad. Priset för detta är en ökad ekonomisk risk eftersom entreprenören måste kunna finansiera alla kostnader som uppstår i produktionen av bostadsrätterna innan försäljningen av bostadsrätterna kan genomföras. Riskerna för att driva projektutvecklingen av bostadsrätter i egen regi mitigeras ofta genom att sätta krav på försäljning av en viss procent av totala antalet bostadsrätter innan produktionsstart (vanligen 30 - 50%).




Figur 2.5: Olika koncepts produkterbjudande i relation till kundanpassning och produktvolymer.

## 2.4 Plattformar och byggsystem

Plattformar och produktfamiljer är begrepp som används för att beskriva utvecklingen av strategier för s.k. "mass customization" i den fasta industrin, d v s sättet att med bibehållen skalfördel i massproduktionssystem kunna anpassa produkten efter kundens önskemål. Plattformar kan ibland kategoriseras efter vilken domän som dom appliceras[13], dvs i en projekteringsplattform där produkten konfigureras efter kundens önskemål, i en processplattform där produkten produceras samt försörjningsplattform som levererar material, komponenter och delsystem. Konceptägaren utvecklar dessa plattformar för projektering, produktion och försörjningskedjor som sedan används i projektutvecklingen av konceptet till färdig byggnad. Alla koncept måste projektutvecklas till viss del, d v s anpas-

[13] Jiao, J., Simpson, T., W., Siddique Z., 2007, Product family design and platform-based product development: a state-of-the-art review, *J Intell Manuf*, vol 18:5–29

sas till platsen. Hur stor del som konceptet specificeras i förväg, d v s i teknik och processutvecklingsskedet styr också i hög grad hur byggprocessen behöver förändras. Det sammanlagda utbudet av produkter som systemägaren kan erbjuda kunden utifrån en produktplattform benämns ofta produktfamilj.

**Förprojekterade eller flexibla system**

I Figur 2.6 har olika typer av koncept kategoriserats i *metodplattformar*, *produktplattformar* samt *produktvarianter* och jämförts med traditionellt byggande med avseende när kunden/beställaren kommer in i projekteringsprocessen.

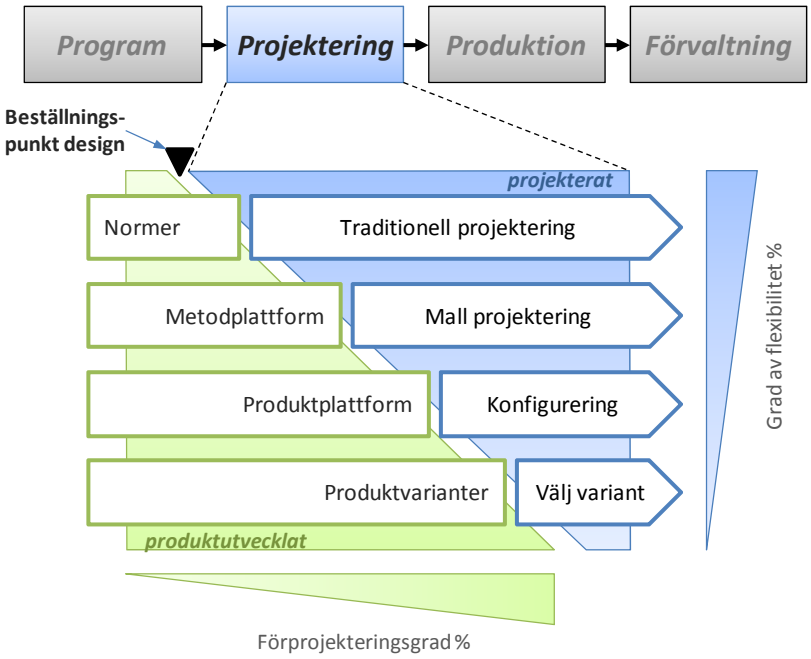
I *traditionellt byggandet* utgår man normalt från standarder och normer som boverkets byggregler (BBR), Eurocodes m.m. Byggnaden kundanpassas i en projekteringsprocess där byggherren styr utformning och utförande via val av entreprenadform. Val av tekniska lösningar, försörjningskedjor och produktionsmetoder är projektstyrt. Någon form av systematisk produktutvecklingen sker normalt inte i ett traditionella byggandet.

*Metodplattformar* innehåller standardiserade tekniska lösningar, arbetsmetoder, försörjningskedjor (ramavtal med strategiska leverantörer), strategiska geometrier som våningshöjd samt yt- och kostnadseffektiva trapphuslösningar och installationsschakt. Projekteringen är ofta baserade på mallar och typritningar av lösningar som ingår i den gemensamma plattformen. Även om byggprocessen inte påverkas så mycket, bygger konceptet på att ägaren är totalentreprenör eller bygger i egen regi för att kunna kontrollera att utformningen och genomförande av projektet är inom ramen för konceptet för att vinsten av att utveckla gemensamma plattformar skall falla ut.

Konfigurerbara koncept eller *produktplattformar* har fler begränsningar i jämförelse med metodplattformar. En produktplattform definieras av tillgångarna i form av komponenter, processer, kunskap, människor och nätverk som delas av ett antal produktvarianter[14]. Det är också på samma sätt som metodplattformar ett affärsstrategiskt verktyg som definierar villkor inom vilka ett byggprojekt ska hålla sig inom. Projekteringen ersätts av en konfigureringsprocess där framtagandet av prestandadokument och bygghandlingar kan mer eller mindre automatiseras.

*Produktvarianter* består av i princip färdig byggnader med få variabler inom konceptets ramar. Variabler kan vara antal våningar, antal lameller, balkongplacering, entréplacering, grundläggningstyp, kulörval eller andra kosmetiska tillval. Projekteringen ersätts i princip av en säljprocess där merparten av prestandadokument och bygghandlingar är framtagna i förväg.

[14] Robertson, D., & Ulrich, K. (1998). Planning product platforms. *Sloan Management Review* 39(4), 19–31.



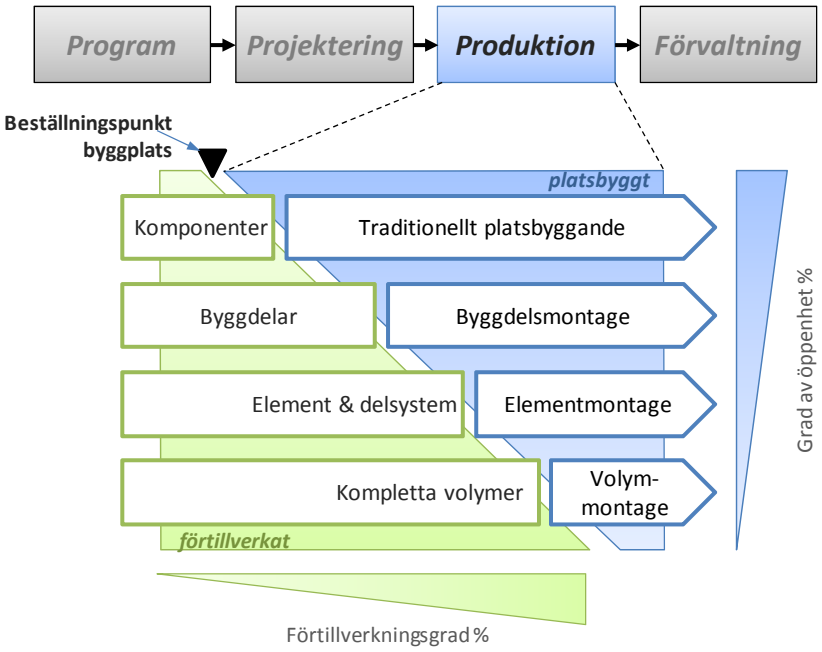

*Figur 2.6: Koncept kategoriserade efter beställningspunktens läge i förhållande till hur mycket som är färdigprojekterat (förprojekteringsgrad), anpassad efter Hwam et al.*[15]

För konceptägare av produktplattformar och produktvarianter där graden av flexibilitet och möjlighet till kundanpassning minskar är det viktigt att komma in tidigt i beställarens byggprocess för att kunna erbjuda alternativ som passar. Förutom krav som totalentreprenad, kan ibland lokala detaljplaner, illustrationsplaner och skisser innefatta krav som kullkastar användande av ett koncept. Anvisningar för husmått, höjder, indragna våningar, takutformning och liknande kan vara mycket svåra eller omöjliga att uppfylla om de är alltför detaljerade, se också avsnitt 3.

**Förtillverkade eller öppna system**

Dagens utvecklade byggsystem har olika förtillverkningsgrad och integration av leverantörskedjor. Med byggsystem menas här tekniska system och delsystem som ligger till grund för montaget på byggarbetsplatsen, se Figur 2.7. I ett traditionellt byggande monteras förtillverkade komponenter som fönster, dörrar, ventilationsrör m.m. på platsgjutna stommar på byggplatsen. När förtillverkningsgraden ökar så integreras tillverkningen av byggdelar till delsystem uppströms som t.ex pelarbalksystem, skalväggar och plattbärlag men även kompletta våtrumsmoduler[16] som kan installeras i befintliga husstommar. I volymbyggsystem med hög förtillverkningsgrad (ca 80-90% av värdekedjan) integreras installationer och inredning i volymerna (modulerna) på fabriken sedan som transporteras och monteras på varandra på byggplatsen.

[15] Hvam L., Mortensen, N. H., Riis, J. (2008) *Product customization*, Berlin, Springer verlag
[16] Part AB våtrumsmoduler, se www.partab.nu




*Figur 2.7: Byggsystem kategoriserade efter beställningspunktens läge av förtillverkade komponenter och system i förhållande till montaget på byggarbetsplatsen (förtillverkningsgrad).*

Ett strategiskt val är om konceptet skall vara öppet eller slutet.[17] Ett öppet system kan sättas samman av andra delsystem och komponentleverantörer på marknaden. Det finns flera leverantörer att välja från och metoder för dimensionering, montage m.m. som är öppet för alla. I ett slutet system ansvarar ett företag för att samtliga delar integreras i systemet. Kunskap om dimensionering, montage m.m. blir företagsinternt.

Öppna system kräver någon form av måttstandard och finns ofta på komponent eller delsystemnivå, t ex modulmått för fönster och köksinredning. Öppna (del)system har ofta sina kunder på en industriell marknad. Generellt så minskar öppenheten när vi går från ett traditionellt byggande till utveckling av mer förtillverkade och standardiserade koncept. Det innebär också att integrationen av leverantörskedjorna ökar när konceptet blir mer förtillverkat och standardiserat.

Slutna system inbjuder till integration av funktioner och leverantörskedjor eftersom systemägaren behöver ha kontroll på tillverkningen. Systemägaren samarbetar med viktiga underleverantörer och underentreprenörer i utvecklingen av konceptet. Komponenter och delsystem kan levereras färdigförpackat direkt till inbyggnadsstället för att underlätta montaget på byggplatsen.

## 2.5 Exempel på utvecklade industriella koncept

Tabell 2.1 visar ett antal utvecklade byggkoncept som finns på den svenska marknaden. Koncepten har kategoriserats i *marknad*, dvs vem är kunden, typ av produkt och plattform samt hur projektutvecklingen (projektering och produktion) bedrivs.

[17] Johnsson, H., Stehn, L., Lessing J., Engström, D. (2011), *Industriellt husbyggande i Sverige*, kompendium i kursen W7004B Industriellt byggande, Luleå teknisk universitet

*Tabell 2.1: Exempel på utvecklade industriella koncept som används på den svenska marknaden*

| Koncept | Marknad/kund | Produkt & plattform | Projektering & produktion |
|---|---|---|---|
| SKANSKA Xchange | Fastighetsägare utvecklare av hyres- & bostadsrätter | Flervåningshus, metodplattform | Mallprojektering, byggdelsmontage |
| NCC Folkboende | Fastighetsägare hyresrätter | Punkthus 4-8 våningar, produktvarianter | Val av variant, platsgjutet |
| JM strukturerad proj & produktion | Egen regi i storstadsområden | Flervåningshus, metodplattform | Mallprojektering, byggdelsmontage |
| BoKlok | Fastighetsägare/ utvecklare av hyres- & bostadsrätter | Tvåvåningsradhus i trä, produktvarianter | Val av variant med volymmontage |
| NCC P303 | Hyres-, bostadsrätt | 2 vånings radhus i betong, produktvarianter | Val av variant, byggdelsmontage |
| Skanska ModernaHus | Fastighetsägare hyresrätter | Punkt och lamellhus 3-8 våningar, produktvarianter | Val av variant, elementmontage |
| Älvsbyhus | Konsument/villaägare | Villor i trä, produktvarianter | Val av variant, volymmontage |
| Lindbäcksbygg TVE koncept | Fastighetsägare av hyres- & bostadsrätter | Flervåningshus i trä, 2-5 våningar, produktplattform | Konfigurering, volymmontage |
| Part AB | Byggare av hotell och flervåningshus | Våtrumsmoduler, produktplattform | Konfigurering, volymmontage |

Koncept som SKANSKA Xchange och JM strukturerad projektering, inköp och produktion är exempel på metodplattformar med fördefinierade arbetsprocesser och tekniska lösningar som integreras och projektanpassas i en traditionell projekterings- och produktionsprocess.

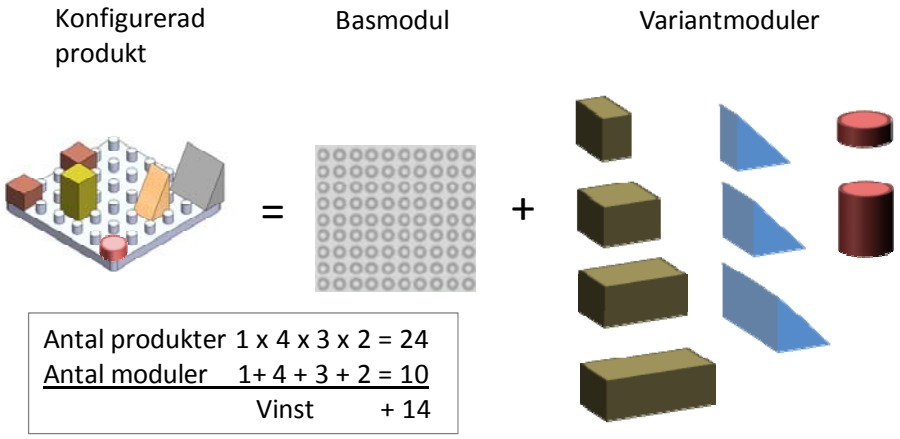
Exempel på koncept som är baserade på produktplattformar är Lindbäcksbyggs volymbyggnadssystem, PartABs våtrumssmoduler, som är delsystemleverantörer till både traditionella och industriellt byggare. NCC Komplett var ett annat exempel på en elementbaserad produktplattform

BoKlok, NCC P303, SKANSKA ModernaHus, NCC Folkboende och Älvsbyhus är exempel på produktvarianter. Älvsbyhus producerar enfamiljshus medan BoKlok och P303 producerar ”mindre hus” i form av villor, radhus och flerbostadshus. BoKloks i särklass största produkt är ett flerbostadshus med sex lägenheter som uppförs i två våningar. SKANSKA ModernaHus producerar 3-8 våningars lamell eller punkthus medan NCC folkboende enbart fokuserat på 4-8 våningars punkthus. Både SKANSKA ModernaHus och NCC folkboende har ett antal lägenhetsvarianter att välja på.

# 3 Teori och metoder för utveckling av industriella plattformar

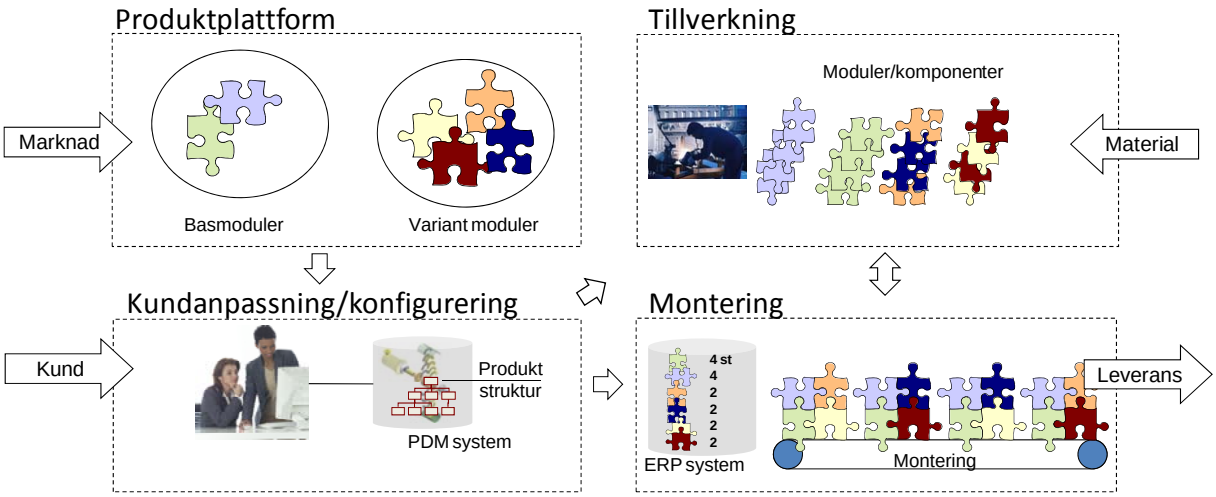
## 3.1 Introduktion

De fysiska delarna, komponenterna är det som implementerar en produkts funktioner[18]. I en utvecklad produktplattform grupperas komponenter i moduler som har en eller flera specifika funktioner. Modulerna med definierade gränssnitt kan sedan sättas samman till en eller flera produktvarianter, Figur 3.1.




*Figur 3.1: Varianthävstången i modularisering av industriella plattformar*

Konceptet är ett affärsstrategiskt verktyg som tas fram i en utvecklingsprocess där basmoduler och variantmoduler utvecklas från ett marknads-, produkt- och processtrategiskt perspektiv. I ett sådant produktplattformskoncept ersätts projekteringsprocessen av en konfigureringsprocess, se Figur 3.2.




*Figur 3.2:Konceptutveckling och projektutveckling för produktplattformar*

[18] Ulrich, K.T. and Eppinger, S.D. (2000) *Product design and development*, McGraw-Hill, New York.

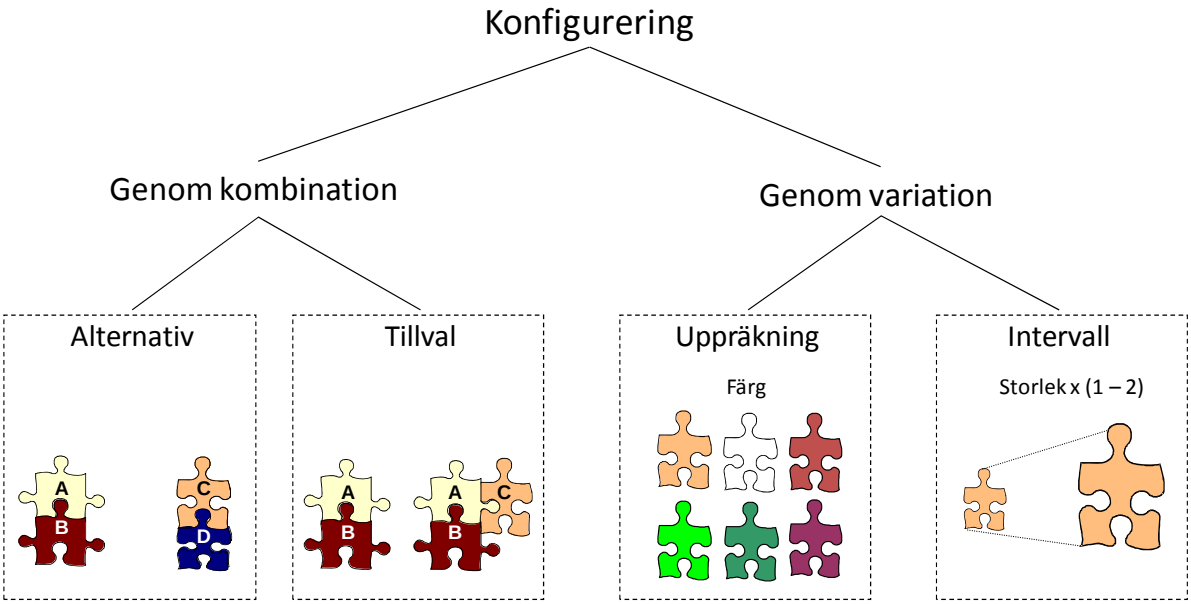
Tillverkning av basmoduler, d v s sådana moduler som ingår i alla konfigurerade produkter, tillverkas ofta mot prognos, medans variantmodulerna som ingår i kundanpassningen produceras mot kundorder detta för att åstadkomma en s.k. Lean-Agile försörjningskedja[19].

Sättet som komponenter och moduler organiseras och sätts samman för att uppfylla funktionerna bestäms av produktarkitekturen. Det finns i huvudsak fyra kategorier av produktarkitekturer[20] för moduler:

- Modulär design - Varje modul har endast en funktion med väl avgränsade gränssnitt
- Funktionsdistribuerad design - En funktion distribueras på flera moduler
- Funktionsdelning - En modul har flera funktioner
- Integrerad design - Flera funktioner är distribuerade på flera moduler

En modulär design innebär ofta att det är enklare att skapa varianter eller återanvända redan utvecklade moduler i produktutvecklingen. Man kan också skapa fler produktvarianter med färre antal komponenter. Det kan också vara enklare att producera delarna till en modulariserad produkt parallellt i jämförelse om designen varit integrerad.

Det finns olika typer av konfigureringsstrategier, Figur 3.3, beroende på vilka egenskaper och funktioner som skall kundanpassas.



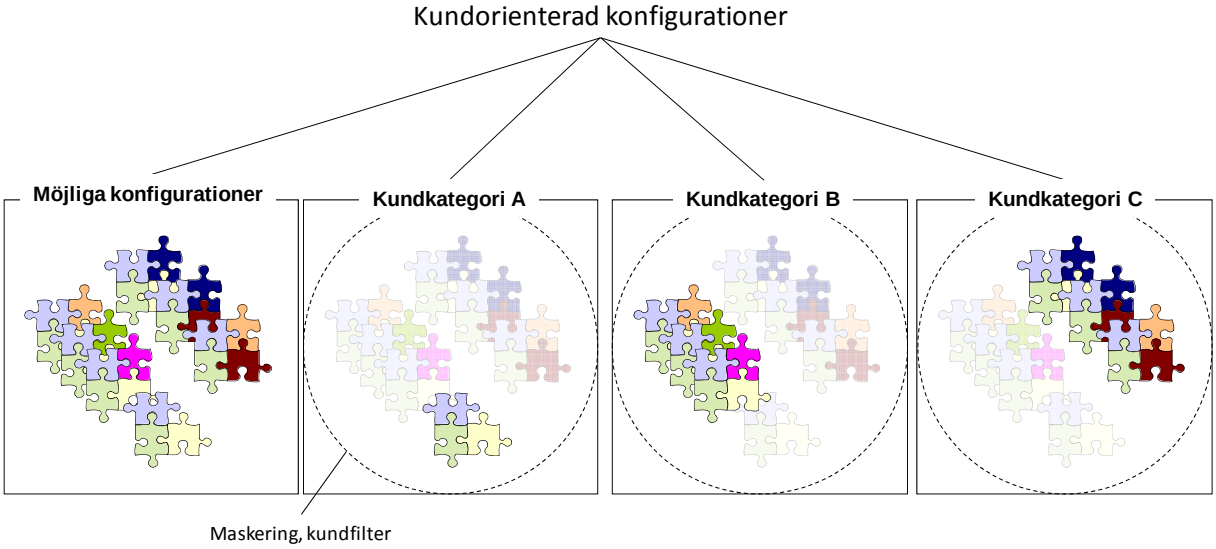

*Figur 3.3:Konfigureringsstrategier*

Genom kombination kan man sätta ihop olika moduler för att skapa alternativa produkter eller skapa möjligheter för tillvalspaket, s.k. add-on modularity. Exempel på alternativa kombinationer är Scanias hyttsystem som från ca 800 artiklar kan skapa mer än 50 000 hyttvarianter. Tillvalspaketstrategin är vanligt förekommande inom bilindustrin som erbjuder en mängd olika add-on lösningar för sina kunder.

[19] Christopher, M. (2005) *Logistics and supply chain management, creating value-adding networks*, 3rd Ed. Financial Times/Prentice Hall
[20] Erens, F and Verhulst, K., (1997), Architectures for product families, *Computer Industry*, 33, 165–178.

Den kanske vanligaste konfigureringsmöjligheten att välja färg ur en uppräknad mängd av färgval. Intervall variation, s.k. cut-to-fit, är vanlig typ av variation inom byggindustrin, t.ex sågade trävaror, måttanpassade takstolar.

Ofta så kan produktvarianterna bli så omfattande att man väljer att begränsa konfigurationsmöjligheterna för olika typer av kundkategorier, se Figur 3.4. Med ett s.k. kundfilter kan man maskera konfigurationsval som berörd kundkategori inte brukar välja. Ett sådant exempel är Volkswagens val att marknadsföra olika bilmärken (Audi, VW, Skoda och Seat) för olika kundkategorier. Cirka 60% av komponenterna i en viss storleksklass av Audi, VW, Skoda och Seat bilar är gemensamma.




*Figur 3.4:Maskering av konfigurationsmöjligheter*

I det här kapitlet skall vi titta kortfattat presentera några av de teorier och hjälpmedel som används vid utveckling av modulariserade industriella plattformar.

- Axiomatisk design - en design teori där oberoendet mellan funktionskrav och s.k designparametrar skall bibehållas i konstruktionen. Även om det är en generell design teori har den blivit populär i modulariseringsteorier.
- QFD - quality function deployment eller house of quality ett hjälpmedel att utveckla kundanpassade produkter.
- MFD -modular function deployment en QFD variant specifikt utvecklat för modularisering.
- Lean - Agile organisation av försörjningskedjan

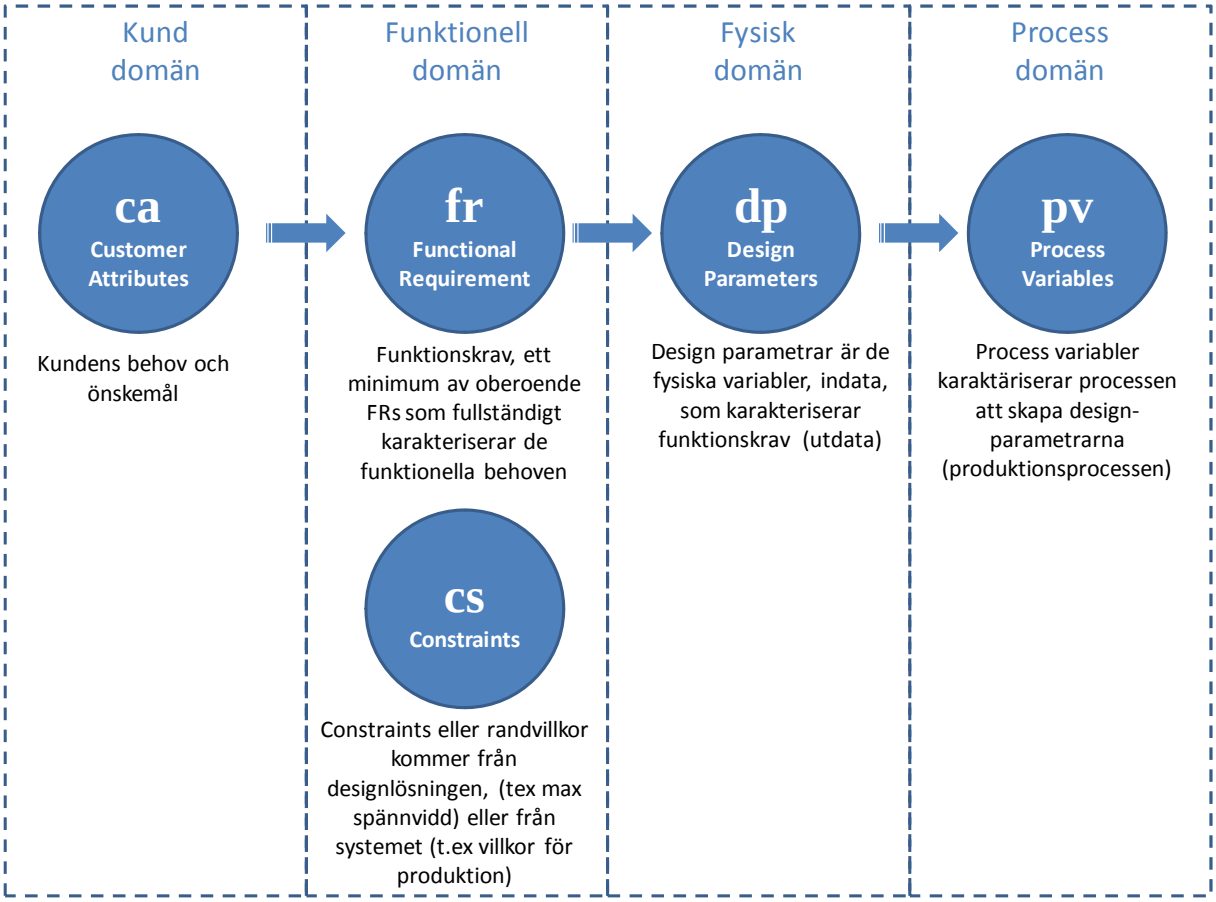
## 3.2 Axiomatisk design

Axiomatisk design[21] är en allmän design teori utvecklat för att identifiera och bryta ned kundbehov (Customers Attributes - CA) till funktionskrav (Functional Requirements - FR), produktparametrar (Design Parametrs - DP) och produktionsvariabler (Production Variables - PV), se Figur 3.5. Suh's Axiomatisk design teori är baserat på två centrala axiom:

[21] Suh, N. (1990) *The principles of design*, Oxford University Press, New York

- *The independence axiom*: Skapa oberoende mellan olika FR i designen, dvs ett specific DP kan justeras för att tillfredsställa korresponderande FR utan att de andra funktionskraven påverkas.
- *The information axiom*: Av de designer som uppfyller the independence Den bästa designen är modulär (okopplad) design med det minsta informationsinnehållet.

Fyra domäner (vyer) definieras i teorin där det gäller att transformera (översätta) domänvektorerna från en domän till en annan, se Figur 3.5.




*Figur 3.5: Axiomatiska design domäner (vyer) där designens uppgift är att transformera designvektorerna (CAs, FRs, DPs och PVs) mellan de olika domänerna, anpassad efterSuh*[21].

Matematisk kan transformationen uttryckas som en ekvation där sambandet mellan två domänvektorer bestäms av en designmatris **A**, mellan funktionell **fr** och fysisk domän **dp** (observera att antal designparametrar är lika med antal funktionskrav):

$$\mathbf{fr} = \begin{bmatrix} fr_1 \\ \vdots \\ fr_n \end{bmatrix} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{dp} = \begin{bmatrix} A_{11} & \cdots & A_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{n1} & \cdots & A_{nn} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} dp_1 \\ \vdots \\ dp_n \end{bmatrix} \tag{4.1}$$

Ekvation 4.1 kan uttryckas på inkrementellt, vilket leder till att designmatrisen termer kan uttryckas som partiella derivator på funktionskrav med avseende på designparametern:

$$\begin{bmatrix} \Delta fr_1 \\ \vdots \\ \Delta fr_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial fr_1}{\partial dp_1} & \cdots & \frac{\partial fr_1}{\partial dp_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial fr_n}{\partial dp_1} & \cdots & \frac{\partial fr_n}{\partial dp_n} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta dp_1 \\ \vdots \\ \Delta dp_n \end{bmatrix} \tag{4.2}$$

Det medför att designmatrisens termer, $A_{ij}$, är konstanta för en linjär design, medans en olinjär design innebär att $A_{ij}$ blir funktioner av $dp_j$. Olika typer av produktarkitekturer beror på hur designmatrisen kopplar funktionskraven till designparametrarna, (här visas kopplingen i design matrisen endast med ett X för två funktionskrav och designparametrar) :

1. Modulär eller okopplad (uncoupled) design $\begin{bmatrix} fr_1 \\ fr_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 \\ 0 & X \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} dp_1 \\ dp_2 \end{bmatrix}$
2. Funktionsdistribution eller frikopplad (decoupled) design $\begin{bmatrix} fr_1 \\ fr_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 \\ X & X \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} dp_1 \\ dp_2 \end{bmatrix}$
3. Integrerad (integrated) design $\begin{bmatrix} fr_1 \\ fr_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & X \\ X & X \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} dp_1 \\ dp_2 \end{bmatrix}$

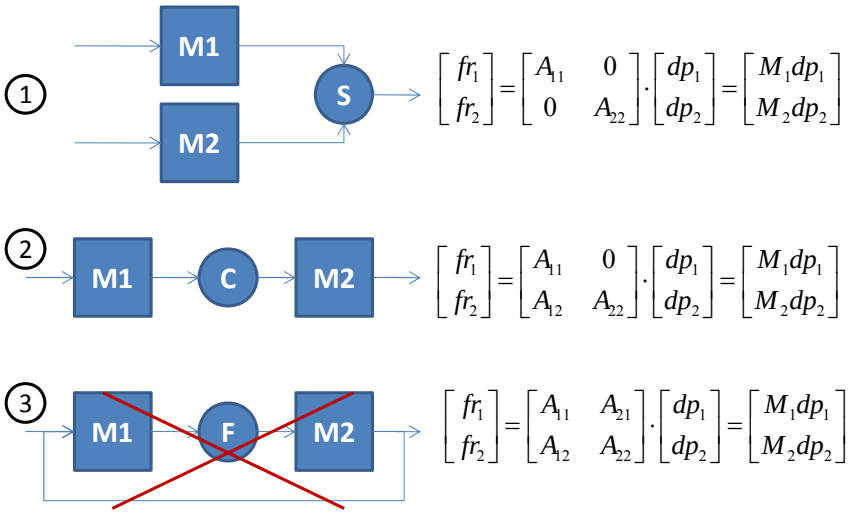
För att uppfylla *"the independent axiom"* måste designmatrisen vara antingen diagonal eller triangulär. Design nr 3, den integrerade varianten uppfyller inte de första axiomet.

Det som gör Suh's axiomatisk design intressant ur ett modulariseringsperspektiv är att moduler kan definieras som högerledet i designekvationerna. I designekvation 4.3 blir modulerna $M_1$ och $M_2$ definierade som:

$$\begin{bmatrix} fr_1 \\ fr_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & 0 \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} dp_1 \\ dp_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} \cdot dp_1 \\ A_{21} \cdot dp_1 + A_{22} \cdot dp_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_1 dp_1 \\ M_2 dp_2 \end{bmatrix} \Rightarrow \tag{4.3}$$
$$\begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} \\ A_{21}(dp_1/dp_2) + A_{22} \end{bmatrix}$$

Vi ser att för första ekvationen där $fr_1$ är okopplad, dvs modulär, blir modulen lika med diagonalelementet i designmatrisen. Den andra ekvationen, $fr_2$, kan lösas om man först löser $dp_1$ ur den första ekvationen, eftersom $fr_2$ är beroende av båda $dp_1$ och $dp_2$.

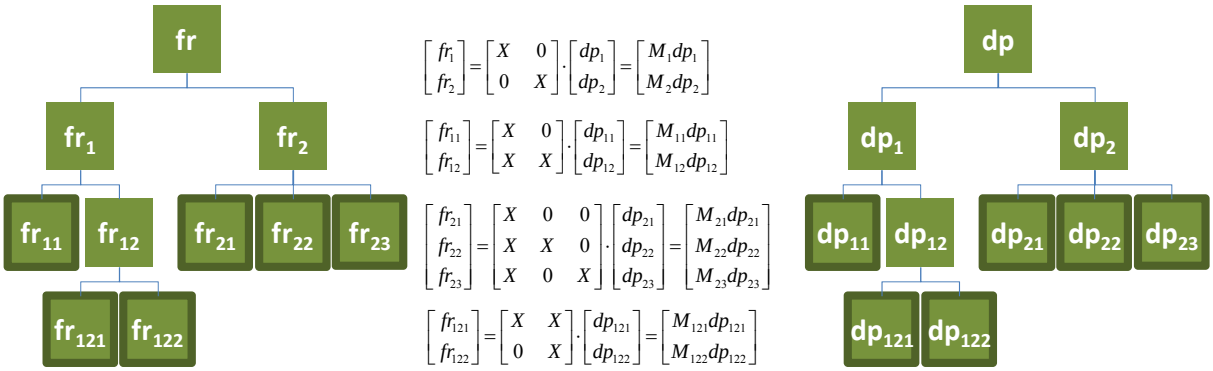
Hur produktarkitekturens moduler är kopplade till varandra kan visualiseras i s.k. flödes diagram, se Figur 3.6.




*Figur 3.6: Flödesdiagram för produktarkitekturens moduler för en (1) modulär design, (2) frikopplad design och (3) en integrerad design.*

Enligt den axiomatiska designteorins första axiom skall man helst undvika en integrerade design eftersom den leder till komplicerade relationer mellan funktionskrav och designparametrar. Vid en olinjära designekvationer måste man iterera sig fram till en lösning där det är osäkert om lösningen konvergerar[22].

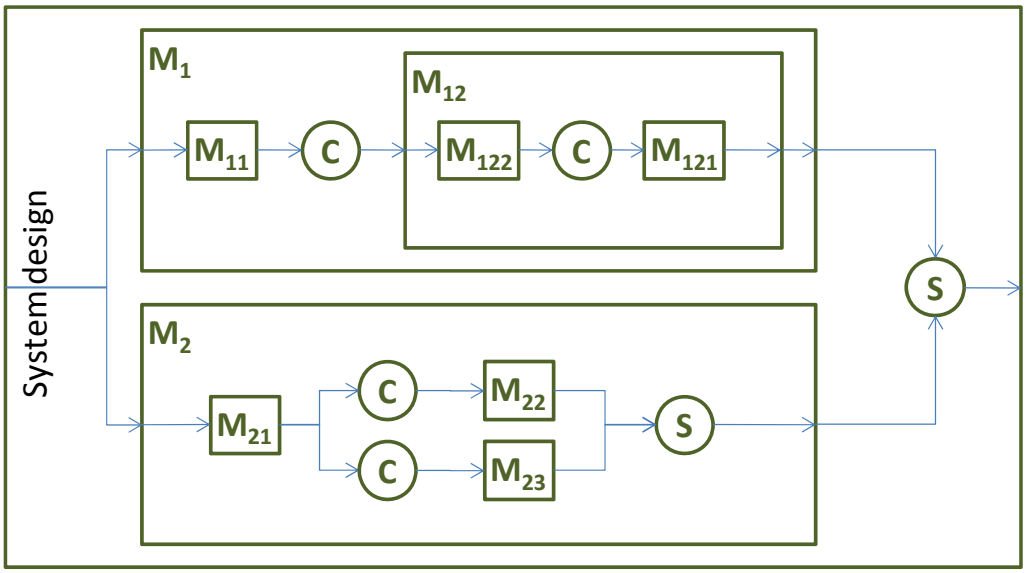
Ett funktionskrav som ges på produktnivå måste oftast brytas ned till en nivå där designparametrar kan relatera till komponenternas egenskaper som produkten är uppbyggd av. Nedbrytningen av funktionskrav och koppling till designparametrar sker iterativt genom att "zig-zacka" sig mellan den funktionella och den fysiska domänen[21]. Man kan säga att en sådan process sker när arkitekthandlingarna transformeras till system och bygghandlingar. Nedbrytningen kan representeras av ett funktionskravs- och designparametersträd där löven representerar den lägsta nivå där funktionskravet kopplas till en designparametern via designmatrisen, se Figur 3.7.




*Figur 3.7: Exempel på* **fr** *och* **dp** *hierarkier. I mitten visas designekvationerna (kopplingen) för varje nivå. Den lägsta nivån i trädet (löven) är representerade med en mörk kontur.*

Till exemplet i Figur 3.7 kan man rita ett flödesschema över systemets funktionella design, dvs hur funktionskraven skall uppnås av modulerna, Figur 3.8.

[22] Suh, N., (1998), Axiomatic Design Theory for Systems, *Research in Engineering Design*, 10, 189-209.

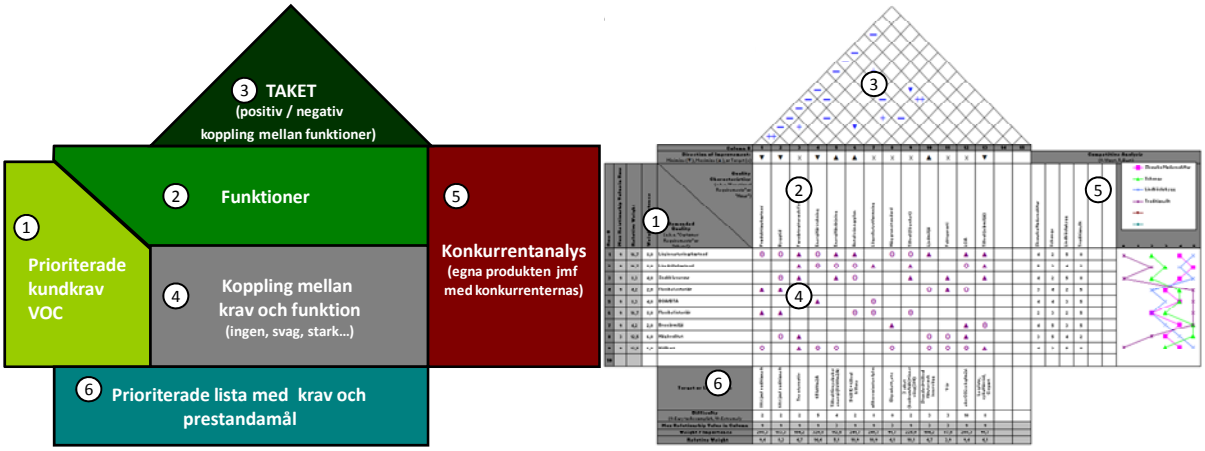



*Figur 3.8: Modulschema över systemets funktionella design. Notera $M_{21}$ är kopplad till $M_{22}$ och $M_{23}$, medans $M_{22}$ och $M_{23}$ är okopplade. Vidare så måste $M_{122}$ bestämmas före $M_{121}$, se designekvationerna i Figur 3.7*

## 3.3 House of Quality och Quality Function Deployment (QFD)

Quality Function Deployment (QFD) stödjer omvandlandet av kundens behov och krav (Voice of the Customer - VOC) till tekniska egenskaper för produkter eller tjänster genom hela produktutvecklingsprocessen. QFD utvecklades i Japan under 1966, när Yoji Akao kombinerade sitt arbete i kvalitetssäkring och kvalitetskontroll med att utveckla QFD[23]. OFD finns idag i ett antal utvecklade varianter och har starka band till Total Quality Control området.

House of Quality är ett verktyg eller metod som kan användas i produktutvecklingsprocessen för att omvandla kundens behov till funktionella krav och produktegenskaper, Figur 3.9. Observera att House of Quality inte är QFD utan endast exempel på ett verktyg för användning av QFD[23].



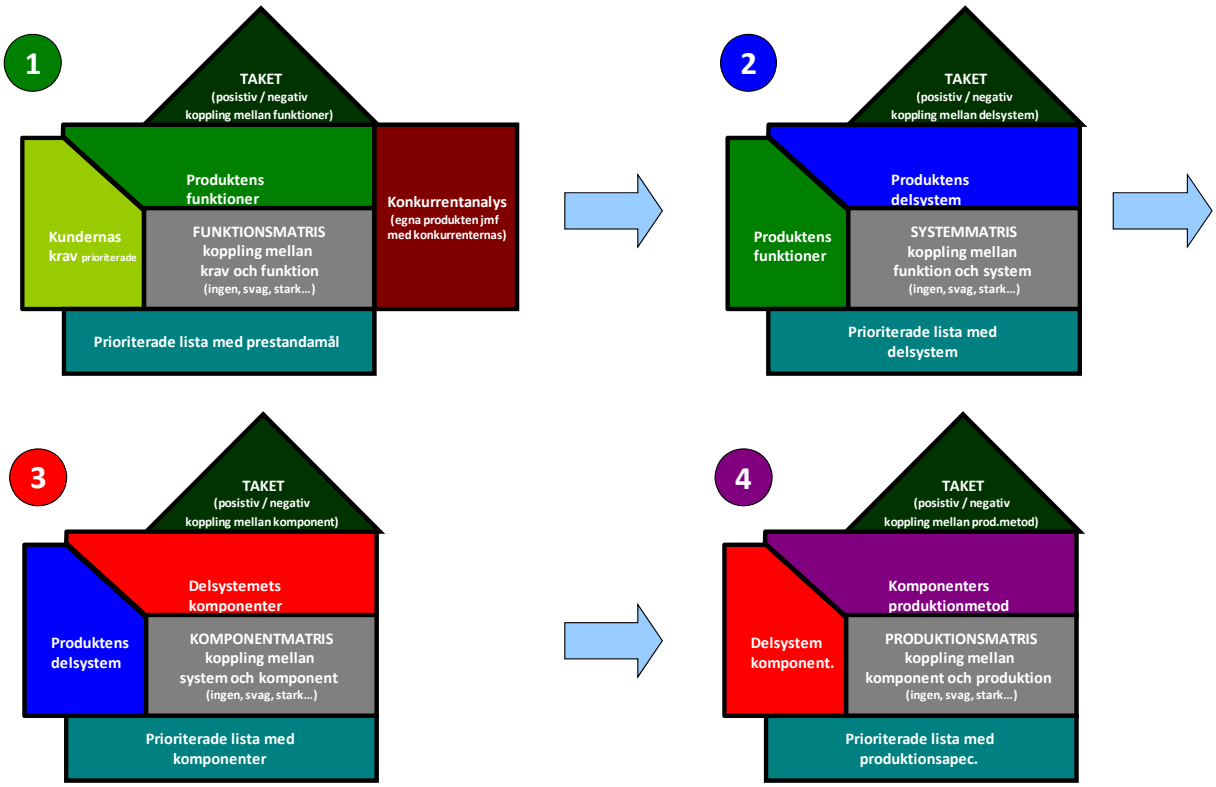

*Figur 3.9: House of quality - koppling mellan kundkrav (Voice of the Customer) och produktens funktioner.*

House of quality - *Funktionsmatris* består av sex fält:

[23] Akao, Y. Editor, (1990), *Quality Function Deployment: Integrating Customer Requirements into Product Design.*, Productivity Press

1. En prioriterad lista på viktiga kundkrav även kallad Voice of the Customer. Listan sammanställs ofta från kundundersökningar. Listan kan sedan prioriteras med hjälp av t. ex AHP metodik i fokusgrupper, se också kapitel 4.2.2.
2. En lista på produktens viktigaste funktionskrav eller egenskaper.
3. Taket visar om det finns funktionskraven påverkar varandra, + anger positiv påverkan och minus anger att funktionskraven är i konflikt med varandra.
4. Här anges relationen mellan kundens krav och produktens funktioner i viktskalan hög (9), medium (3), låg (1) eller ingen alls (0). Eftersom relationen bedöms kvalitativt kan det vara lämpligt att variera den för att undersöka hur känsligt utfallet av analysen är.
5. I detta fält bedöms den egna produkten med konkurrenternas efter kundernas krav. Även denna information fås ofta från kundundersökningar.
6. I detta fält prioriteras funktionskrav och prestandamål i produktutvecklingen.

Förutom funktionsmatrisen, finns det ytterligare tre matriser man brukar använda i produktutvecklingen, se Figur 3.10. *Systemmatrisen* fastställer hur funktionskraven är relaterade till produktens delsystem, jmf kopplingen mellan funktionell och fysisk domän i axiomatisk design. *Komponentmatrisen* kopplar delsystem till komponenter och slutligen *Produktionsmatrisen* kopplar hur produktens komponenter skall realiseras.



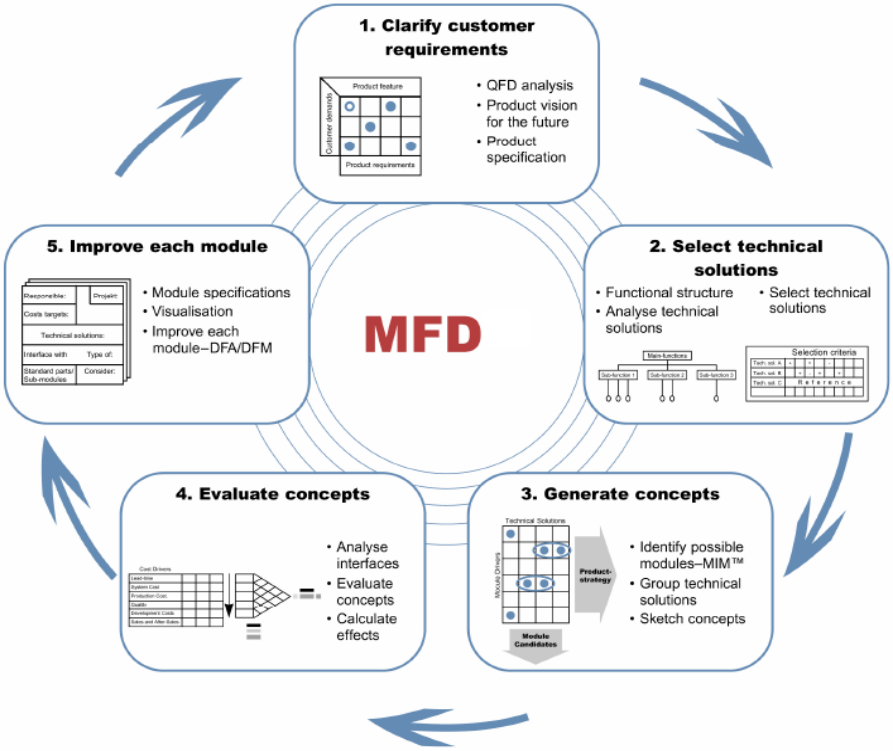

*Figur 3.10:Vanligt förekommande "house of quality" matriser i produktutvecklingsprocessen*

## 3.4 Modular Function Deployment (MFD)

Enligt Erixon[24] som utvecklade MFD finns det i huvudsak 4 drivkrafter för modularisering av produkter:

- **Marknad** - fler varianter ger ökad möjlighet att kundanpassa produkten
- **Produktutveckling** - möjliggör gradvis produktutveckling och snabbare time-to-market för nya produktvarianter genom återanvändning av moduler och modulvarianter (s.k. carryover)
- **Produktion** - effektivare produktion, bättre möjlighet att parallellisera och automatisera, genom att artiklarna i relation till produktsortimentet minskar
- **Inköp** - artikelsortimentet minskar, ökar möjligheten till outsourcing och strategisk leverantörssamverkan vid tillverkning av moduler (s.k. black box engineering).

MFD består av 5 steg, se Figur 3.11. De första två stegen (1-2) följer i stort sett QFD metodiken att från kundkrav skapa en funktionell struktur som kan uppfyllas av ett antal tekniska lösningar. De tekniska lösningarna skall om möjligt väljas så att villkoren för en axiomatisk design uppfylls (se avsnitt 3.2).




*Figur 3.11: Stegen i Modular Function Deployment, Erixon[24]*

I tredje steget identifieras drivkrafter för modularisering i en s.k. Module Interface Matrix, se Figur 3.12, där delfunktionernas tekniska lösningar kopplas till olika s.k. "module drivers" med samma viktskala som används i QFD, dvs (9) - stark, (3) - medium och (1) låg koppling.

[24] Erixon, G., (1998), *Modular Function Deployment - A Method for Product Modularisation*, Doctoral thesis, TRITA-MSM R-98-1, The Royal Institute of Technology, Sweden.

| Tekniska lösning / Drivkrafter | | Delfunktion 1 | Delfunktion 2 | Delfunktion .. | Delfunktion n |
|---|---|---|---|---|---|
| **Företags-specifikt** | | | | | |
| | | | | | |
| **Produkt-utveckling** | Carry over | | | | 9 |
| | Ny teknik | | 9 | | |
| | Planerad | | | | |
| **Varians** | Tekn. spec | | | 9 | |
| | Design | | | | |
| **Produk-tion** | Basenhet | 9 | | 3 | |
| | Process | | 9 | 9 | |
| **Kvalitet** | Testbarhet | 1 | | 3 | |
| **Inköp** | Svart låda | 3 | | | |
| **Efter-marknad** | Service | 3 | | 9 | |
| | Utbyte | | | | |
| | Återvinning | | | | 1 |

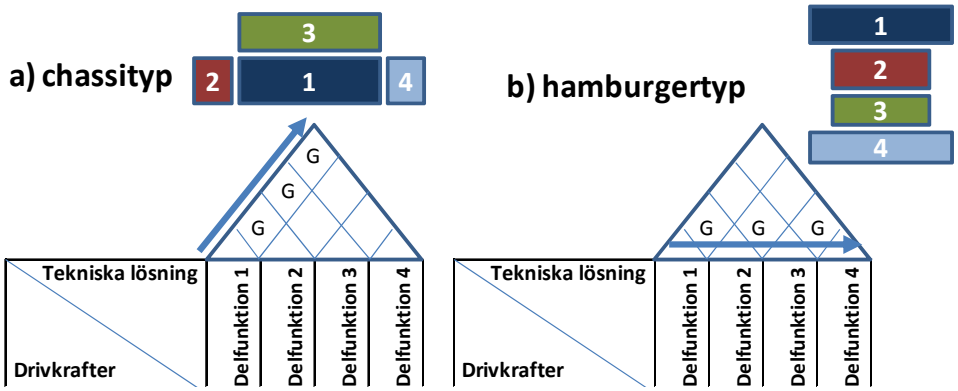
*Figur 3.12: Module Indication Matrix.* [24]

Erixon[24] delar in drivkrafterna för att modularisera i följande kategorier:

- Företagsspecifika skäl att modularisera produkten
- Produktutveckling
  - Carry over: Kan delfunktionen återanvändas i framtida produktgenerationer?
  - Ny teknik: Är det risk för att delfunktionen blir föråldrad under produktens livscykel?
  - Planerad: Kommer delfunktionen att behöva modifieras vid en framtida planerad produktutveckling?
- Varians
  - Teknisk specifikation: Påverkar kundanpassningen den delfunktionen?
  - Stil: Är utformning eller färg på delfunktionen en del av kundanpassningen?
- Produktion
  - Basmodul: Ingår delfunktion i alla produktvarianter?
  - Process: Finns det produktionstekniska skäl varför delfunktionen skall vara en egen modul?
- Kvalitet: Testbarhet: Kan en delfunktion testas separat?
- Inköp: Svart låda (black box engineering): Kan vi köpa in delfunktioner från en specialiserad underleverantör
- Eftermarknad
  - Service: Blir underhållet enklare?
  - Utbyte/uppgradering: Kan vi lättare uppgradera produkten?
  - Återvinning: Kan vi enkelt återvinna material och komponenter?

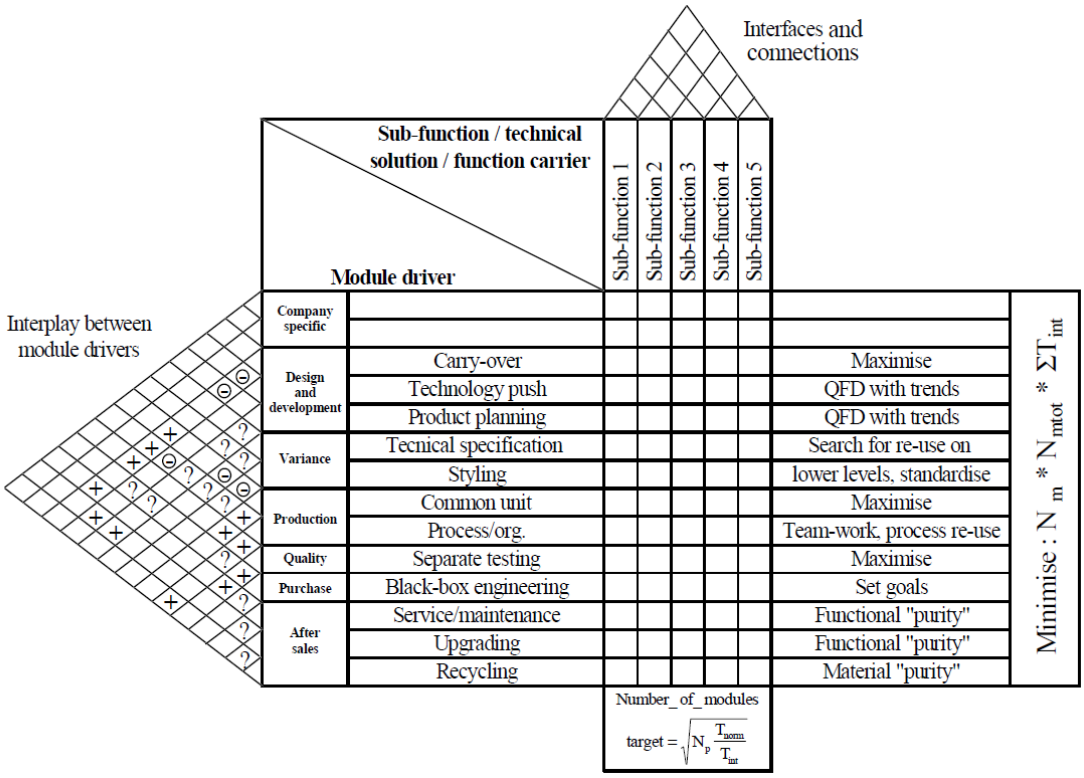
Efter att man genererat MIM matrisen utvärderas den i nästa steg. Delfunktioner (tekniska lösningar) som får höga poäng i MIM - matrisens kolumner alternativt har unika drivkrafter blir lämpliga modulkandidater. Delfunktioner som har få drivkrafter eller låga poäng kan möjligtvis grupperas (integreras med andra delfunktioner) för att skapa lämpliga moduler. Observera att vissa moduldrivare kan vara olämpliga att kombinera (t.ex *carry over* med *ny teknik*) och att alla delfunktioner inte kan modulariseras. En annan viktig utgångspunkt är hur gränsnitten mellan de olika modulerna skall or-

ganiseras eftersom de styr hur de geometriskt (G), kraftsmässigt (E) eller på nåt annat sätt skall samverka i en produktkonfiguration. Figur 3.13 visar två exempel på hur modulerna kan sättas samman genom att indikera vilka delfunktioner som har gemensamma geometriska gränssnitt (G). Konfiguration a) är av chassityp medans konfiguration b) brukar benämnas hamburgertyp eftersom delfunktionerna staplas på varandra.




*Figur 3.13: Indikering av gränsnitt i MIM matrisen*

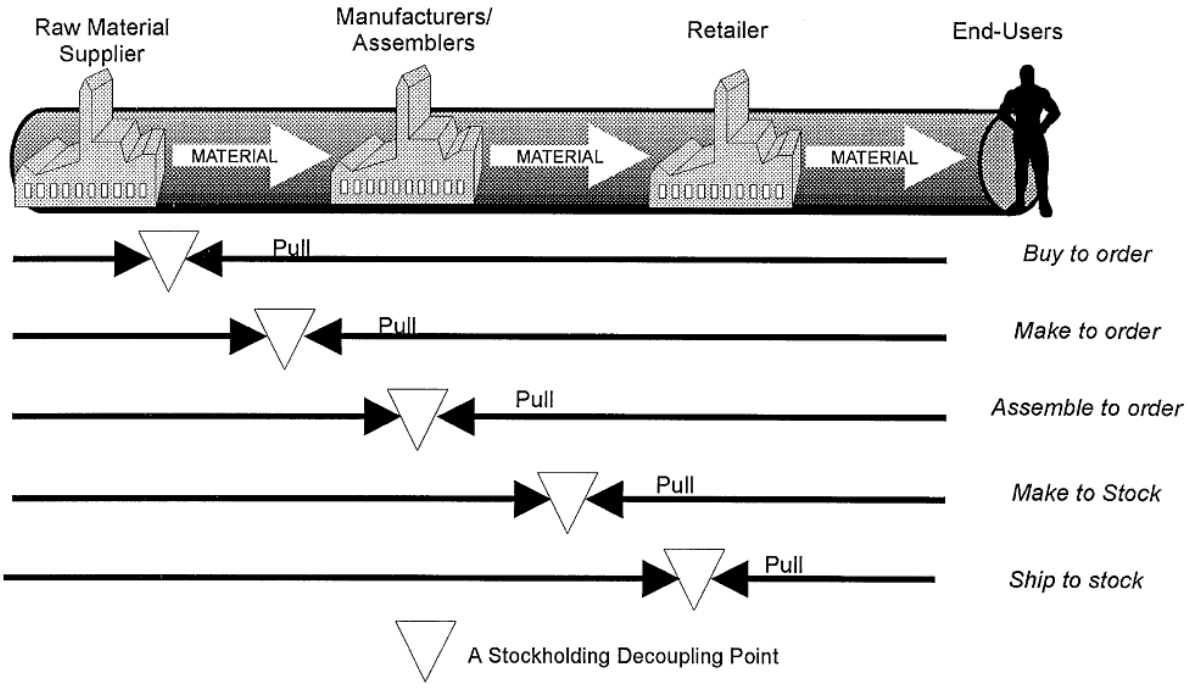
Förutom att utvärdera gränssnitt ingår även att bestämma hur många moduler man skall ha (varje modulindelning kan också resultera i en mer komplicerad hopsättningsprocess) och vilka företagsspecifika kostnader som olika koncept genererar. Det sista steget är att optimera det framtagna produktkonceptet ytterligare. Erixon sammanfattade MFD processen i "House of MFD"[24] genom att lägga till kopplingen (ett tak) mellan olika moduldrivare samt sätta mål för drivkrafter och antal moduler, Figur 3.14.




*Figur 3.14: House of MFD, efter Erixon.* [24]

## 3.5 Lean- Agile organisation av försörjningskedjan

Hittills har vi i huvudsak diskuterat hur positionering av kundorderpunkten påverkar projekterings-processen, se Figur 2.6. På samma sätt påverkar kundorderpunktens läge strategin för försörjnings-kedjan, se Figur 3.15.



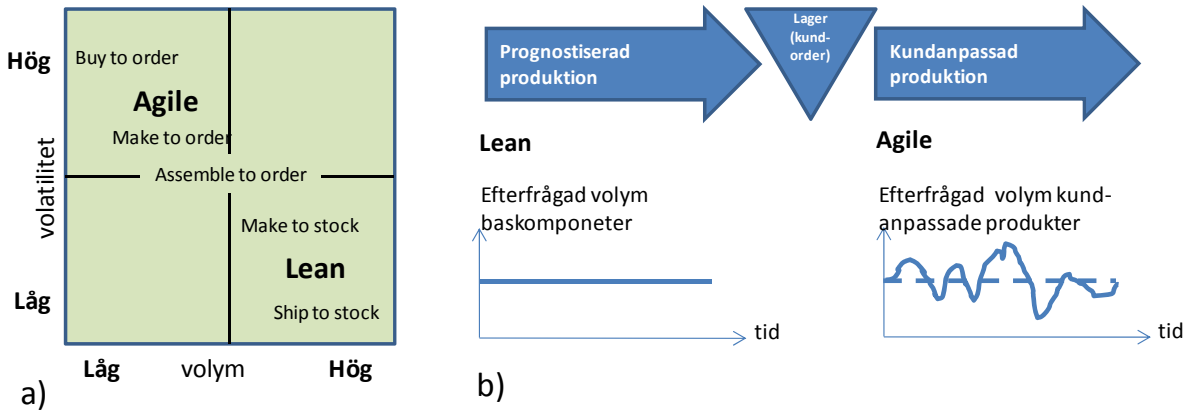

*Figur 3.15: Olika strategier för organisation av försörjningskedjan,* [25] *(kundorderpunkt benämns också decoupling point).*

Beroende av variabler som variation av efterfrågan, grad av kundanpassning, produktionsvolymer organiseras produktionssystemets försörjningskedja olika. Utifrån valt system så sker produktions-aktiviteter uppströms kundorderpunkten mot prognos medans aktiviteter nedström sker mot kund-order.

Christopher[26] menade att val av produktionsstrategi är beroende av variation av efterfrågan (volatili-ty) , produktvolymer men också grad av kundanpassning. I marknader med hög volatilitet och låga volymer passar "agila" strategier medan massmarknader med relativt höga volymer och förutsägbar-het passar "leana" strategier bättre, Figur 3.16 a). Idag växer det fram hybridlösningar s.k. "leagile"[27] försörjningskedjor där det slutliga anpassningen/konfigureringen av produkten sker direkt mot kund (s.k. mass customization). Uppströms kundorderpunkten produceras komponenter och moduler som ingår i alla produktvarianter, mot en prognostiserad försäljningsvolym. Efterfrågan blir jämn och produktionen kan taktas enligt lean principer. Nerströms kundorderpunkten varierar efterfrågan både till volym och variant av produkt. För att möta marknaden krävs att produktionssystemet är

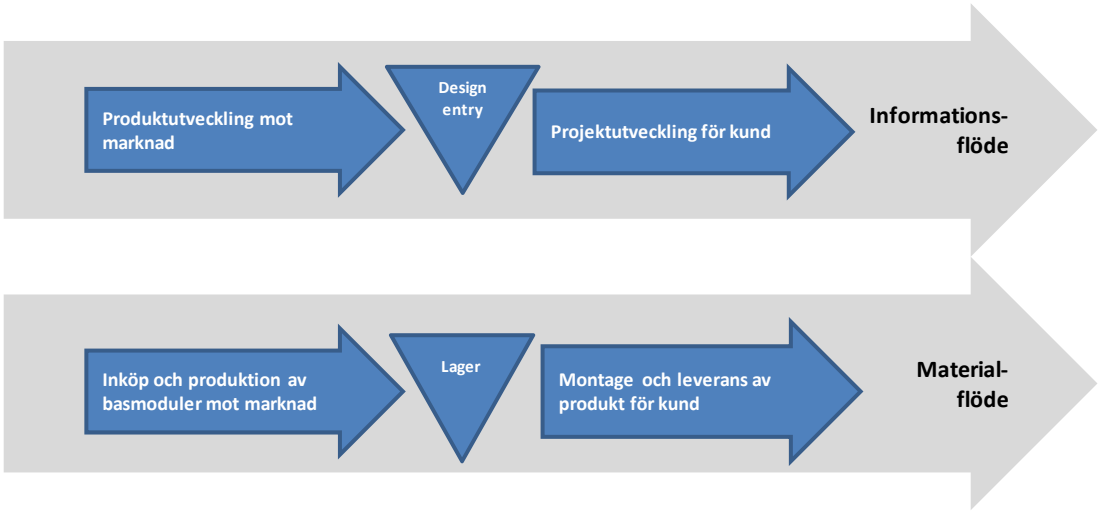
[25] Hoekstra, S.J. & Romme, J.H.J.M. (1992), *Integral logistic structures: developing customer oriented goods flow*, McGraw Hill, London
[26] Christopher, M., (2000) The Agile Supply Chain - Competing in Volatile Markets, I*ndustrial Marketing Management* 29, 37–44
[27] Naylor, J.B., Naim, M.M., Berry, D., 1999. Leagility: Integrating the lean and agile manufacturing paradigms in the total supply chain, *Int. J. Production Economics* 62 107-118

mer "agile" och snabbt kan ställas om för att möta efterfrågan, se Figur 3.16 b). Vinsten är ett effektivare produktionssystem med mindre lager och snabbare responstid.[28]




*Figur 3.16a) Lean och Agile strategier beroende av volatilitet och volym[26], b) Leagile en hybrid strategi för konfigurerbara produkter.[27]*

Kundorderpunkten bestämmer både när informationsflödet och materialflödet till kundanpassningen startar i ett lean-agile produktionssystem[26],




*Figur 3.17: Lean-agile produktionssystem där "leana" produktutvecklings- och produktionsprocesser av gemensamma moduler och komponenter sker mot marknadsprognoser och "agile" kundanpassade projektutvecklings och montageprocesser sker mot kund.*

För att kunna använda sig av en "Leagile" strategi är det viktigt att produkten kan modulariseras så att alla produktvarianter har gemensamma s.k. basmoduler och komponenter som gör det möjligt att tillverka mot prognos. Frikopplingspunkten designas ofta som ett kanban lager som drar igång tillverkningen av basmoduler/komponenter när lagersaldot sjunker under en viss säkerhetsnivå.

Lean-agile strategier tillämpas av många producerande företag som kundanpassar sina produkter t ex. Scania, Hewlett Packard med flera.

[28] Lu, W., Olofsson, T., Stehn, L. 2011. A lean-agile model of homebuilders production system, *Construction Management and Economics*, 29: 1, 25-35

# 4 Intressenter, krav, prestanda och beslutprocess

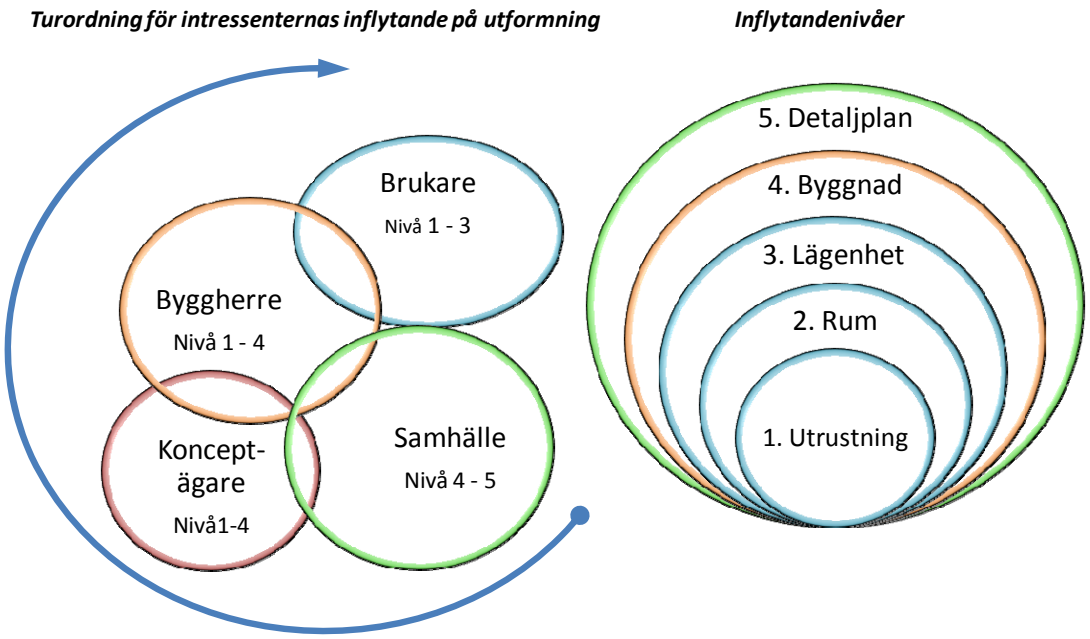
## 4.1 Olika intressenters inflytande och krav

Det finns i huvudsak tre grupper av intressenter eller kravställare i en traditionell byggprocess[29]:

- Brukarna
- Byggherre/fastighetsägare
- Samhället

I ett industriellt konceptbyggande kommer även konceptägaren att vara en definierad kravställare. Dessa krav bestäms i konceptutvecklingen och kommer att vara begränsningar (randvillkor) i projektutvecklingsskedet av byggnaden.

Kravställarna har olika intressen att bevaka och inflytande över utformningen, Figur 4.1. Intresseområden kan överlappa och vid intressekonflikter så gäller en viss turordning så att samhällets krav kommer först, sedan konceptägare och byggherre och sist brukarnas. De olika grupperna har i viss mån olika områden eller nivåer som de utövar sitt inflytande på. Först skall byggnaden, uppfylla lagar, normer och krav i detaljplanen som samhället ställer. Därefter får byggherren besluta om det som samhället inte har intresse av att påverka och hur stor del av utformningen som brukaren kan vara med att påverka förutsatt att konceptets randvillkor uppfylls. Alltså, det är byggherren/fastighetsägaren som avgör vilket inflytande som brukaren skall ha i det aktuella projektet och koncepts frihetsgrader som avgör vad som kan påverkas.




*Figur 4.1: Kravställare i byggprocessen, inflytandenivåer och turordning, anpassat efter Svanerudh (1998)*

I det fortsatta analysen så har inflytandet indelats i 5 hierarkiska nivåer (Nivå 1-3 är tagen från Svanerudh, 1998)):

[29] Svanerudh, P., (1998), *Förkonstruerade byggnader - systemtänkande för en effektivare byggprocess*, Licentiatuppsats 1998:04, Luleå tekniska universitet.

Nivå 1. Utrustningsnivån i lägenheter påverkar vad som skall placeras in i rummet (t ex spis, diskmaskin, garderober och köksskåp) samt vilken standard och utseende denna utrustning skall ha. Även ytskikt, lister, foder mm som skall finnas i rummet ingår.

Nivå 2. Rumsnivån styr vilka rumstyper som skall finnas i lägenheten (t ex kök, vardagsrum och sovrum), rumssamband och planlösning. De olika rumstyperna beror i sin tur på aktiviteter som skall bedrivas och på vilket sätt. Här avgörs också placering, typ och storlek av fönster, dörrar och öppningar, installationer som krävs (el, vatten, avlopp och ventilation) samt krav på tätskikt i t ex badrum.

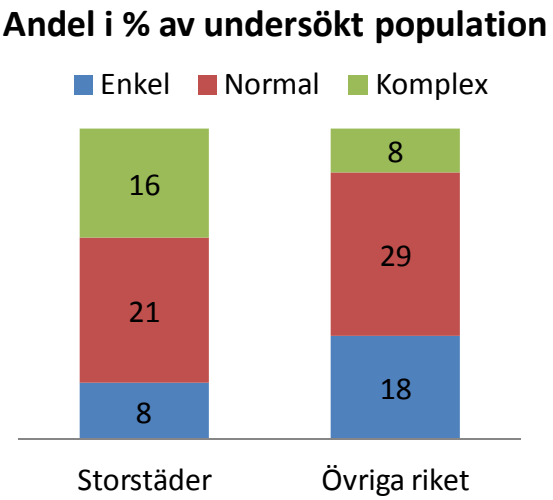
Nivå 3. Lägenhetsnivån styr lägenhetens storlek till yta, form och höjd (våningshöjd).

Nivå 4. Byggnadsnivån styr övriga parametrar i byggnaden som antal lägenheter per våningsplan, antal våningsplan, trapphus, installationer och övriga gemensamma utrymmen, utformning av fasad, energirelaterade krav och säkerhet mot fukt, intrång m.m.

Nivå 5. Detaljplanen reglerar läge, storlek och utformningen av bebyggelse för att förverkliga kommunens mark- och vattenanvändning.

### 4.1.1 Samhälle

Marknaden för flerbostadhus skiljer sig i komplexiteten vad gäller geometri och repeterbarhet i planmässig utformning och förekomst av tekniska lösningar inom och mellan våningsplan mellan våra storstadsregionerna (Stockholm, Göteborg och Malmö) och övriga riket. Larsson[30] bad platschefer bedöma komplexiteten i ett urval av påbörjade flerbostadsprojekt i en tregradig skala enkel, normal och komplex, se Figur 4.2.




*Figur 4.2: Bedömd komplexitet av utformning och teknisk innehåll i flerbostadshus med betongstomme[30].*

I storstadsregionerna var andelen komplexa flerbostadshus väsentligt högre jämfört med övriga riket. Hur stor flexibilitet (möjlighet till kundanpassning) ett koncept bör ha är alltså beroende var mark-

[30] Larsson, R., (2008), *Platsgjutna stommar för flerbostadshus*, Rapport TVBK-3057, Avdelningen för Konstruktionsteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund

naden finns (geografisk region) och den volym man önskar uppnå. En stor del av komplexiteten styrs av samhällets detaljplaner[31].

Detaljplanen skall utformas efter samhällets behov och lokala förutsättningarna. En detaljplan kan initieras på olika sätt men sker oftast genom att markägaren eller en byggherre ansöker om att en detaljplan ska upprättas. Då byggnadsnämnden i kommunen fått in ansökan om bygglov så prövar de ifall förutsättningarna i tänkt byggprojekt uppfyller detaljplanens krav på placering och utformning eller om det medför fara eller nackdelar för grannar. Om inga hinder finns beviljas bygglovet.

Detaljplanerna kan påverka hur utvecklade koncept kan användas, då de i  många fall reglerar mått för byggnadernas höjd, längd och bredd och hur stor del av tomtens yta som får bebyggas. Hur hård regleringen i detaljplaner är beror ofta på var i staden den ligger. Generellt innehåller de mer centralt belägna detaljplanerna fler bestämmelser och utformningskrav. I innerstäder är ofta yttermåtten en begränsande faktor som medför att det inte går att tillämpa huskonceptet. Som exempel kan en hel våning behövas tas bort till följd av att höjdmåttet i detaljplanen överskrids. Byggherren får en mindre yta att hyra ut och lägre  inkomster för den industriellt producerade byggnaden. Andra vanliga svårigheter för industriella byggkoncept kan vara indragningar, styrda mått på fönster, föreskrivna ytskikt på byggnaders fasader, detaljkrav på bullerdämpande konstruktioner, möjlighet till parkering under jord i tättbebyggda områden[31].

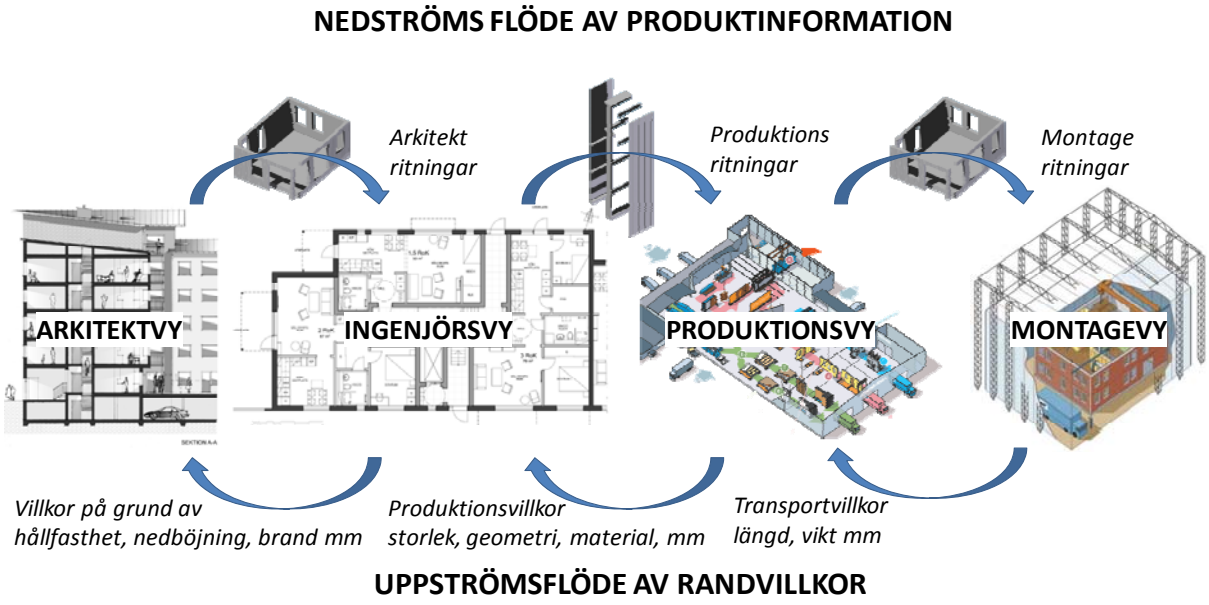
Det finns möjlighet att få bygglov  fastän ansökan avviker från detaljplanen, dock måste avvikelsen då uppfylla två villkor. Den ska  både  vara av ”mindre” art och  överensstämma med planens syfte. Att avgöra vad som är ”mindre” kan ibland vara svårt eftersom det inte anges i plan och bygglagen vad som är mindre. Bygglovshandläggare tar ofta hjälp av tidigare prövade rättsfall för att kunna bedöma om avvikelsen är mindre. Att möjliggöra så att byggkoncept går applicera på detaljplaner genom mindre avvikelser är självklart tänkbart. Det som framkom under intervjuerna var att detta ansågs vara både besvärligt och inte helt riskfritt. Byggherren vill inte avvika från detaljplanen eftersom en bygglovsansökan med avvikelser från planen måste kungöras till berörda parter, däribland grannar, som då har möjligheten att överklaga ett beviljat bygglov. Den generella inställningen hos grannar är mycket ofta att saker ska bevaras som de är och att det inte skall göras ändringar, därför sker oftast även en överklagan på bygglovet ifall ansökan beviljas. Vidare kan det leda till att bygglovsprocessen fördröjs. Eftersom bygglovet först måste prövas med hänsyn till mindre avvikelser och sedan kungöras, så medför det också att det kommer ta längre tid att få ett beslut, jämfört med en bygglovsansökan utan avvikelser. Med det i åtanke så kanske det bästa sättet att göra fler detaljplaner kompatibla med industriellt byggande inte ska ske genom undantag eller mindre avvikelser. Det som behövs är snarare att identifiera svårigheterna innan detaljplanerna utformas, och försöka komma runt dessa så att kompabiliteten blir bättre i tillämpning av det industriella byggkonceptet.

### 4.1.2 Konceptägare

Konceptägarens krav definieras i konceptutvecklingsstadiet och är beroende av begränsningar i produktionssystem, transporter samt geometriska och funktionella randvillkor av utvecklat koncept. Dessa krav kommer tillsammans med andra styrande krav att vara randvillkor i projektutvecklingsskedet av konceptet. Därför är det viktigt att konceptets alla villkor kommuniceras mellan de olika aktörerna i projektutvecklingen av byggnaden för att undvika avvikelser från konceptet som

[31] Dursun, G., 2010. *Sambandet mellan det industriella byggandets förutsättningar och detaljplaner*, Examensarbete, Luleå tekniska universitet.

blir kostnadsmässigt och tidsmässigt dyrbara att genomföra, se också kapitel 2.5. Figur 4.3 visar hur information och konceptbegränsningar bör kommuniceras nedströms och uppströms mellan olika aktörers produktvyer i projektutvecklingen. Det kan antingen ske med mallar eller byggas in de olika aktörernas CAD verktyg[32].




*Figur 4.3: Nedströms och uppströms flöde av information och randvillkor mellan projektutvecklingens olika aktörer, anpassad efter Malmgren et al[32]*

### 4.1.3 Byggherre/fastighetsägare

Bostadsföretag som står för byggherrerollen i de flesta byggprojekt bör involvera konceptägare tidigare i processen för att kunna beakta de begränsningar som ett koncept innebär, innan detaljplanen fastställts. Byggherren kan också upprätta ramavtal med möjlighet till avrop från industriella konceptbyggare när nya bostadsområden skall projekteras. Ramavtalen innebär, förutom möjligheten att erhålla bättre priser, ett mer långsiktigt samarbete med konceptägare och bättre möjligheter att ta hänsyn till upphandlade byggkonceptet i detaljplanen. Eftersom de största bostadsföretagen i Sverige är kommunalägda, måste lagen om offentlig upphandling (LOU) följas vid upphandling av ramavtal. Det som är värt att tänka på då är att ramavtalens löptid max får vara fyra år (inklusive options- och förlängningsklausuler). EG-direktivet fastlägger att en upphandlande myndighet inte får använda ramavtal på ett sådant sätt att konkurrensen förhindras eller begränsas.

### 4.1.4 Brukare

Brukaren kan principiellt ha inflytande över nivåerna 1 tom 3. Nivå 1 - inflytande över utrustning kan ofta tillfredsställas till en relativt låg kostnad och påverkar ofta inte byggkonceptet. Det är vanlig att konceptägaren erbjuder ett utbud ofta i form av paketval för att få upp volymer och därigenom kunna sänka inköpskostnaderna.

[32] Malmgren L, Jensen P, Olofsson T (2010) Product modeling of configurable building systems - a case study, *ITcon* Vol. 15, pg. 354-368, http://www.itcon.org/2010/27

Nivå 2 - inflytande över rumsutformning. En del av dessa frihetsgrader kan vara standardiserade på en högre nivå (som typ och placering av fönster) och ej vara valbara för brukaren. Andra friheter som berör rums och rumssamband kan göras valbara genom möjlighet att lägga till/ta bort innerväggar och välja öppningstyper och dörrar mellan rummen.

Nivå 3 - inflytande över lägenhetsutformning. Att ändra geometri på en lägenhet påverkar ofta byggnaden som helhet och därför bestäms ofta denna nivå av fastighetsägaren. Däremot är storlek på lägenhet och takhöjd viktiga parametrar för att kunna attrahera hyresgäster eller bostadsrättsinnehavare. Det finns exempel på flexibla koncepthus där storleken på lägenheterna (ytan) bestäms av lägenhetsköparen, där största storleken omfattar ett helt våningsplan.

## 4.2 Från ställda krav till utvärdering av prestanda

### 4.2.1 Kundkrav och önskemål till funktionskrav och prestanda

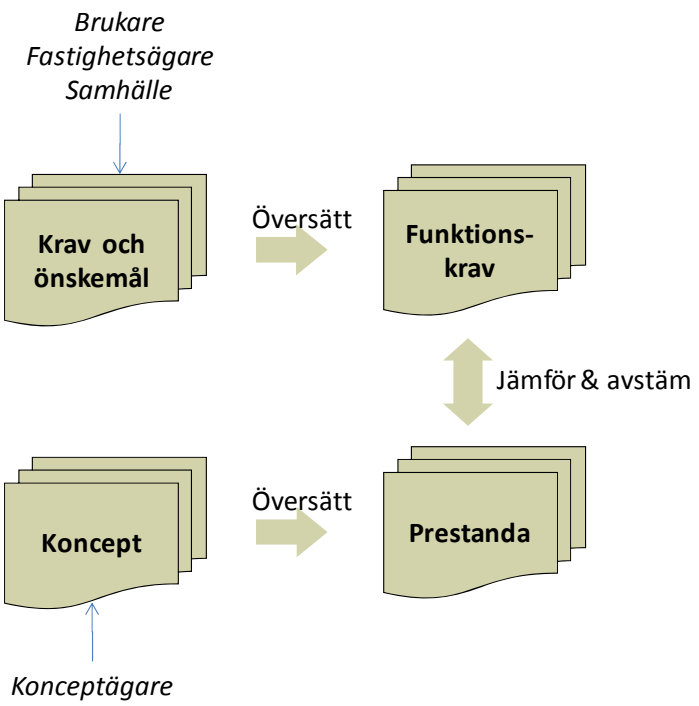
Krav på tekniska lösningar som härleds från kunders krav och behov, den så kallade "Voice of the customer", leder ofta till komplicerade beslutsproblem i utvecklingen av en produkts egenskaper. Till exempel så kan estetiska önskemål om fönster placering och utformning stå i konflikt med krav på klimatskalets egenskaper. Kriterier för utvärdering av en föreslagen teknisk lösning kan också variera från subjektiva kriterier med hjälp av kvalitativa uttalanden till objektiva och mätbara kriterier, med olika dimensioner eller skalor.

Man gör också skillnad på krav och önskemål. Ett krav är ett mått som erbjuden lösning måste uppfylla för att vara möjlig att erbjuda kunden. Ett (önske)mål är ett mått som en lösning kan uppfylla för att vara ett attraktiv erbjudande för kunden. Ett krav och önskemål kan sättas olika för en viss funktion. T ex så kan kravet på energiförbrukning sättas högre i förhållandet till målet vid utvecklingen av ett visst koncept. Alla varianter av ett visst koncept måste uppfylla Boverkets krav på energiförbrukning. Vissa varianter som erbjuds kan vara bättre isolerade och ha lägre energiförbrukning.

En annan utmaning är att i den normala projekteringen utvärderas och anpassas designen normalt i olika faser med ökande detaljnivå. I ett industriellt konceptbyggande är ofta designen på en mer detaljerad nivå redan bestämd i produktutvecklingsskedet vilket kan leda till konflikter med byggherrar / kunder som vill implementera specifika tekniska lösningar i projektutvecklingen av ett industriellt koncept.

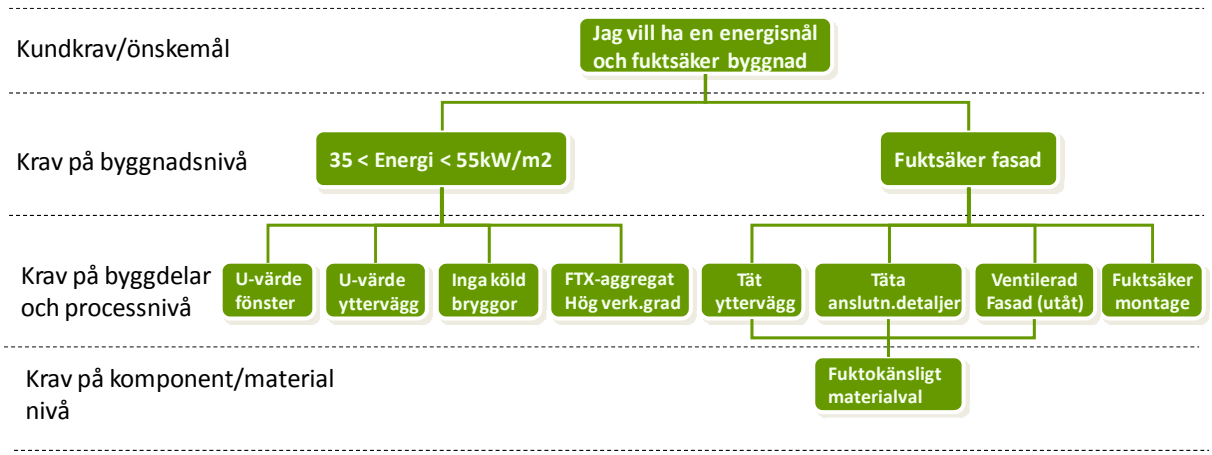
Att uttrycka en produkts tekniska lösning i termer av prestanda, Figur 4.4, erbjuder här ett språk som kan länka en produkts föreslagna tekniska lösning till kundens krav och önskemål, (Spekkink, 2005).

I ett utvecklingsskede utvecklar konceptägaren sitt koncept för en kategori av brukare / fastighetsägare / samhälle. Exempel på kategori kan vara exklusiva bostadsrätter i storstadsregioner. Uttalande kundkrav och önskemål översätts till funktionskrav som måste vara uppfyllda för att den tekniska lösningen skall vara godtagbar (kravvärde) och attraktiv för kund (målvärde). Funktionskraven utgör sedan underlaget för utvecklingen av konceptet. Uppskattade och/eller uppmätt prestanda och egenskaper av utvecklat koncept jämförs med funktionens krav och målvärden. I projektutvecklingsskedet kan konceptet sedan kundanpassas till en specifik kund.




*Figur 4.4: Användning av funktionskrav och prestanda för att jämföra kundkrav med utvecklade konceptlösningar, anpassad efter Spekkink, (2005).*

Ett kundkrav leder ofta till övergripande funktionskrav på byggnaden som i sin tur kommer att generera detaljkrav på delsystem, process (utförandet) och val av material, Figur 4.5. Tolkningen av "energisnål" har översatt till ett funktionskrav på energiförbrukning mellan 35 - 55 kW/m$^2$ och år. Den övre gränsen får här ses som en kravnivå (högsta godtagbara) medan den lägre som en målnivå för konceptutvecklingen. För att fuktsäkra byggnaden är ett funktionskrav att fasaden skall vara tät. Om fukt ändå skulle uppstå i ytterväggarna skall den kunna ventileras utåt i byggdelen samt att materialet i ytterväggen skall vara fuktokänsligt för att ytterligare försäkra sig om en robust konstruktion.




*Figur 4.5: Exempel på brukarkrav som generar hierarkiska funktionskrav på byggnads-, byggdels-, process- och materialnivå.*

I ett krav/prestanda drivet industriellt konceptbyggande är det viktigt att brukare, fastighetsägare och samhälle ställer krav på funktioner och/eller estetik på byggnaden och inte krav på att vissa tek-

niska lösningar skall användas. Konceptägaren har i sin tur ansvar att utveckla sitt koncept så att byggnadens prestanda motsvara kundens krav och förväntningar. Denna uppdelning ger också konceptägaren frihet att välja tekniska lösningar som bäst är anpassade till att uppfylla den totala kravbilden för konceptet.

### 4.2.2 Beslutsprocess, beslutsstöd och utvärderingskriterier

Beslutsprocessen är att studera, identifiera och välja från ett urval av alternativa lösningar baserat på beslutsfattarnas värden och preferenser. Att fatta ett beslut innebär alltså att det finns alternativa lösningar att beakta, och förutom att kunna identifiera så många alternativ som möjligt vill vi också kunna välja den som bäst uppfyller våra syften, krav och önskemål.

Enligt Baker et al. (2001), så kan en formell beslutsprocess delas i ett antal steg, se Figur 4.6. Berörda intressenter måste vara överens om vad problemet är innan man kan gå vidare och diskutera vilka minimikrav som en lösning måste innehålla för att vara acceptabel, s.k. randvillkoren för lösningen. I nästa steg bestäms mål, d v s önskvärda prestanda som lösningen bör sträva efter. Målen kan vara motstridiga men detta är ofta vanligt i praktiska beslutssituationer. Efter att krav och mål definierats utvecklas/identifieras alternativa lösningar som sedan jämförs med utvärderingskriterier som baseras på de uppsatta målen. Observera att alla alternativ skall uppfylla kraven definierat i steg 2.

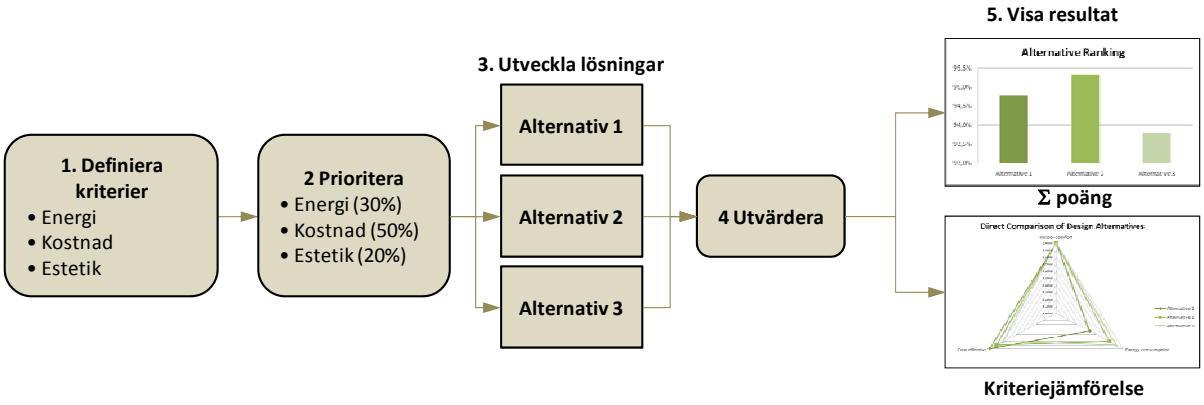
*Figur 4.6: En formell beslutsprocess, anpassad efter Baker et al.*[33]

Idag finns en uppsjö av system och metoder som kan användas för att stödja olika typer av så kallade beslutsproblem. I praktiska problem har man ofta ett ändligt antal kriterier att utvärdera för ett fixt antal alternativ. Denna typ brukar benämnas för "Multi-Attribute Decision Making" problems, (MADM). I InPro projektet[34] utvecklades MADM verktyg - SMART DMF, som var anpassat till ett krav/prestandadrivet modellbaserad projekteringsprocess, Schade[35] et al. (2011).

Kortfattat består metodiken av 5 steg, se Figur 4.7:

[33] Baker, D., Bridges, D., Hunter, R., Johnson, G., Krupa, J., Murphy, J. and Sorenson, K. (2001) *Guidebook to Decision-Making Methods*, WSRC-IM-2002-00002, Department of Energy, USA.
[34] InPro (2011), *Open Information Environment for Knowledge-Based Collaborative Processes throughout the Lifecycle of a Building*, http://www.inpro-project.eu/main.asp
[35] Schade, J., Olofsson, T. & Schreyer, M. (2011): Decision-making in a model-based design process, *Construction Management and Economics*, 29:4, 371-382

1. Definiera vilka kriterier som skall användas för att utvärdera dom olika lösningsalternativen. Dessa kriterier skall vara tydligt kopplade till målen och helst vara oberoende av varandra. Kriterierna kan vara objektiva (exempelvis mätbara prestandamått som energiförbrukning, kostnader etc) eller subjektiva (som t ex uppskattningar av estetiska värden).
2. Bestäm hur viktig dom olika kriterierna är relativt varandra genom parvisa jämförelse enligt Saaty's[36] Analytical Hierarchical Process, (AHP). Varje kriterium får en vikt mellan 0-100%, $w_{j=1..3} \in \{0\text{-}100\%\}$
3. Utveckla alternativa lösningar som varierar vikten av de olika kriterierna.
4. Utvärdera kriterierna för de olika lösningarna genom att normalisera värdena i en skala 0-100%, där 100% motsvarar för total måluppfyllelse av kriteriet, $c_{j=1..3} \in \{0\text{-}100\%\}$.
5. Visa resultatet som en summa för varje alternativ $r_i = \sum_{j=1..3} w_j\, c_j$




*Figur 4.7: Beslutstödsmetodik*[35]

Ett enkelt exempel:

1) En byggherre vill bygga ett kombinerat affär, kontor och bostadshus och har satt upp följande mål och krav gällande tre kriterier som skall användas för att välja alternativ:

- Energiförbrukning; mål = 110 kWh/m$^2$a, krav <150 kWh/m$^2$a
- Utsläpp av växthusgaser $C0_2$ equivalenter från material, produktion och brukarfas (50 år); mål = 500 kg/m$^2$ a $C0_{2e}$, krav < 900 kg/m$^2$ a $C0_{2e}$
- Investeringskostnad Mål = 150 MSEK, krav < 250 MSEK

2) De tre kriterierna prioriteras genom parvis jämförelse med användande av Saaty's verbala AHP skala[37]:

- *Energiförbrukning* är mindre viktig än *Investeringskostnad*, (E1:I3)
- *Energiförbrukning* är lika viktig som $C0_{2e}$, (E1:C1)
- *Investeringskostnad* är viktigare $C0_{2e}$, (I3:C1)

Genom att beräkna den normaliserade egenvektorn från den s.k. prioritetsmatrisen från man vikterna för de olika kriterierna.

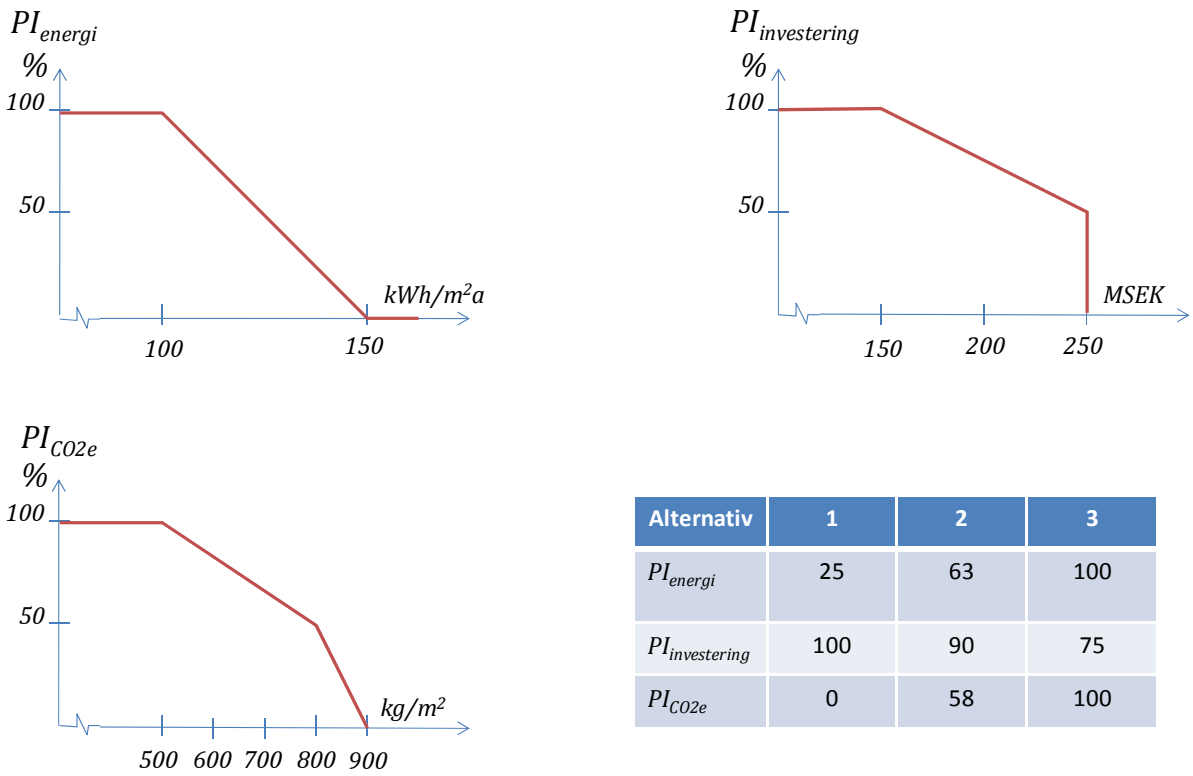
[36] Saaty, T.L. (1980) *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw Hill
[37] AHP skalan varierar mellan 1 till 9 och anger hur mycket mer den ena kriteriet betyder jämfört med det andra. Saaty föreslog att använda en verbal skala och översätta detta till den numeriska (lika=1 viktigare=3 mer viktig=5 mycket viktigare=7 extremt viktigare=9). T.ex A är viktigare än B betyder att A är 3 ggr viktigare än B.

$$\mathbf{w} = \begin{bmatrix} w_{energi} \\ w_{invest} \\ w_{co2e} \end{bmatrix} = egenvektor\left(\begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1 \\ 3 & 1 & 3 \\ 1 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}\right) = \begin{bmatrix} 0{,}2 \\ 0{,}6 \\ 0{,}2 \end{bmatrix}$$

3) Från valet av kriterier och hur intressenterna prioriterar de olika kriterierna kan man utveckla/projektera olika alternativ som i nästa steg utvärderas. I exemplet projekterades 3 alternativ med följande uppskattad prestanda:

- Alternativ 1: Energi =140 kWh/m$^2$a, Investering=150 MSEK, $C0_2e$ = 900 kg/m$^2$a,
- Alternativ 2: Energi =125 kWh/m$^2$a, Investering=170 MSEK, $C0_2e$ = 750 kg/m$^2$a,
- Alternativ 3: Energi =100 kWh/m$^2$a, Investering=200 MSEK, $C0_2e$ = 500 kg/m$^2$a

4) Innan vi kan utvärdera och jämföra de tre alternativen måste vi normera kriterieskalorna. Vad betyder det att alternativ 2:s energiförbrukning är 15kWh/m$^2$a från målvärdet jämfört med att investeringen är 20 MSEK från målvärdet? Normering av skalorna görs med s k "utility" funktioner där vi översätter prestanda till ett prestandaindex som anger hur intressenterna värdera värdet i förhållandet till målvärdet för kriteriet. Ett prestandaindex (PI) på 1 eller 100% innebär att målvärdet är uppnått. I Figur 4.8 har tre s.k. PI funktioner definierats för kriterierna energi, investeringskostnad och växthusgaser. Observera att värden som ej uppnått kravnivån inte är tillåtna, det alternativet uppfyller inte kraven.

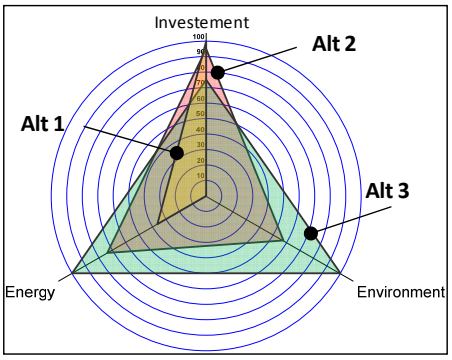



| Alternativ | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| $PI_{energi}$ | 25 | 63 | 100 |
| $PI_{investering}$ | 100 | 90 | 75 |
| $PI_{CO2e}$ | 0 | 58 | 100 |

*Figur 4.8: Utility funktioner och utvärderade PI för de tre kriterierna för varje alternativ.*

5) I sista steget sammanställs resultaten och visas som ett beslutsunderlag för de intressenter som skall fatta beslut. Förutom att varje alternativs prestandaindex kan visualiseras så kan summa prestandan beräknas genom att multiplicera med den viktade prioritetsvektorn som ett mått på målupp-

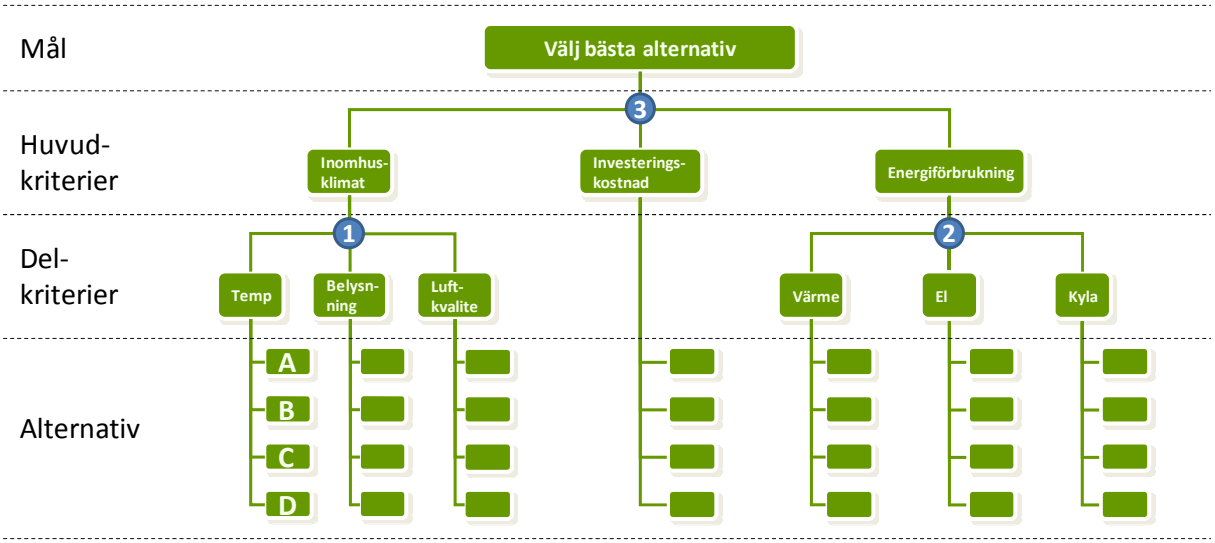
fyllelsen för de olika alternativen, se Figur 4.9. I exemplet kan vi se att alternativ 3 får den högsta värdet med 85% måluppfyllelsen av uppsatta kriteriemål.




$$\begin{bmatrix} PI_1 \\ PI_2 \\ PI_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 25 & 100 & 0 \\ 63 & 90 & 58 \\ 100 & 75 & 100 \end{bmatrix} \bullet \begin{bmatrix} 0{,}2 \\ 0{,}6 \\ 0{,}2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 65 \\ 78 \\ 85 \end{bmatrix}$$

*Figur 4.9: Exempel på visualisering av prestandaindex och summa prestanda för de olika alternativen .*

Metodiken går att skala upp till att omfatta ett mycket större antal kriterier genom att organisera kriterierna hierarkiskt, se Figur 4.10




*Figur 4.10: Hierarkisk uppdelning av kriterier och beslut, se förklarade text.*

I exemplet så finns totalt 7 beslutskriterier och 4 alternativ att utvärdera. Kriterierna *temperatur*, *belysning* och *luftkvalité* har underordnats huvudkriteriet *inomhusklimat*, medan *värme*, *el* och *kyla* har underordnats huvudkriteriet *energiförbrukning*. Beslutsprocessen delas in i tre steg där, (1) alternativen A till D utvärderas först gentemot delkriterierna under *inomhusklimat*. I nästa steg (2) utvärderas alternativ A till D mot *energiförbrukning*. Summaprestandan från de två utvärderingarna förs nu in som kriterieresultat för alternativ A-D under huvudkriterier *inomhusklimat* och *energiförbrukning*. Slutligen, (3), kan alternativ A-D utvärderas gentemot huvudkriterierna *inomhusklimat*, *investeringskostnad* och *energiförbrukning*

## 4.3 Kravhantering i ett konceptbyggande

### 4.3.1 Inledning

I ett konceptbyggande behöver krav från marknaden, t.ex. byggherrar, beställare och tredjepartscertifieringar, ingå i en konceptutvecklingsprocessen, d.v.s. vilka krav måste uppfyllas innan specifika byggprojekt initieras.

Det finns flera incitament för att förbättra processen för att hantera krav och önskemål från beställaren då byggentreprenören redan har ett industrialiserat koncept att erbjuda. Konceptägaren vill också kunna erbjuda möjlighet att kunna visa upp konceptets prestanda, då måste man också ha kunskap om de krav som ställs.

I syfte att försöka urskilja och beskriva de krav som nyckelintressenter ställer, så genomfördes en undersökning över krav som kravställare från ett antal tredjepartscertifieringar, byggherrar och kommuner ställer.

Insamling av krav från kravställare har genomförts genom intervjuer och insamling och analys av tillgänglig dokumentation. Kravställare som ingått i undersökningen har varit HSB och Riksbyggen från SABO företagen, Malmö, Göteborg och Stockholms miljö och kvalitetsprogram, tredjepartscertifieringar SVANEN och ByggaBoDialogen samt exempel från några övriga mindre kravställare.Kraven har sedan sammanställts och analyserats för att kategorisera hur krav fördelar sig i byggprocessen, identifiera olika typer av krav samt exemplifiera hur krav ställs. I bilaga 1 ges en mer komplett dokumentation av kartläggningen.

### 4.3.2 Kategorier av krav

Kraven har kategoriserats efter funktionellt område, var i byggprocessen kraven tas om hand, typ av krav; absoluta krav - riktlinjer och om det finns affärsmässiga orsaker bakom kraven.

När det gäller funktionellt område har kraven delats in dels efter BBR:s kapitel 3-9 och i övriga specifika kategorier enligt:

- Tillgänglighet, bostadsutformning, rumshöjd och driftutrymmen (BBR kapitel 3)
- Bärförmåga, stadga och beständighet (BBR kapitel 4)
- Brandskydd (BBR kapitel 5)
- Hygien, hälsa och miljö (BBR kapitel 6)
- Bullerskydd (BBR kapitel 7)
- Energihushållning (BBR kapitel 9)
- El, data och tele
- Kvalitetsledning och kontroll av byggprocessen
- Extern miljö- och hälsopåverkan
- Områdesanpassning och ekologi
- Resurshantering och återvinning
- samt Obestämd för krav som inte kunde kategoriseras i ovan angivna kategorier.

Indelning när det gäller byggprocessen har skett i kategorierna

- Övergripande krav
- Projektering
- Produktion
- Drifttagande och förvaltning

När det gäller typ så har kraven kategoriserats efter

- Absoluta krav
    - Dokumentation
    - Material- och produktkrav
    - Regler och rutiner
    - Verifiering och mätning

- Riktlinjer för
    - funktionskrav och detaljkrav (utformning och konstruktion)

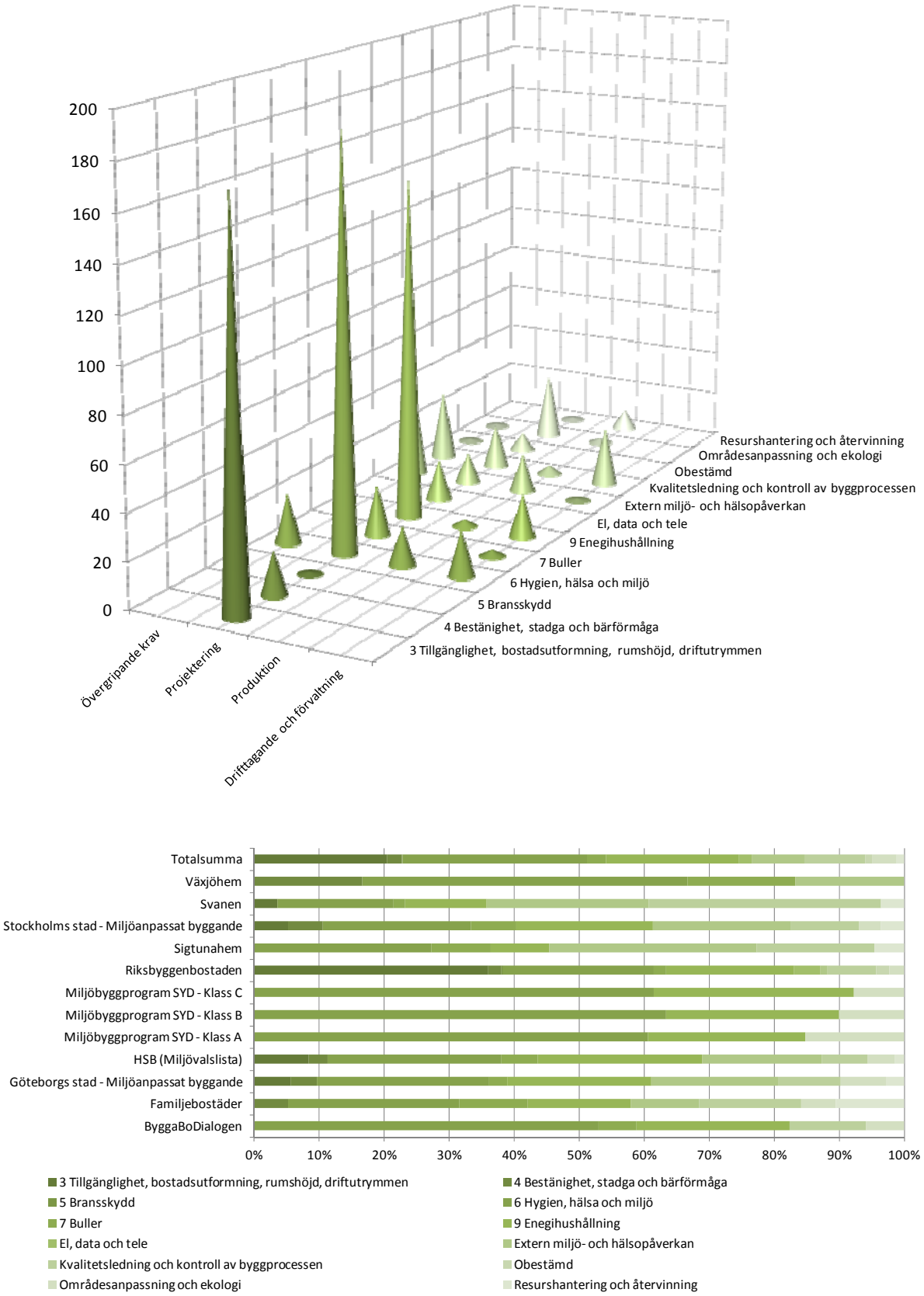
Kategoriseringen av krav bygger på en subjektiv indelning enligt modellen baserat på de kravställare som har levererat information av analyserbar nivå. Analysen speglar de områden och kravbilder som ställs av ingående kravställare, d.v.s. resultaten speglar inte *alla* krav som ställs på koncept, utan är färgade av de fokusområden som prioriteras av medverkande kravställare. Dock borde spridningen av kravställarna medföra en relativt nyanserad bild. Samma krav kan ställas på olika sätt av olika intressenter, d.v.s. samma funktion efterfrågas men uttrycks på olika sätt. Därigenom är det i en del fall svårt att likställa krav och analysen bygger på ett visst mått av tolkning av de ingående kraven.

### 4.3.3 Kravanalys

De krav som ställs fördelat på byggprocess och funktionella områden är sammanställt i Figur 4.11.

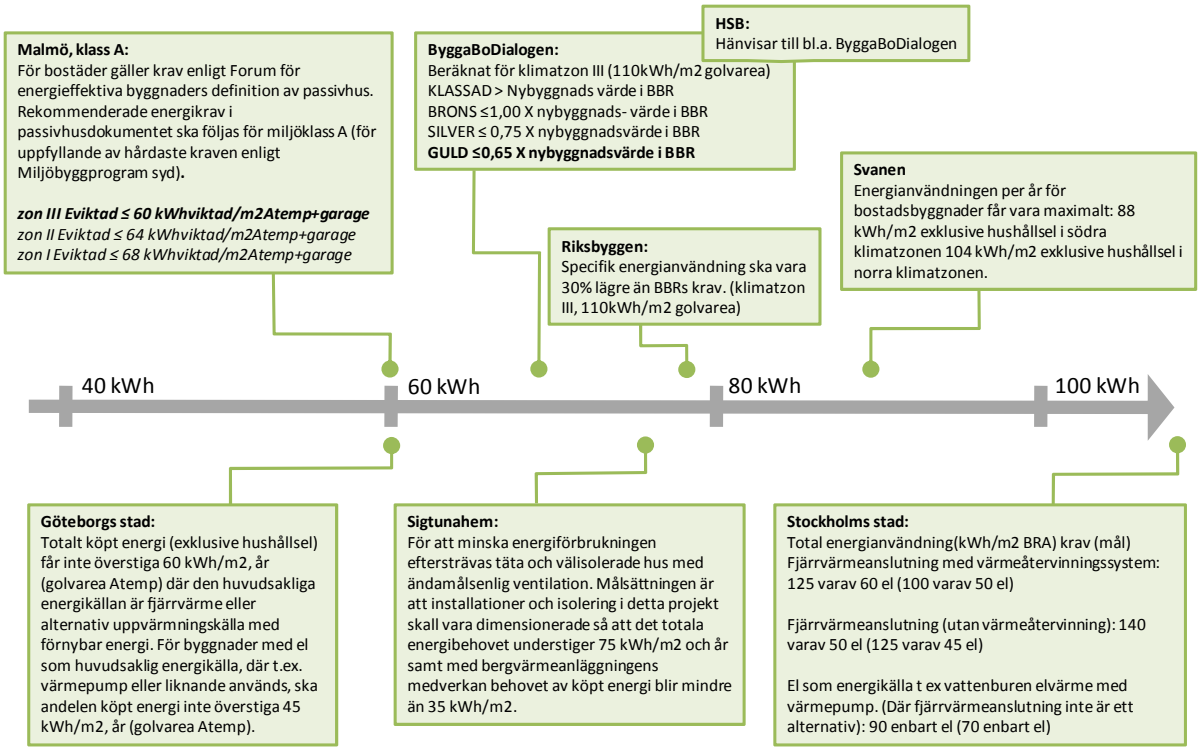
Undersökningen visar att:

- En stor majoritet av kraven ställs i projekterings- och produktutvecklingsskedet.
- De krav som ställs i projektering härrör främst till de funktionella områdena BBR kap. 3 Tillgänglighet, bostadsutformning, rumshöjd och driftutrymmen, BBR kapitel 6 Hygien, hälsa och miljö och BBR kapitel 9 Energihushållning.
- Förhållandevis lite krav ställs i de övriga skedena av byggprocessen
- Funktionskrav är den dominerande typen av krav hos många kravställare
- Totalt är fördelningen mellan olika typer av krav relativt jämn
- Generellt dominerar krav i kategorierna Hygien, hälsa och miljö samt Energihushållning hos merparten av kravställarna
- Riksbyggen utmärker sig genom en större mängd krav som relaterar till tillgänglighet
- Verifiering och mätning representerar en liten del av kraven hos de flesta kravställarna

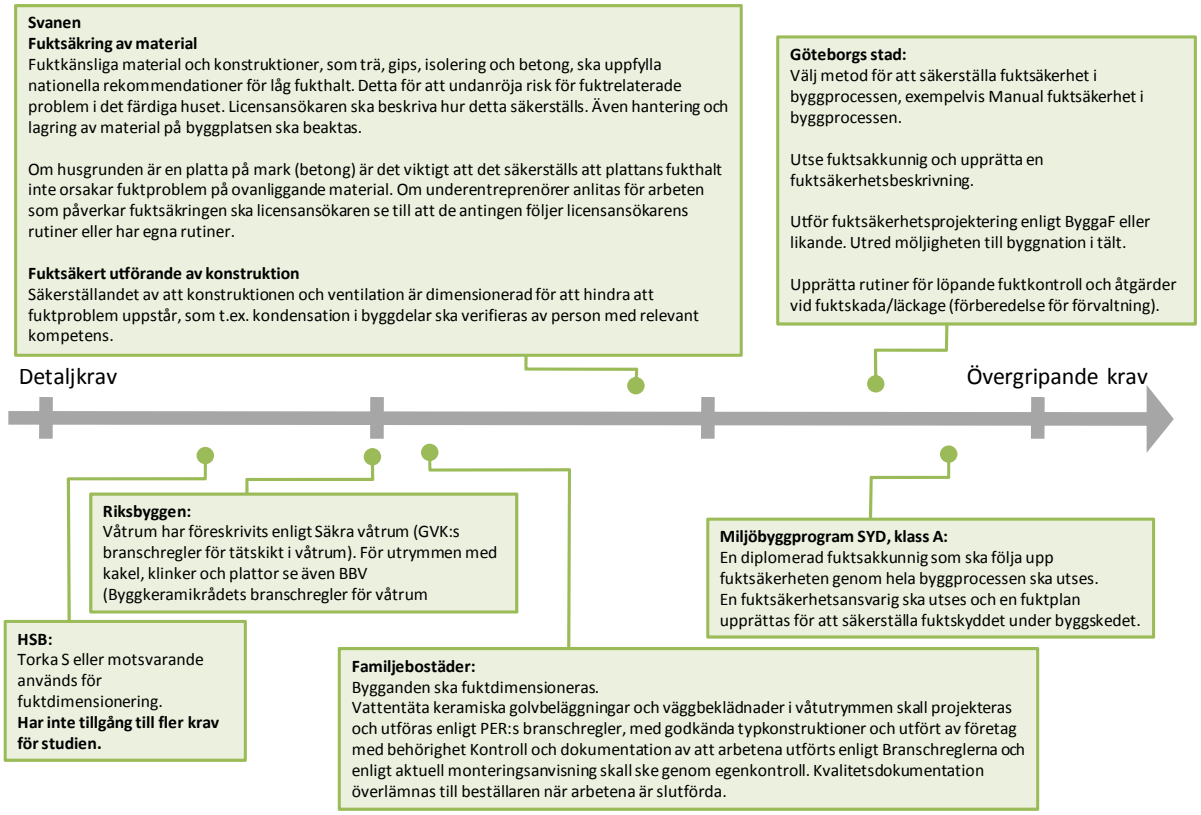



*Figur 4.11: Sammanställning av antal krav och procentuell fördelning efter kategorierna byggprocess och funktionella områden.*

Figur 4.12 och Figur 4.13 exemplifierar hur olika kravställare kan ha olika kravnivåer och omfattning för energi och fukt.




*Figur 4.12: Exempel på energikrav från kravställare*




*Figur 4.13: Exempel på fuktkrav från kravställare*

Resultatet visar på svårigheterna vad gäller konceptutveckling mot marknadskrav när kravbild och kravnivåer är så fragmenterade och olika för olika kravställare. De slutsatser som kan göras av undersökningen är:

- Begränsad öppenhet med krav som ställs - gäller främst undersökta SABO-företagen
    - Möjligt att de själva inte tycker att de har en stabil process för kravhantering och kan därför inte meddela de krav de ställer.
    - Krav kan variera från projekt till projekt och det är därför ett problem att sammanställa korrekta kravdokument.
    - Regionala skillnader i kravbilden kan förekomma.
    - Anbud bedöms inte enbart utifrån hur kraven rent faktiskt uppfylls.
- Olika grupperingar av kravställare kan identifieras
    - Kommuner har en likartad kravbild, men varför kan de inte ställa samma krav?
    - Privata byggherrar har uppvisar en mer fragmenterad kravbild, medan tredjepartscertifieringar är mer specialiserade mot ett område och ställer därför färre antal, men mer riktade krav.
    - De undersökta tredjepartscertifieringarna har ett liknande fokus men skiljer ändå i hur man bedömer och rangordnar, troligtvis för att positionera sig i förhållande till andra certifieringar.
- En övervägande del av kraven ska beaktas i projekteringsskedet
    - De flesta krav ska beaktas i projekteringsskedet av byggprocessen enligt det traditionella byggandet och måste således beaktas i konceptutveckling av industriella plattformar.
- Olika kravställare har olika fokus
    - Fukt och framförallt energikrav är starkt representerade i det urval av krav som finns i denna undersökning, speciellt tredjepartscertifieringarna som har sin inriktning mot detta.
    - Utmärkande är att Riksbyggen ställer så många krav relaterade till tillgänglighet.
    - Hur påverkar trender i kravställande, med tanke på att kunders önskemål förändras över tiden? Hur skall man ta hänsyn till detta?

# 5 Konceptutveckling och projektutveckling

## 5.1 Utvecklingsstrategier

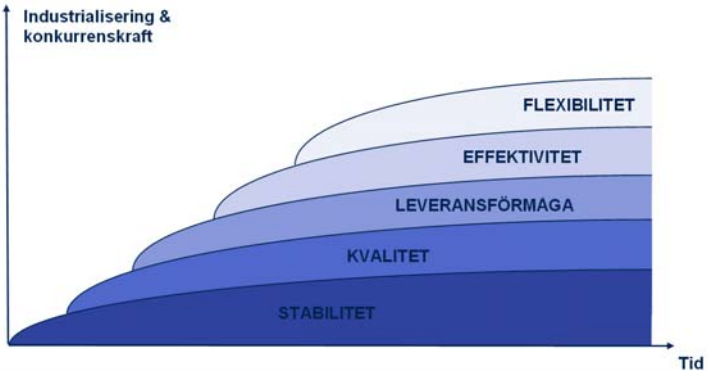
Två utvecklingsstrategier kan urskiljas:

- Top-down: Starta med en färdig produkt och utveckla produktvarianter. Exempel på koncept utvecklade efter top-down strategi är Lindbäcks bygg TVE system, Skanska ModernaHus och NCC P303.
- Bottom-up: Starta med att standardisera komponenter och metoder, vidareutveckla modulariserade byggdelar och system. Exempel på koncept som arbetar i denna riktning är Skanska Xchange, NCC bostadsplattform, PEABs PGS och JMs strukturad projektering, produktion och inköp.

Alla typer av utvecklad koncept bör ha en egen organisation för förvaltning, hantering av vidareutveckling, inköp och uppföljning. Brukarkrav bör hanteras inom ramen för konceptbyggande genom att kvantifiera kundsegmentet, och låta dem vara helt styrande parametrar i utvecklingsarbetet. Det koncept man därefter erbjuder kommer vanligtvis att rikta sig till byggherrar och fastighetsägare som utvecklar fastigheter för detta aktuella kundsegmentet.

Oavsett hur pricksäker man kan vara med kundsegmentering, så föregås byggprojekt av detaljplanearbete där varken myndigheter eller byggherrar normalt tar hänsyn till konceptbyggande. Bra koncept ska kunna tillämpas på olika tomter i olika miljöer och med varierande täthet, men många detalj- och illustrationsplaner innefattar krav som omedelbart kullkastar användande av allför geometriskt styrda koncept. Anvisningar för husmått, höjder, indragna våningar, takutformning och liknande kan vara mycket svåra eller omöjliga att uppfylla om de är alltför detaljerade, se också kapitel 4.

Innan man kan tala om ett industrialiserat koncept måste ett antal steg vara intrimmade i genomförandeorganisationen, se Figur 5.1. Om man utgår från en färdig produkt (top-down strategi) börjar man med att uppnå stabilitet i konceptet, så att inblandade parter märker av effekterna av standardisering och återupprepning. Nästa steg är kvalitet, som krävs för att undvika produktionsstopp och garantiarbeten. Leveransförmåga krävs för att få taktade flöden, förutsägbarhet och pålitlighet i samverkan med andra leverantörer.




*Figur 5.1 Fem steg till industrialisering (top-down strategi)*

När dessa grundförutsättningar är på plats kan effektivisering och flexibilitet åstadkommas för att kunna öka variationen, och på så sätt kan erbjudas konceptet för ett bredare kundsegment. Efterhand som branschen blir tränad och processerna är väl förankrade, kan koncept successivt öppnas upp och bli obegränsat dynamiska. Svårigheten med denna strategi är att ha tillräcklig stora volymer för att kunna utveckla konceptets flexibilitet över tid.

Att gå den andra vägen, bottom-up, dvs att stegvis utveckla ett koncept från komponenter och metoder kräver också långsiktighet i utveckling av metod- och produktplattformar. Här bör angreppssättet utgå från att stegvis skapa stabilitet och standardisering gärna med början i projektering så att volymen av standardiserade komponenter kan öka med möjlighet att skapa ekonomiska skalfördelar för inköp och logistik. Nästa steg blir att skapa monteringsanvisningar i produktionen när komponenter och byggdelar blivit standardiserade. JM:s utveckling av strukturerad projektering, inköp och produktion är exempel på en stegvis utveckling av en metodplattform som startade med utveckling av projekteringsanvisningar 2003, strategiska inköpsavtal 2004 till starten av strukturerad försäljning och produktion år 2009-2010[38].

Produktplattformar kommer efter några år att representera stora strategiska värden för konceptägaren. Enligt Martin Sköld[39] på handelshögskolan så representerar dagens plattformar för bilar värden mellan 3-27 miljarder beroende på hur många bilmodeller man säljer och livslängden en plattform har. Helen Johnsson[40] gjorde motsvarande räkneexempel för Älvsbyhus som med en beräknad produktion av 35 000 hus under 50 år skulle ha ett uppskattat värde på sin plattform på 22 miljarder om utnyttjandegraden var 80%, dvs 80% av ett Älvsbyhus är standardiserat i plattformen.

Det finns konflikter mellan traditionella processer och industrialiserat konceptbyggande, och detta är ett av de största problemen med konceptbyggande och utgör roten till varför industrialisering är så svårgenomförbar i byggbranschen. Projekt tar ofta minst 5 år att få startklara, och det behövs 5-10 genomförda projekt innan man kan se de riktigt stora fördelarna. Det är svårt för många aktörer att vara så uthålliga, och en enskild byggherre frågar sig förstås varför han eller hon ska inskränka sina valmöjligheter i sitt projekt utan att direkt se fördelarna på sikt. Entreprenadverksamheten i Sverige idag har låga marginaler, ofta under 5% av omsättningen. Samtidigt är omsättningen stor och ett fåtal felbeslut kan leda till stora förluster. Även detta är en stor barriär för implementering.

Brist på uthållighet leder i många fall till att man försöker hoppa över steg i industrialiseringstrappan, och resultatet av det är att man får inskränkningar men inga vinster. Vinsterna ligger i kombinationen av de lika delarna i industrialiseringstrappan i förhållande till den volym som kan genereras.

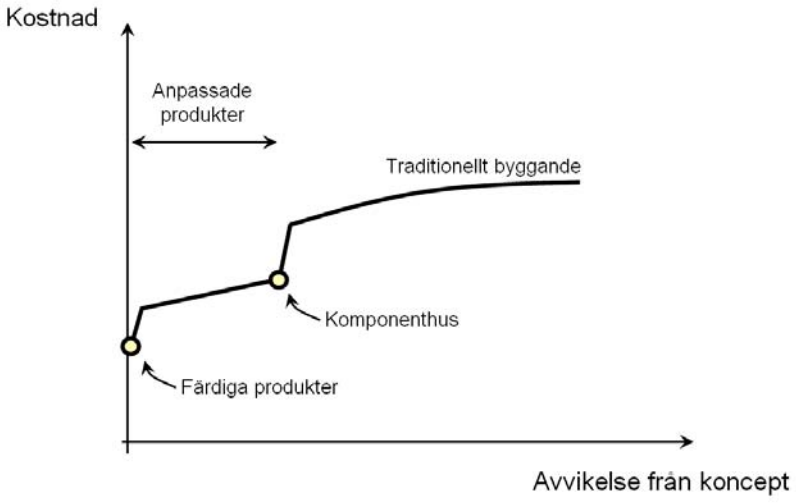
För att lyckas med konceptbyggande måste genomförandeorganisationen hålla fast vid konceptets fastlagda kundsegment, processer, geometrisk standard, randvillkor och strategiska byggdelar. Projektering och planering måste vara klar före montagestart, och teknikutveckling skall helst inte ske i tillämpningsprojekten. Uppgraderingar och nya komponenter måste hanteras av konceptutvecklingsorganisationen. Dessa implementeras förvisso i en traditionell byggprocess, men då görs det

---

[38] Hendriz, L., (2011), *Strukturerad projektutveckling och energiklassning av bostäder*, http://www.jm.se/upload/Om%20JM/Kapitalmarknadsdag/Lennart%20Henriz_2011.pdf
[39] Alhbom, H, 2011, Teknik kan säljas på licens, *Ny Teknik om värdet på plattformar*, http://www.nyteknik.se/rss/nyhetsbrev_it_telekom/nyhetsbrev_it_telekom_annonser/article3271123.ece
[40] Johnsson, H., (2011) *Plattformar i ett industriellt byggande*, LWE konferens i Stockholm, 26-27 oktober, http://www.ltu.se/centres/lwe/Konferenser

under övervakning av utvecklingsorganisationen och med processer enligt ett pilotförfarande. Anledningen kan man se i industrialiseringstrappan, och i de fall man avviker från dessa regler uppstår brister i leverantörsled, montagelag och projekteringsgrupp. Man kan inte heller hålla de prestanda som utlovats i samband med införsäljningen av konceptet. Detta gäller allt från montagetider och kostnader till tekniska prestanda och drift- & underhållsvillkor. Ett schematiskt exempel på kostnadsökning vid stigande antal avvikelser från ett standardiserat koncept visas i Figur 5.2.

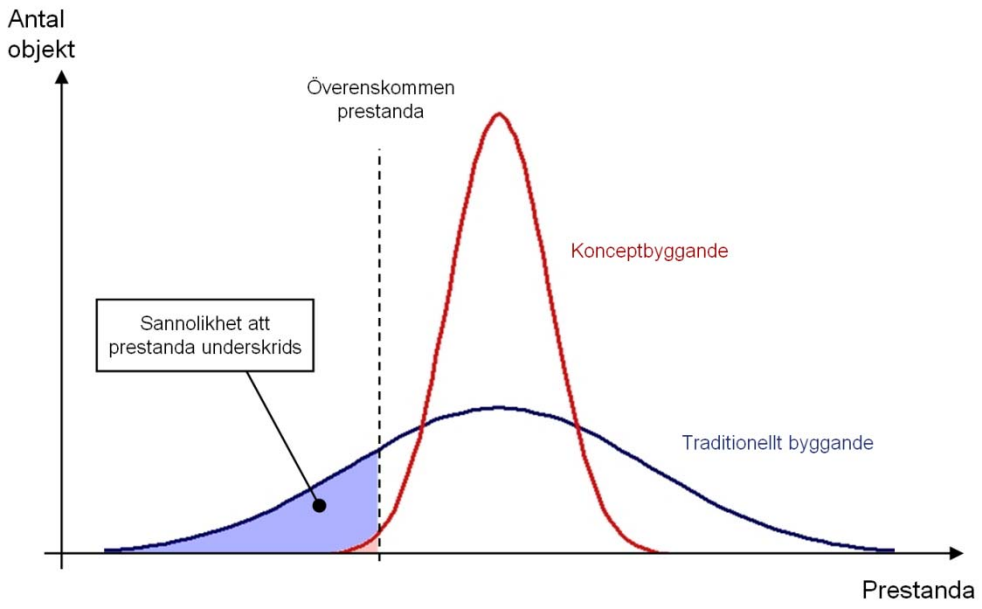
Generellt så stiger kostnaderna ju mer flexibel man är, vilket skulle innebära att det antagligen finns en kombination av volym gentemot hur hårt standardiserat det är som ger en optimal vinst för konceptägaren i ett visst marknadssegment.




*Figur 5.2 Inverkan av avvikelser från koncept på byggkostnad.*

Även andra prestanda påverkas när man avviker från konceptet. Sannolikheten att få samma utfall och att prediktera prestanda ökar när man har längre serier av samma produkt. Mängden under- och överkvalitet (som bägge leder till högre kostnader) blir betydligt större med följden att risktagandet ökar.

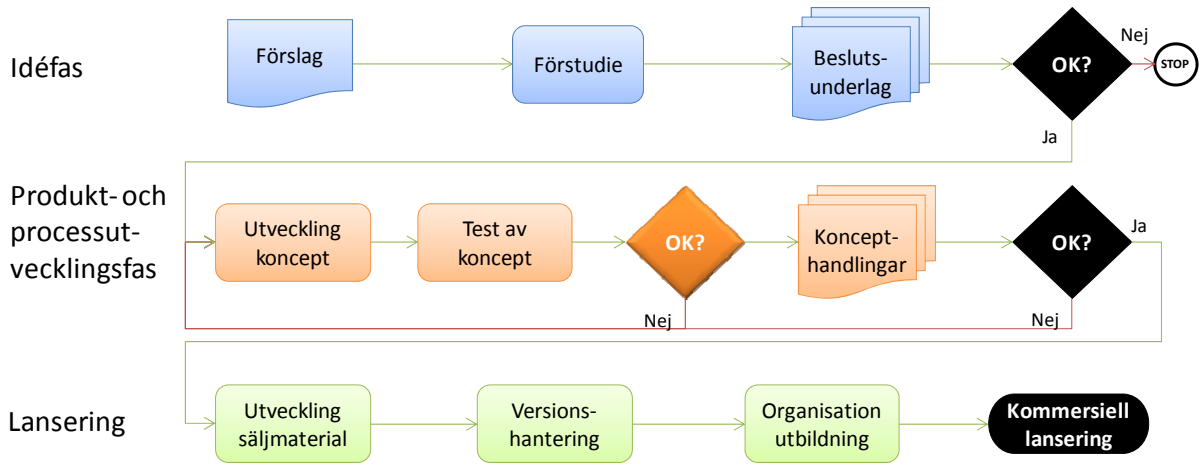
Industrialisering kopplas normalt till nyckelbegrepp som upprepning, standardisering, systemtänkande, prefabricering, komponenter, specialisering och logistik. De fördelar man är ute efter är normalt kortare montagetid, mindre väderkänslighet och större möjlighet till effektivisering genom återkommande processer för stora volymer. Dessa fördelar sänker också produktionskostnader och ger prestanda med mindre spridning, se Figur 5.3.




*Figur 5.3 Konceptbyggande minskar spridningen i prestandan*

## 5.2 Konceptutvecklingsprocess och koncepthandlingar

Utvecklingsprocessen innefattar faserna *projektidé* inklusive förstudie, *produktutveckling* inklusive testning, avtal och fastställelse samt *lansering* av konceptet, se Figur 5.4




*Figur 5.4 Exempel på en process för konceptutveckling.*

Det skall också vara enkelt för en projektorganisation att lägga upp som startpaket som ska starta projektutveckling. Normalt sett har man inte bara en utan en portfölj av produkter alternativt enbart en geometrisk standard för att skapa nya huskroppar. För att undvika krav på detaljprojektering inom varje komponent är det praktiskt att lyfta ut alla låsta delar till separata handlingar. Dessa gäller för alla produkter och finns på så sätt färdiga om det behövs nya produkter. Man har dessutom bättre kontroll om en komponent behöver uppdateras. Ett exempel på indelning av koncept handlingar är:

- Konceptmodeller
- Typhandlingar
- Prestandahandlingar

Konceptmodellerna innehåller endast byggnadens mått och form och övergripande information om vilka komponenter, hur många och var de ska placeras. Typhandlingarna innehåller detaljerade beskrivningar, ritningar och instruktioner för varje komponent och är oberoende av konceptmodellen. Prestandahandlingar innehåller uppgifter om produkternas/konceptets prestanda avseende toleranser, brand, ljud, fukt, energi och miljö.

Typhandlingarna utgör omfattande dokument, och för varje komponent måste det framgå vem som projekterar, avropar, tillverkar, levererar, monterar, ansluter, funktionstestar och kontrollerar. För konceptet som helhet måste det också framgå tydligt vad som är gällande handlingar och aktuella versioner, hur man hanterar skador, ingående komponenter, kalkylpriser/tider, felleveranser, support under byggtiden mm.

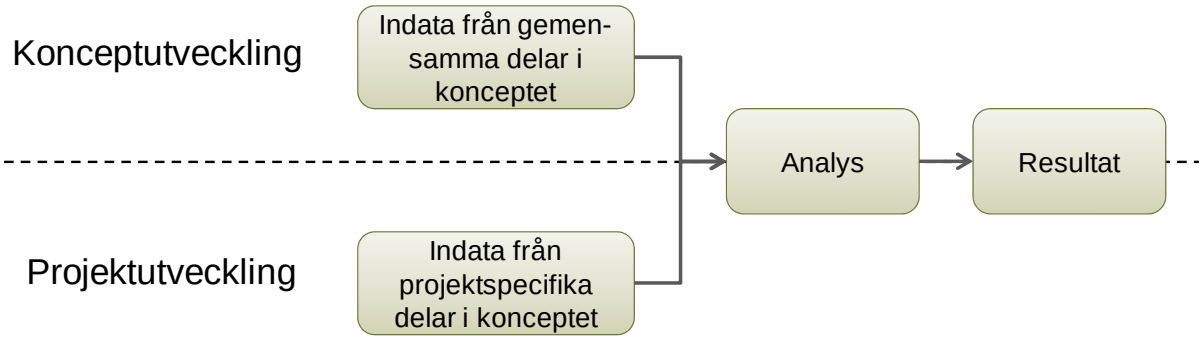
Alla typer av utvecklad koncept har en organisation för förvaltning, hantering av vidareutveckling, inköp och uppföljning. Denna organisation har också ett ansvar för att ta fram och följa upp den offererade produktens prestanda. Energiförbrukning bör ingå som del i den offererade produktens prestanda så att byggherren kan jämföra  med funktionskraven som beställarorganisationen har ställt upp.

## 5.3 Prestandaanalyser och systemmodeller

Ett industriellt konceptbyggande består som tidigare nämnts av två separata processer; en konceptutvecklingsprocess (jmf produktutvecklingsprocess) och en projektutvecklingsprocess (jmf säljprocess) när konceptet kundanpassas till behov och plats.

Konceptutveckling liknar i viss mån en vanlig projekteringsprocess på så sätt att prestandaanalyser av konceptet skall uppfylla de funktionskrav som ställs. Skillnaden är att kraven inte kommer från en specifik kund utan representerar ett marknadssegment istället. Marknadsanalysen bestäms också vilken typ av koncept som skall utvecklas och hur många varianter som skall erbjudas. Prestandaanalyser, t. ex. energiförbrukning,  görs på samma sätt som vanlig projektering för att utveckla koncept som har attraktiva egenskaper.

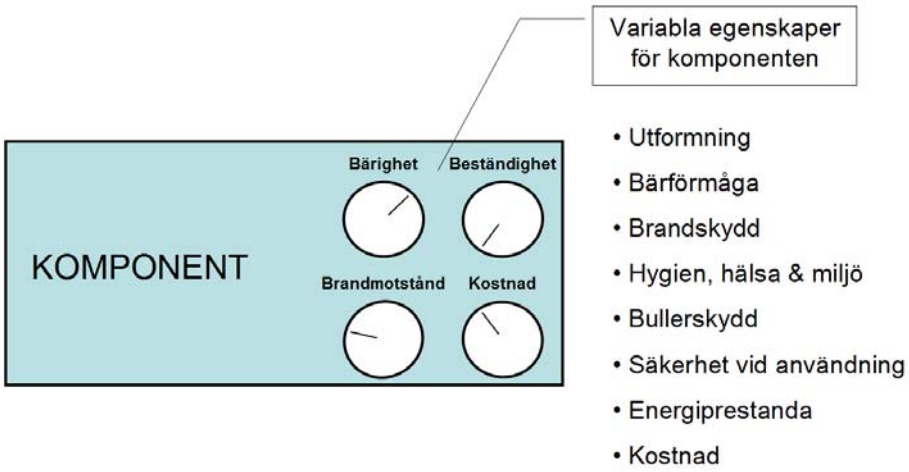
I projektutvecklingen, d v s när konceptet skall anpassas till kund och plats, kan prestandaanalyser förenklas avsevärt. En stor del av konceptets egenskaper  eller indata kommer att vara gemensamt och på förhand känt, dvs endast de egenskaperna som varieras (påverkas av kundanpassningen) behöver definieras, Figur 5.5.




*Figur 5.5: Prestandaanalyser av industriella koncept, i konceptutveckling och projektutveckling.*

Eftersom en stor del av tiden i en prestandaanalys, t. ex en energianalys, ägnas åt att definiera nödvändiga indata i en normal projekteringsprocess kan tiden för att genomföra prestandaanalyser av industriella koncept och produktvarianter kortas ned avsevärt[41]. Olika prestandaanalyser och val av produktkonfigurationer kan sedan integreras i s.k. konfigurationssystem[41]. Ett exempel på automation av energianalyser ges i nästa kapitel av Skanska koncept ModernaHus.

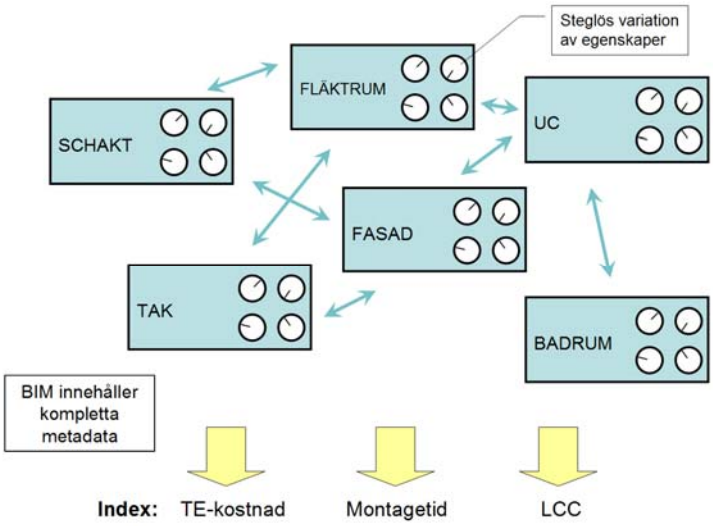
I en systemmodell av konceptet skall varje komponent kunna beskrivas med ett förbestämt antal egenskaper i form av metadata. Värdet på respektive egenskap ska kunna varieras inom praktiska gränsvärden för konceptet, se Figur 5.6. Modeller av produkter skapas då genom att koppla ihop samtliga komponenter till en systemmodell. Systemmodellens prestanda kan teoretiskt beräknas i form av ett antal index. Vilka index som ska styra fastställs av konceptutvecklaren, och kan variera från koncept till koncept. Normalt används index såsom byggkostnad, montagetid och andra kvaliteter såsom miljöprestanda, underhållskostnad mm, se Figur 5.7.




*Figur 5.6. Beskrivning av komponent med variabla metadata.*

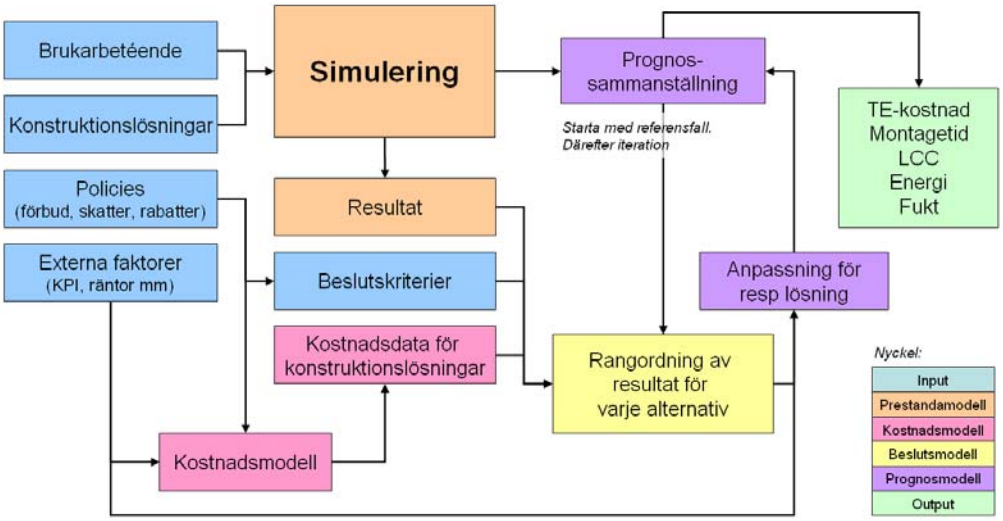
Systemmodellen kan bli mycket omfattande och kräver detaljerade studier när varje enstaka komponent förändras. Detta är det väsentligt i ett utvecklingsskede, för att kunna studera potentialen för framtagande av nya lösningar. När konceptet utvecklas kan egenskaperna i systemmodellen varieras obegränsat, vilket i praktiken ger oändligt många designlösningar. I nästa sked ”fryser” man varje komponent till det utförande som gett bäst sammanvägda index när utvecklingsarbetet är genomfört.

[41] Racz, T., Rönneblad, A., & Olofsson, T. (2010). Energy analysis automation for industrialized construction processes. in *Proceedings of the CIB W78 2010*: 27th International Conference -Cairo, Egypt, 16-18 November




Figur 5.7. Systemmodell för analyser i konceptutvecklingsskede.

Denna systemmodell kommer inte entydigt att ge alla svar som behövs för beslut. Andra faktorer, såsom ränteutveckling, lagstiftning, risker i investeringar mm spelar in i vilka val som görs. Ett schematiskt exempel på en komplett konceptanalys visas i Figur 5.8.




*Figur 5.8. Komplett konceptanalys*

Figur 5.9 visar exempel på ett prognostiserat resultat från en sådan konceptanalys.

| | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nuvarande hustyp | 100 | 90 | 50 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ny produkt 1 | 0 | 20 | 50 | 80 | 120 | 160 | 200 |
| Ny produkt 2 | 0 | 10 | 30 | 30 | 20 | 20 | 0 |
| Ny produkt 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ny produkt 4 | 0 | 0 | 20 | 80 | 140 | 200 | 300 |
| Totalt | 100 | 120 | 150 | 190 | 280 | 380 | 500 |

*Figur 5.9. Exempel på simulering av antal påbörjade byggprojekt*

## 5.4 Projektutveckling

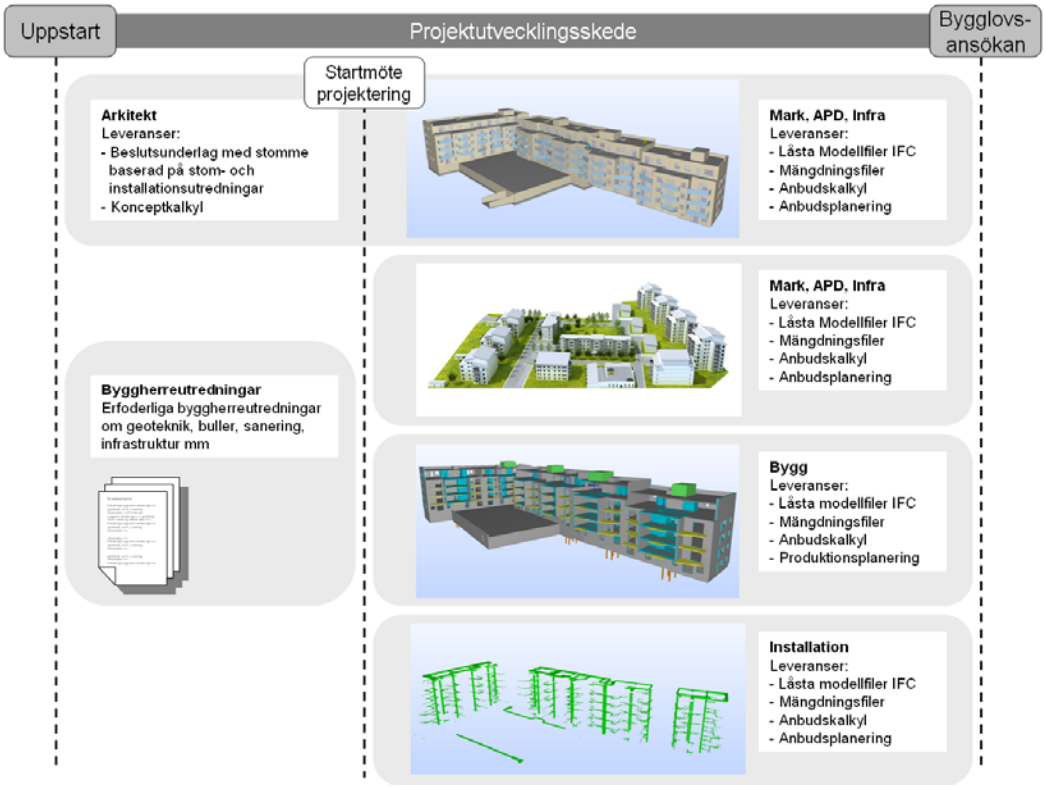
En traditionell projektutveckling i ett byggprojekt utgår från de deltagande disciplinerna och deras ansvarsområden. Projektutvecklingsprocessen i ett konceptbyggande sätter fokus på leveranser. Arbetsgrupper och ansvarsfördelning baseras mer på vilken del av byggprojektet man ska leverera, än på om man är arkitekt, el-projektör, kalkylator eller inköpare. Hur projektutvecklingsprocessen organiseras i detalj är beroende på hur konceptet är utformat. Koncepttillämpning i projekt kommer att exemplifieras närmare för Skanskas ModernaHus och Lindbäcks TVM system.

### 5.4.1 Exempel på tillämpning av koncept i projektutveckling

Den industriella byggprocessen för ModernaHus kan sammanfattas i fyra steg:

- Utvecklingskede för utveckling av bygglovshandlingar
- Bygghandlingsskede
- Tillverkning och montage
- Överlämnande och garantiförvaltning

Skanska måste komma in i tidigt skede för att kunden skall kunna välja ModernaHus som koncept ofta innan projektutvecklingen har påbörjat utformningen. Flerbostadshuset kan anpassas genom val av hustyp, antal våningar (3-8), interiörpaket, energikälla, exteriör och komplement till byggnaden. Därefter upprättas ett underlag för bygglovshandlingar som kunden får tillsammans med ett kontrakt, se Figur 5.10.

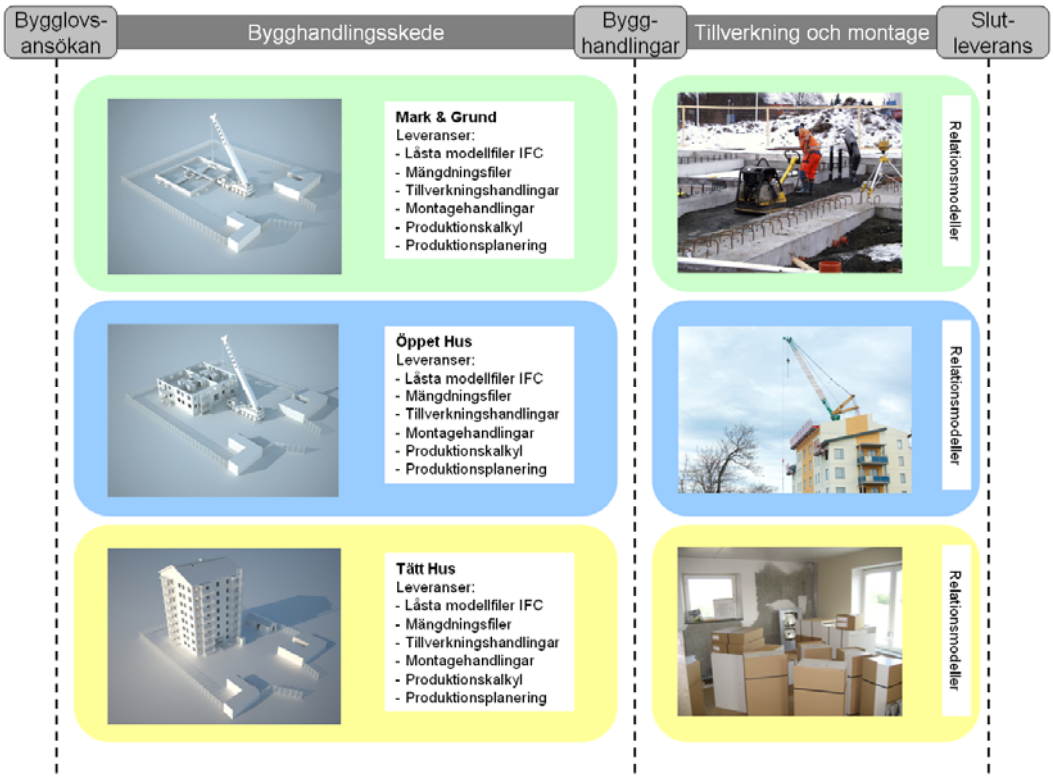



*Figur 5.10. Tillämpning av ModernaHus konceptet i projekt – Faser före bygglov.*

Produkterna i ModernaHus är fördefinierade med redan framtagna prestandahandlingar och konceptlösningar för samtliga byggdelar. Respektive produkt har mallade tidplaner med montageordning vilka anpassas till det särskilda projektets förutsättningar. Planering och inköp görs efter framtagna

inköpsinstruktioner och följer definierade tider enligt tidplan. Vid förberedning av montage så sammanställs handlingar och ritningar.

Montaget är indelat i tre faser; Mark & Grund, Öppet hus (våta fasen) och Tätt hus (torra fasen), se Figur 5.11. I *Mark & Grund* utförs grund och delvis infrastruktur. Grunden är prefabricerad med tillhörande platsgjuten betong. I *Öppet hus* sker allt montage fram till att taket är monterat och tätt. Här monteras prefabricerade stommen och installationerna. Material i paket lyfts in med kranen i varje lägenhet. Att montera en hel våning tar ungefär tre dagar. Tätthus motsvarar stomkompletteringsdelen där arbete blir mindre omfattande i jämförelse med traditionellt byggande tack vare den höga prefabriceringsgraden och att många aktiviteter tidigarelagts i Öppet hus fasen.




*Figur 5.11. Tillämpning av ModernaHus konceptet i projekt — Faser efter bygglov.*

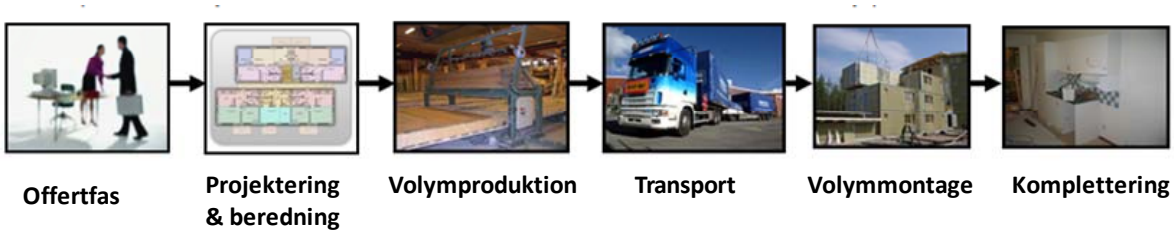
När montaget är klart överlämnas huset till kunden med en garantitid på fem år. I samband med överlämnande till kunden hålls ett internt slutmöte mellan projekt- och konceptorganisationen för erfarenhetsåterföring.

Lindbäcks arbetar också i tidiga skeden med kunden med deras volymbyggnadskoncept. Ofta redan när kunden funderar på att bygga ett flerbostadshus, se Figur 5.12. Den första fasen, offertfasen, tar mellan åtta och tolv månader från första kontakten och fram till ett färdigt avtal[42]. Ofta deltar endast byggherren (kunden), en arkitekt och Lindbäcks där arkitekten ofta gestaltar projektet och upprättar detaljplanen. Först utverkas ett ca pris som indikerar storleken på investeringen, sedan skrivs ett letter of intent, en avsiktsförklaring, där förutsättningarna för offererat pris framgår. Därefter utformar parterna tillsammans den slutliga erbjudandet till ett fastlagt pris. Det markera samtidigt slutstadiet på offertfasen där kunden kan ta ställning till om han vill fortsätta och teckna ett avtal där

[42] Åkerlund, S. (2010) Lindbäcks Bygg utvecklar byggprocessen med lean, *Byggindustrin* 19/2010

pris, datum för montering och slutbesiktning och överlämnande är fastställt eller om kunden väljer att avbryta processen.

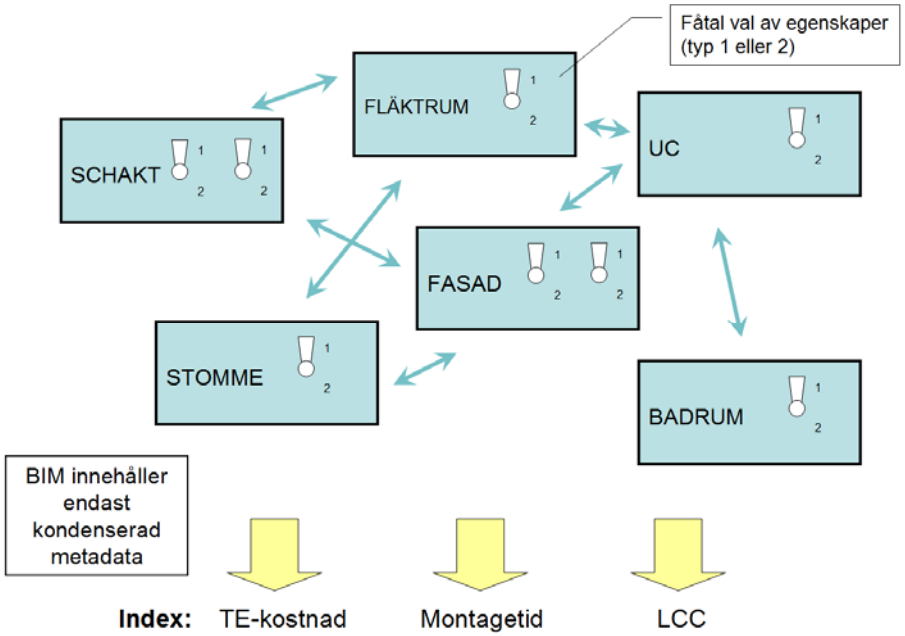
När avtalet är undertecknat projekteras och bereds tillverkningen av volymerna i fabriken. Idag har fabriken en produktionskapacitet på ca 8 volymer per dag vilket motsvara ca 200 $m^2$ bostadsyta per vecka. Det innebär att ett normalt projekt för Lindbäcksbygg (~800 $m^2$) tar ca 4 veckor att producera i fabrik samt ytterligare 3-4 veckor för transport, volymmontage och komplettering. När väl kunden tillsammans med Lindbäcksbygg definierat vad som skall levereras (ca 1år) tar det endast 8 veckor att leverera produkten.




*Figur 5.12: Tillämpning av Lindbäcks TVE koncept*

### 5.4.2 Prestandaanalys i projektutvecklingsskedet

Normalt sett krävs dock varianter för många av komponenterna för att konceptet inte ska upplevas som för statiskt och svårtillämpat. Samma systemmodell kan alltså användas för tillämpningsskedet, men komponenter som inte behöver finnas i olika varianter slås ihop och ges konstanta egenskaper. Komponenter som måste variera ges ”semikonstanta” egenskaper.

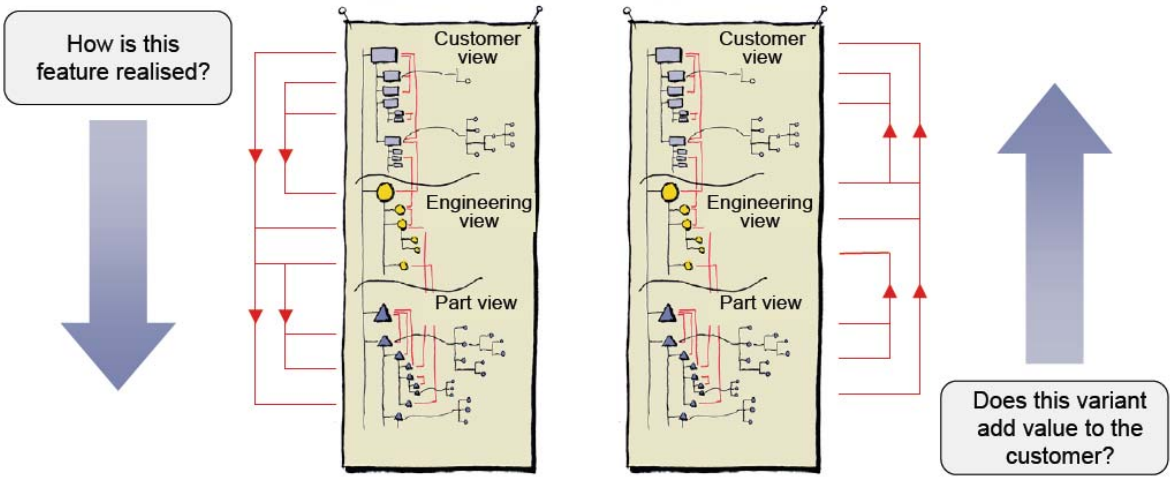



*Figur 5.13. Systemmodell för analyser i tillämpningsskede.*

## 5.5 Informationsstrukturer

### 5.5.1 Vyer

I utveckling av produktfamiljer baserad på plattformar beskrivs ofta produktstrukturen och dess varianter i tre vyer; kundvy (customer view), ingenjörsvy (engineering view) och partvy (part view). Kundvyn beskriver produktfamiljen utifrån de krav och val som kunden intresserar sig för, ingenjörsvyn fokuserar på hur produktfamiljen fungerar logiskt och funktionsmässigt medan komponentvyn visar hur produkterna realiseras fysiskt, se Figur 5.14. De olika vyerna skall vara sammankopplade så att man kan spåra hur en viss produktegenskap realiseras, alternativt vilken värdeskapande produktegenskap en viss komponent bidrar med.




*Figur 5.14: Sammanhängande kund-, ingenjörs- och komponentvy av en produktfamilj, Harlou[43] (2006)*

På samma sätt är det viktigt att ha överblick och kontroll av informationsstrukturer och villkor vid koncept- och projektutveckling av ett industriellt byggsystem för att undvika oplanerade avvikelser från konceptet som blir kostnadsmässigt och tidsmässigt dyrbara att genomföra. I ett konceptbyggande så motsvarar kundvyn arkitektens perspektiv och partvyn produktions- och montagevyn, se också Figur 4.3.

### 5.5.2 Product family master plan

Ett verktyg som utvecklats av Harlou & Nielsen (1999)[44] för att beskriva produktfamiljer och dess varianter är Product Family Master Plan (PFMP)[43]. PFMP bygger på principer för system modeller och objektorientering där man beskriver informationsstrukturen i de tre vyerna kund-, ingenjörs- och partvyn. Det finns två typer av strukturer; part-of-structure och kind-of-structure. Part-of strukturen visar hur produkten är komponerad i de specifika vyn medan kind-of strukturen visar vilka alternativ eller varianter objekten i part-of strukturen har. Figur 5.15 visar en kundvy av en produktfamilj av olika biltyper (skåp, kombi eller sedan) med tre olika motoralternativ olika konfigurationer av dörrar fram och bak samt möjlighet att välja typ av däck.

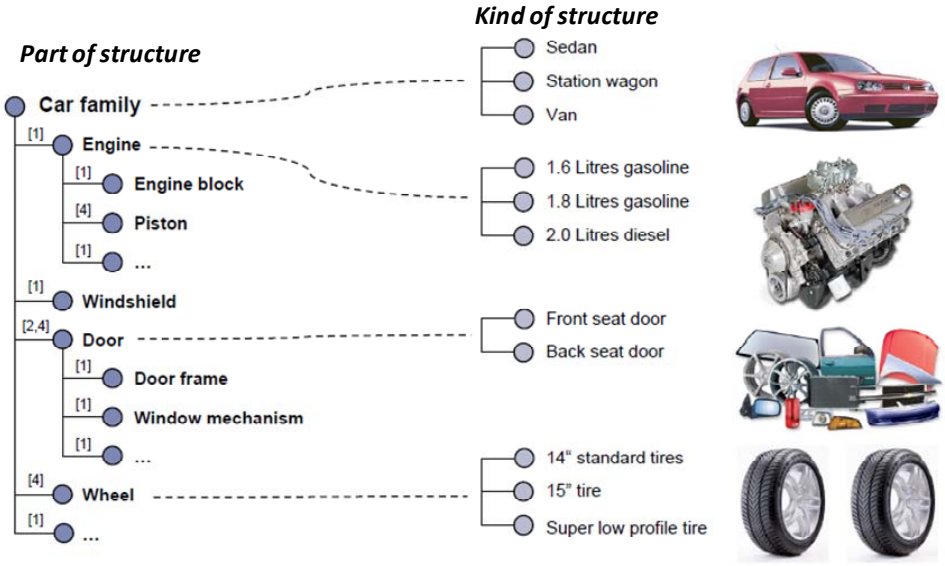
---

[43] Harlou, U (2006), *Developing product families based on architectures*, Doctoral thesis, Department of Mechanical Engineering, Technical University of Denmark

[44] Harlou, U. and Nielsen, M. P. (1999), *Modeling product families in configuration systems*, Master thesis, Department of Mechanical Engineering, Technical University of Denmark

Varje nod i part-of strukturen representerar en klass av objekt där den överordnade klassen utgör en super-part och underordnade sub-part. Sub-parts ärver super-parts egenskaper. En part-of klass beskrivs med en beskrivande text, attribut som talar om dess egenskaper, villkor som måste vara uppfyllda samt kardinalitet ([antal]) , dvs hur många sub-parts som en super-part omfattar. Observera att alla egenskaper beskrivs i part-of strukturen.

Noderna i kind-of strukturen representerar val eller varianter av parts klasserna. Relation mellan part-of och kind-of strukturerna kallas super-kind (den överordnade i part-of klassen) respektiv sub-kind (variant klasserna). Till exempel är Engine en super-kind till motoralternativen som i sin tur är sub-kind klasser till Engine.

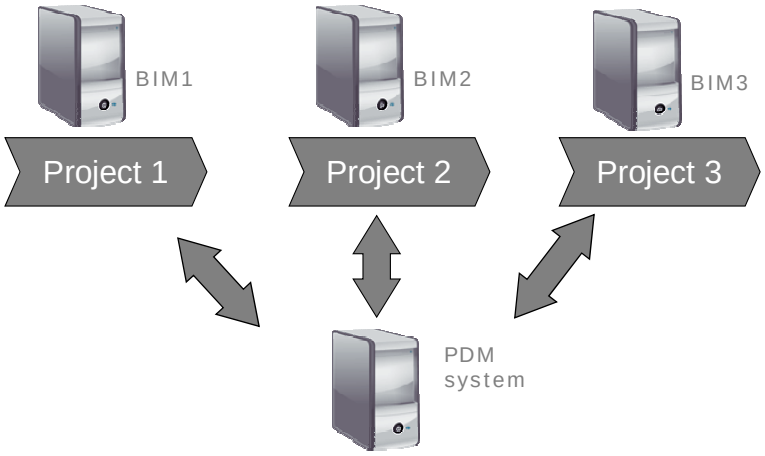



*Figur 5.15: Part-of och kind-of strukturer för en produktfamilj av bilar, Harlou[43] (2006)*

### 5.5.3 Industriella informationssystem

I industriella koncept skiljer man ofta mellan informationssystem som beskriver produktens uppbyggnad och struktur och resurser och processer som behövs för att realisera produkten. Medan produktstrukturer samlas i s.k. PDM system (product management system) har ett företags resurser samlats i s.k. ERP system (Enterprise Resource System). Kopplingen mellan PDM och ERP systemen sker genom att man överför s.k. BOM (Bill of Material) listor till ERP systemen som då kan beräkna resursåtgången för att tillverka produkten. Jämfört med användningen av bygginformationsmodeller i byggandet så motsvarar integration av BIM och med kalkyl och produktionsverktyg via mängdlistor samma process. Det som ofta saknas i dagens BIM verktyg är PDM systemens versionshantering och förmåga att hantera varianter.

BIM system är utvecklade för att hantera unika projektutvecklade byggnader medan PDM system är utvecklade för att hålla en produkts produktstruktur med dess olika varianter, se Figur 5.16. Eftersom en produkt kontinuerligt utvecklas blir versionshantering av produktens olika komponenter väsentlig.

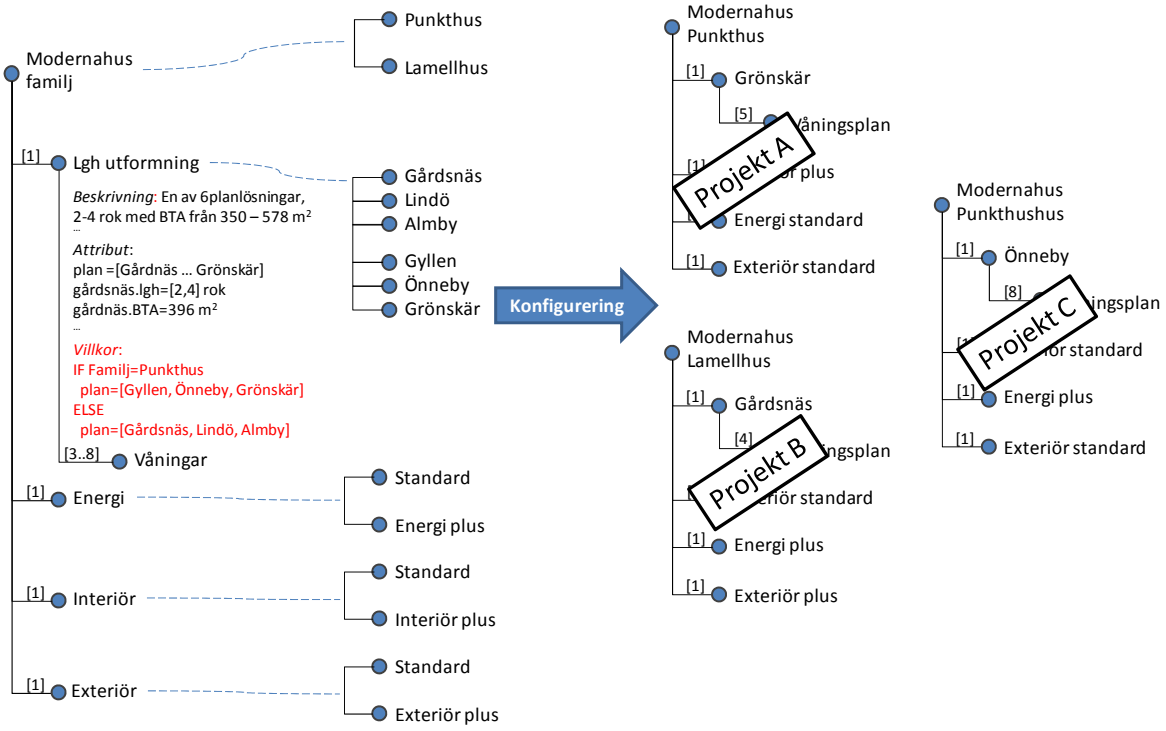



*Figur 5.16: Relation mellan BIM system och PDM system*[45].

### 5.5.4 PFMP för Skanska moderna hus

Figur 5.17 visar en PFMP kundvy av Skanskas Modernahus familj till vänster i figuren. Till höger visas exempel på konfigurerade hus i projektutvecklingen.

Medan kundvyn fokuserar på det val och varianter som beställaren skall ingenjörvyn visa en funktionell nedbrytning av hela konceptet inklusive delar som ej är valbara för kunden. Partvyn eller produktionsprocessens informationsstruktur innehåller all information som behövs för att realisera konceptets olika varianter.

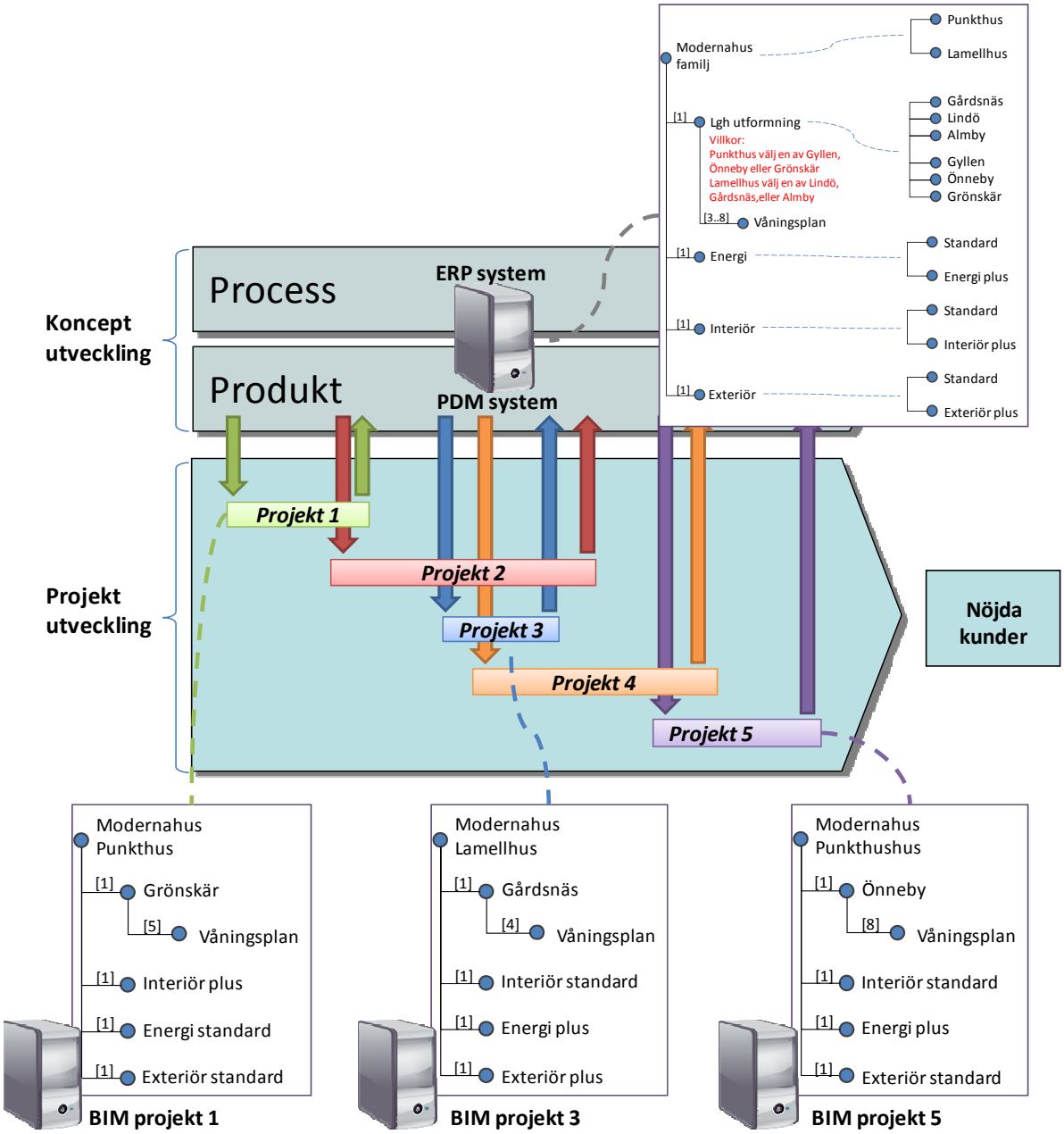



*Figur 5.17: PFMP kundvy (arkitektens vy) av Skanska Modernahus familjen till vänster och exempel på konfigurerade projekt till höger.*

[45] Johnsson, H., Persson, S., Malmgren, L., Tarandi, V., & Bremme, J. (2006). *IT-stöd för industriellt byggande i trä*, Teknisk rapport 2006:19, Luleå tekniska universitet

Jämför man med BSAB systemets uppbyggnad skulle kund- och ingenjörsvyn kunna klassificeras med BSABs tabeller för utrymmen och byggdelar, medans partvyn mera relaterar till BSABs tabeller för produktionsresultat.

I nästa figur, Figur 5.18, har relationen mellan informationsstrukturer och system i konceptutveckling och projektutveckling exemplifierats för Skanska Moderna hus kundvy.




*Figur 5.18: Relation mellan olika informationsstrukturer och system i konceptutveckling och projektutveckling*

# 6 Fallstudier

## 6.1 Introduktion

I en stor del av fallstudierna har koncept och data från Skanskas koncept ModernaHus som utvecklades 2005-2006. Sedan dess har ModernaHus vidareutvecklats med nya lägenhetstyper och blivit Svanen certifierade.

## 6.2 Det industriella byggandets förutsättningar och detaljplaner

Nedanstående beskrivning är ett utdrag ur en fallstudie som ingick i Gabriel Dursuns examensarbete: *Sambandet mellan*, Dursun (2010). Syftet var att studera svårigheter att tillämpa industriella byggkoncept på färdigutformade detaljplaner. Som underlag för fallstudie valdes:

- Detaljplaner från Malmö kommun där intention är bygga flerbostadshus
- De sex flerbostadshustyper som finns att tillgå i ModernaHus konceptet

Fallstudien genomfördes genom att ta data för byggnaderna och använda den på utvalda detaljplaner för att då försöka tillämpa industriellt byggkoncept på planerna. På så sätt undersöktes vilka bestämmelser i detaljplanerna som byggnaderna kunde uppfylla och vilka som utgjorde problem för konceptet.

### 6.2.1 Steg för steg

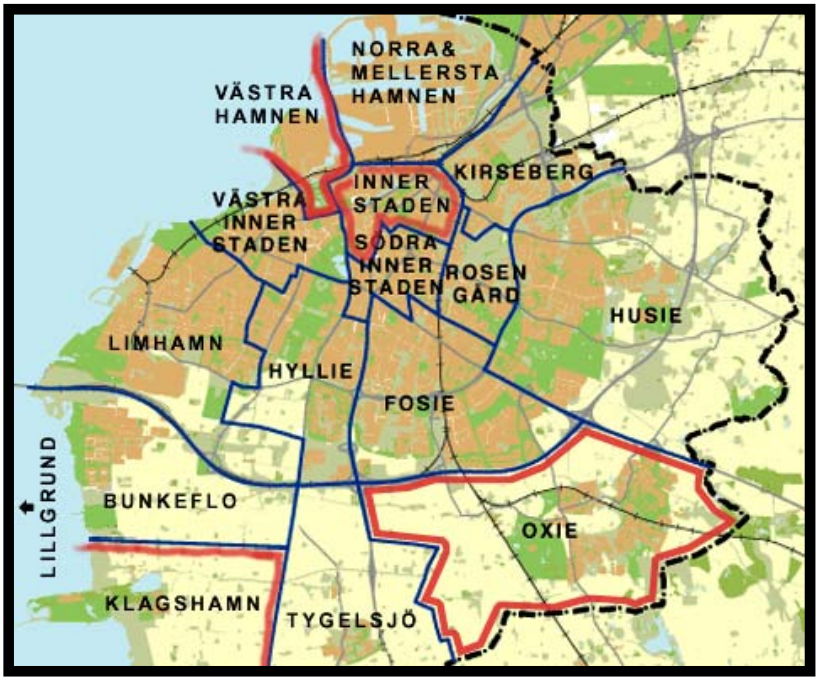
**Steg 1 – val av stad:** Första steget var att bestämma vilken stad som detaljplanerna skulle vara från som skulle användas i fallstudien. Examensarbetet utreder, som tidigare nämnts, vilka svårigheter som finns i samband med detaljplaner för industriellt byggande i Sveriges storstäder. De städer som omfattas i examensarbetet är Stockholm, Göteborg och Malmö och därför stod valet mellan dessa städer. I intervjuer med planhandläggare (se kap 5.2) så framgick det att ju större stad desto hårdare reglering på utformningen. Valet föll på Malmö eftersom det är den minsta staden av de tre, för att tillämpningen inte skulle bli alltför svår. I försöket så tas det ingen hänsyn till de mest specifika utformningsbestämmelserna i detaljplanerna, såsom specifika arkitektoniska karaktärsdrag för byggnader. Ingen hänsyn tas heller till bullerkrav osv. Syftet är nämligen att få en uppfattning om de vanligaste svårigheterna, inte svårigheter som beror på särskilda detaljerade bestämmelser.

**Steg 2 – att välja detaljplaner i Malmö:** Efter att ha valt stad, så var nästa steg att hitta detaljplaner från staden med intention som stämmer överens med konceptet som skall tillämpas på planerna, i detta fall flerbostadsbyggande. Alla pågående detaljplaner i Malmö fanns att ladda ner på deras hemsida med bl.a. utställningshandlingar. Där fanns cirka 80 detaljplaner över Malmös 16 delområden.

Följande handlingar finns att granska för varje detaljplan innan den vinner laga kraft:

- Plankarta
- Illustrationsplan
- Planbeskrivning
- Genomförandebeskrivning
- Samrådsredogörelse
- Kungörelse

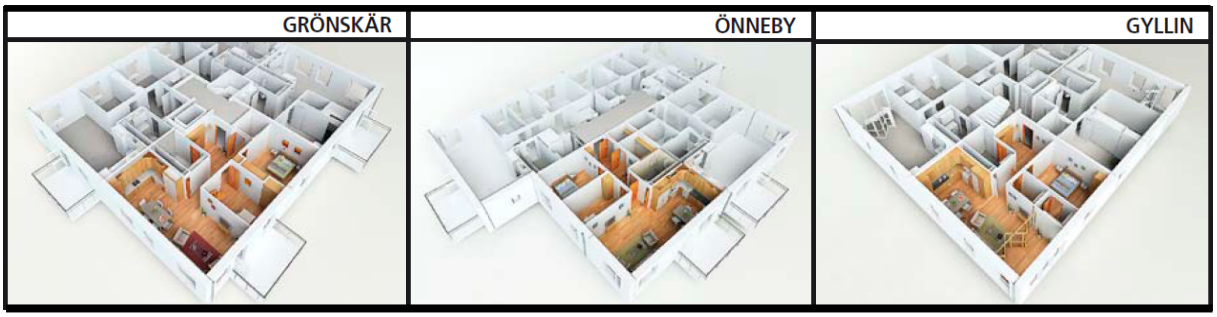
Av samtliga pågående detaljplaner som fanns på hemsidan, var det fyra planer som hade intention att möjliggöra flerbostadsbyggande. Dessa fyra detaljplaner utgjorde underlag till fallstudien. Planerna finns i delområdena som är markerade med röd linje i Figur 6.1, nämligen Klagshamn, Oxie, Västra hamnen och Innerstaden. (Nerladdningslänkar till detaljplaner som inkluderas i fallstudien finns i referenser)




*Figur 6.1: Karta över Malmö stad, hittas på www.malmö.se, genom att klicka på ett delområde i kartan visas pågående detaljplaner för det området. Utvalda detaljplaner finns inom de rödinringade delområdena*

**Steg 3 – Data på ModernaHus koncept** ModernaHus erbjuder idag sex olika flerbostadshus med en rätt stor variation i geometrisk utformning och utseende, se Figur 6.2. Alla husen har våningshöjden 2830 mm och utförs med minst tre och maximalt åtta våningar. Takfotshöjden för husen varierar från 710 mm till 1880 mm.

**Steg 4 – Applicera koncept i detaljplaner**: Det första som togs i beaktning vid utförandet av fallstudien var att kunna uppfylla detaljplanens intention gällande antal lägenheter som skall bebyggas. Fallstudien genomfördes genom att rita in de mest lämpade flerbostadshustyperna i de olika detaljplanernas plankarta. Främst med avseende på deras yttermått så att de passade in inom angivna tomtgränser. Figur 6.3 exemplifierar genomförande. Vid beslutande om vilket av husen som var mest lämpad för varje område så var det enklast att först börja med uteslutningsmetod. Då blev oftast de längre lamellhusen genast uteslutna då de inte fick plats inom givna gränser för tomterna i detaljplanerna. En del tomter innehöll även bestämmelser på största byggnadsarea för bostäder som skall byggas i tomten. I Figur 6.3 så finns där bokstäver och siffror inom punktstreckad tomt som anger bestämmelser för marken. I utvald del av plankartan i Figur 6.3 (längst upp till vänster) finns tomt markerat med ett stort B som anger att det är tillåtet att bygga bostäder. Beteckningen *4vån* visar antal våningar för husen som skall uppföras, i detta fall fyra våningar, medan $e_1$ *1000* anger maximala byggnadsytan för tomten i $m^2$.




Punkthus. **Yttermått: 20,2 x 17,6 m**. 4-spännare med 12–32 lägenheter. 2–3 rok 65+77 kvm. Sadeltak. *Normalplan: BTA: 357 m²*

Punkthus. **Yttermått: 26,2 x 19,1 m**. 4-spännare med 10–30 lägenheter, 3–4 rok 80,5+86 kvm. Pulpettak. *Normalplan: BTA: 424 m²*

Punkthus. **Yttermått: 20,2 x 18,8 m**. 4-spännare med 12–32 lägenheter, 2–3 rok 70+84 kvm. Sadeltak. *Normalplan: BTA: 381 m²*

Lamellhus. **Yttermått: 41,0 x 11,4 m**. 2 st hopkopplade 2-spännare med 12–32 lgh,2–4 rok 65,8–85,4 kvm. Pulpettak. *Normalplan: BTA: 396 m²*

Lamellhus. **Yttermått: 54,6 x 13,9 m**. 3 st sammankopplade 2-spännare med 18–48 lgh,2–3 rok 70+80,4 kvm. Pulpettak. *Normalplan: BTA: 578 m²*

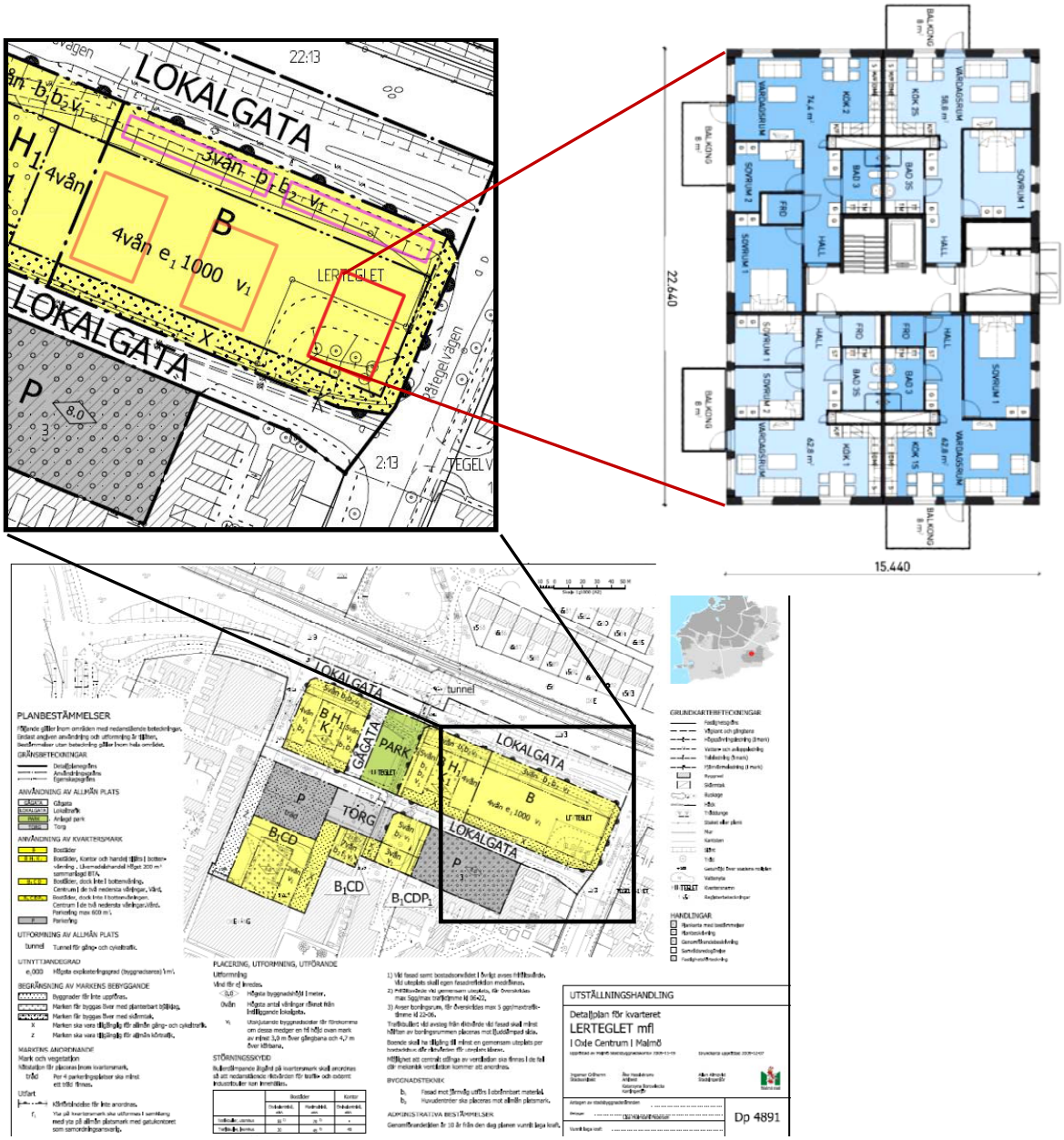
Punkthus. **Yttermått: 22,6 x 15,4 m**. 4-spännare med 12–32 lägenheter, 2–3 rok 63+75 kvm. Sadeltak. *Normalplan: BTA: 350 m²*

*Figur 6.2: ModernaHus konceptet.*[46]

Vid jämförelse av Bruttototalarea (BTA) bestämdes hustypen Lindö vara mest lämpad. Lindö har minst area för bottenplan, 350 m², jämfört med de resterande fem husen. Det går då att rymma tre hus i tomten med lämpliga avstånd, dock kommer den totala byggnadsytan ändå överstiga den högsta tillåtna byggnadsarean för tomten med 50 m². Detta var emellertid ett av de mindre problemen vid försök att rita in husen i plankartan för detaljplanen.

**Steg 5 – Resultat av fallstudie:** Som nämnts tidigare var detaljplanerna från fyra olika stadsområden, två lite utanför Malmös innerstad (Klagshamn och Oxie) och två i centrum av staden (Västra hamnen och Innerstaden). Detta var bra då det möjliggjorde att observera ifall det blir mer detaljerade bestämmelser i detaljplanen ju längre in i stadens kärna som planen ligger, vilket vore det naturliga. Oavsett hur bestämmelserna ser ut så går det inte att utifrån denna enda jämförelse generalisera och påstå att så är fallet. Det är dock intressant att iaktta den jämförelsen.

[46] Data tagen från ModernaHus broschyr: ModernaHus - ett enkelt val, s13-27




*Figur 6.3: Illustration över arbetssättet i fallstudien där det lämpligaste huset från ModernaHus koncept placeras i plankartan, tagen från detaljplan 4981 Kv. Lerteglet i Malmö. (figur längst upp till höger visar entréplan för huset Lindö)*

Nedan presenteras sammanfattad information och resultat för respektive detaljplan.

1. ***Detaljplan 4891 Oxie i Malmö,*** *Kv. Lerteglet m.fl. (Oxie Centrum).*
   Detaljplanen syftar till att göra det möjligt att bland annat bygga flerbostadshus i kvarteren Lerteglet och Murteglet. Antal tillkommande lägenheter beräknas bli ca 220 styckena.

   Detaljplanen hade inte särskilt detaljerade bestämmelser att ta hänsyn till utan det gick att uppfylla samtliga utsatta bestämmelser utan problem så länge husen fick plats inom utsatta användningsgränser i plankartan. I de flesta tomter där det skulle bebyggas flerbostadshus fanns inte en högsta byggnadshöjd utsatt, utan istället var det angivet antal våningar huset skulle ha vilket också underlättade något. I de fall där det fanns angiven högsta höjd tillsammans med antal våningar var det ändå inga problem att hamna under den höjden. Det var

dock problem att få in hus på några av de mindre tomterna på grund av att dess kortsida endast var cirka 14 m och alla punkthus i konceptet har en kortsida över 15 m. Om tomternas långsida varit över 41 m så hade det fungerat med att lägga in det mindre lamellhuset Gärdnäs då den har dimensionerna 41 x 11,4 m, detta var dock inte fallet.

Då husen ritades in i tomterna visade det sig att husen Lindö (22,6 x 15,4 m) och Gärdnäs (41,0 x 11,4 m) var mest lämpade att använda. Lindö var lämpligt för mer kvadratiska byggnadsrätter och Gärdnäs för de avlånga byggnadsrätterna. Totalt så ritades det in fem Lindö punkthus och sju Gärdnäs lamellus vilka rymdes inom tomterna och uppfyllde bestämmelserna. De elva husen motsvarade 172 lägenheter. I en av tomterna på plankartan fanns högsta exploateringsgrad (1000 $m^2$) angivet, vilket begränsade valet av hustyp. I den tomten ritades tre stycken av konceptets minsta hus in men trots det överstegs ytan högsta byggnadsytan med 50$m^2$. I de fall som det inte fungerade att få in husen inom tomternas gränser så handlade det om 0.5-1.5 m förskjutning av tomtgränsen för att det skulle vara möjligt att få in konceptets minsta hus. Om det skulle varit möjligt att applicera något av husen även på alla de mindre tomterna så hade siffran på lägenheter varit omkring 272 lägenheter, detta genom beräkning av antal möjliga hus respektive våningar som ryms inom planen.

**Svårigheter:**

- En del tomter har för små ytor för att kunna rymma något av konceptets sex hustyper på marken.
- Bestämmelse om högsta tillåtna byggnadsarea i vissa tomter.

2. ***Detaljplan 4957 Klagshamn i Malmö,*** *för område öster om Kalkbrottet.*
Detaljplanen gör det möjligt att bl.a. uppföra tre- och fyravåningshus, totalt ca 120 lägenheter, på ytan närmast Kalkbrottssjön.

**Genomförande:**
I plankartan finns åtta relativt små byggnadsrätter för nybyggnad av tre och fyravåningshus med 11 m respektive 13 m byggnadshöjd. Samtliga hus skall ha trä- eller skivmaterial som fasadyta. Redan där blir det problem i tillämpandet av ModernaHus byggnader i planen då alla levereras med en spritputsad fasad. Därmed är det inte sagt att det inte är möjligt, det går att välja fasad av trä eller skivmaterial om det utförs som eftermontage. Vilken hustyp som var det mest lämpade att placera inom byggnadsrätterna fanns inga svårigheter i att avgöra. Det var nämligen endast det minsta punkthuset (Lindö) som rymdes inom de flesta tomterna. Reglerade byggnadshöjder var det inga problem med att utan som planen avsett så rymdes tre och fyravåningshus. Då husen ritades in fick tio Lindö punkthus plats inom tomterna som skulle motsvara 108 lägenheter. Ytterligare ett hus skulle rymmas ifall den byggnadsrättens gräns försköts med cirka 1 m och totala antalet lägenheter skulle då bli 120 stycken. Men även om den gränsen skulle förskjutas fanns det där en beteckning inom tomten som innebar att bredd för byggnad maximalt får vara 13 m. Därför går det inte att bygga något av de punkthus(kortsida är 14 m för minsta punkthuset) som ModernaHus erbjuder då de helt enkelt är för breda även om Lindö ryms inom gränserna.

**Svårigheter:**

- Bestämda material för byggnaders fasadytor.

- Bestämmelse på maximal bredd för byggnaden.
- För små ytor i några av tomterna för att rymma hustyperna.

3. ***Detaljplan* 5025 *Västra hamnen i Malmö,*** *för område öster om Varvsparken och mässhallarna i Hamnen*.
   Planförslaget gör det möjligt att bl.a. uppföra fyra bebyggelsekvarter norr om Lilla Varvsgatan. Planen medger en utbyggnad om ca 320 lägenheter.

   Eftersom samtliga tomter har en kortsida under 15 m och så kan inte något av punkthusen rymmas p.g.a. att byggnadernas dimensioner är för stora i förhållande till tomterna. Inte heller lamellhusen ryms eftersom byggnaderna är för långa. Till skillnad från de två tidigare detaljplanerna så finns här även bestämmelser med hänsyn på trafikbuller. I en del tomter inom detaljplanen reglerades att fasaden för byggnader som skall uppföras där skall ha dämpning med minst 40dBA. En fasad med sådan ljudisolering räknas till att vara högisolerade (40-45dBA), normalisolerad fasad ligger på 25-30dBA. (värden hämtade från www.sp.se). Detta krav uppfylls av ModernaHus byggnader, det är dock inte säkert att detta krav kan uppfyllas av andra industriella koncept, då vanliga flerbostadshus inte har sådan hög isolering på fasaderna.

   **Svårigheter:**

   - För små tomter för att kunna rymma någon av konceptets byggnader.
   - Särskilda krav för fasadisolering i tomter som påverkas av högt buller.

4. ***Detaljplan* 5041 *Innerstan i Malmö,*** *del av kv. Dimman.*
   Detaljplanen syftar till att göra det möjligt att uppföra ett flerbostadshus med omkring 50 lägenheter samt handel och kontor i bottenvåningen.

   Ett krav på flerbostadshuset är att bottenvåningen ska bestå av kontor och plats för handel. Det är möjligt att uppfylla detta krav även med ModernaHus även om det inte ingår standardalternativen vid utformningsvalen som kunden kan göra. ModernaHus bostäder börjar då på andra våningen. Den enda hustypen som ryms i tomten på detaljplanen, är det mindre lamellhuset Gärdnäs. Dock finns här en rad bestämmelser på både utseende och bullerdämpande åtgärder som inte uppfylls. Exempel på utformningskrav är bl.a. att ”en större öppning skall finnas i byggnadens mitt”. Högst antal våningar för flerbostadshuset är satt till elva våningar med högsta totalhöjd på 35 m. Samtliga flerbostadshus som ingår i ModernaHus kan högst ha åtta våningar, den begränsningen gör det inte lämpligt att använda konceptet i aktuell detaljplan.

   **Svårigheter:**

   - Bestämmelser för trafikbullerljudnivå.
   - Bestämmelser på specifika utseendekrav för byggnad.

### 6.2.2 Sammanfattning av svårigheter som uppkom i fallstudie

Av de svårigheter som uppkom så handlade det oftast om måtten på byggnadsrätterna, där det inte gick att rymma någon av konceptets byggnader. Det rörde sig oftast om 0,5-1,5 m som byggnaderna kom utanför användningsgränsen i tomterna. I några av de större ytorna så fanns bestämmelse på

exploateringsgrad i form av högsta tillåtna byggnadsarea. Med en byggnadsarea att ta hänsyn till så blev det genast svårare att placera in de mest lämpade husen i området utan att överskrida gränsen för byggnadsarea något.

I en av detaljplanerna så fanns bestämmelse på att fasadmaterial ska vara av trä eller skivmaterial, detta uppfylls inte bland standardvalen i ModernaHus, men det går att använda träfasad om det görs som eftermontage. Det bör påpekas att denna bestämmelse inte behöver innebära några problem för andra industriella byggkoncept. I samma detaljplan rymdes de flesta husen inom tomterna, dock fanns bestämmelsen att byggnadens bredd högst får vara 13 m. Den bestämmelsen omöjliggjorde att kunna applicera konceptet i detaljplanen då alla hus som rymdes inom tomtgränserna hade en bredd större än 13 m. Även i den tredje detaljplanen gick det inte att rymma något av husen då tomterna helt enkelt var för små i jämförelse med konceptets byggnader. Även här blev det därför ogenomförbart att applicera ModernaHus eftersom konceptets byggnader har för stora dimensioner.

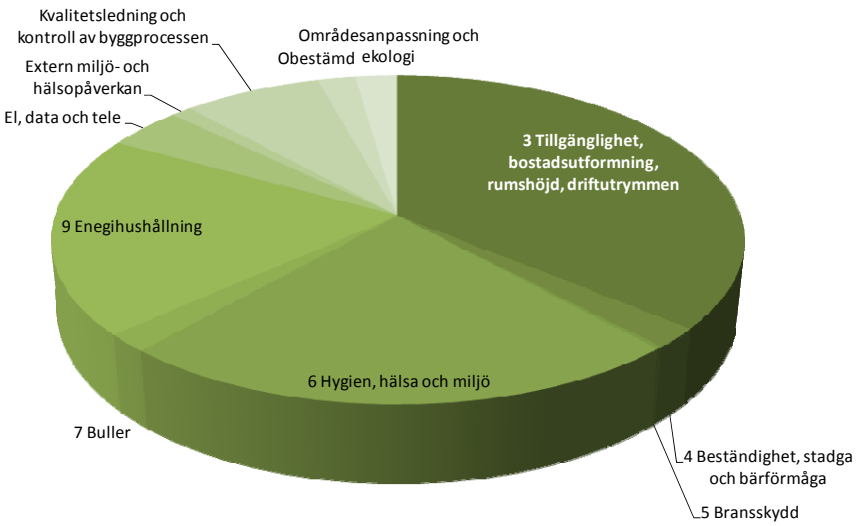
Mer centralt belägna detaljplaner hade även bestämmelser på hur hög ljudnivån får vara i olika utrymmen i lägenheterna p.g.a. buller. Det undersöktes inte något djupare på ifall alla ljudkraven uppfylldes av ModernaHus byggnader, husen klarade dock ett krav som fanns i två av detaljplanerna, nämligen att byggnaderna skulle ha högisolerande fasad (>40dBA). Värt att nämna är att utvecklare av industriella byggkoncept, som vill applicera sitt koncept i de mer centrala delarna av staden, bör räkna med sådana bestämmelser eftersom det är krav på att uppfylla bullernormer.

Detaljplanen från delområdet Innerstan, som är mest central, hade flest utformningsbestämmelser. Där är kraven så detaljerade att det antagligen inte är möjligt att uppföra flerbostadshuset på annat vis än traditionell byggprocess. Dock så känns det naturligt att dessa krav finns där då placeringen av byggnaden är så centralt belägen. Att regleringen är så pass skärpt beror antagligen på att det är trångt i innerstaden och måtten är givna mellan gatuområde och grannhus. Utformningen är här väldigt vikigt eftersom byggnaden kommer att passeras av så många människor dagligen och betydligt fler människor kommer att intressera sig av hur byggnaden ser ut i jämförelse med om den varit utanför stadskärnan.

Från stadsbyggnadssynpunkt behöver de anpassa bebyggelsen till omgivande bebyggelse. En planförfattare kan också vilja ha smala hus, för att ljusförhållandena inomhus ska bli bättre och husen se ”lättare” ut exteriört.

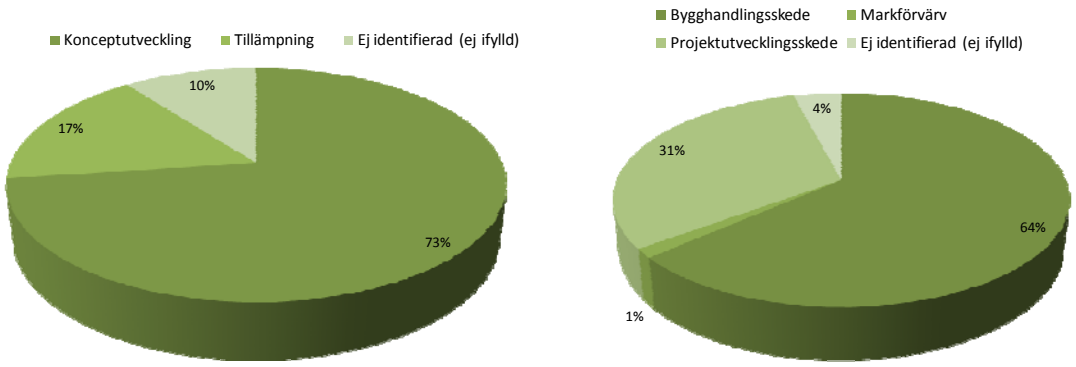
## 6.3 Kravanalys mot befintligt koncept

I studien 4.3 Kravhantering i ett konceptbyggande sidan 50, (se också bilaga 1), gjordes också en jämförelse mellan en kravställare och ett industriell koncept. Kravställare Riksbyggens kravprofil (v.2 2008-10-21) jämfördes med Skanskas ModernaHus. Totalt 442 olika krav klassificerades i funktionsområden, se Figur 6.4. Jämfört med andra kravställare utmärker sig Riksbyggen genom en större mängd krav som relaterar till tillgänglighet, ca 36% av alla krav.




*Figur 6.4:Riksbyggens bostadskrav indelade i olika funktionskategorier.*

Analyserar man de olika kraven utifrån ett konceptbyggande så ser man att ca 73 % kan hänföras till konceptutvecklingsskedet och ca 17% i tillämpningen av ModernaHus. Sett över byggprocessens olika skeden så behandlas majoriteten av kraven i bygghandlingsskedet (64%).

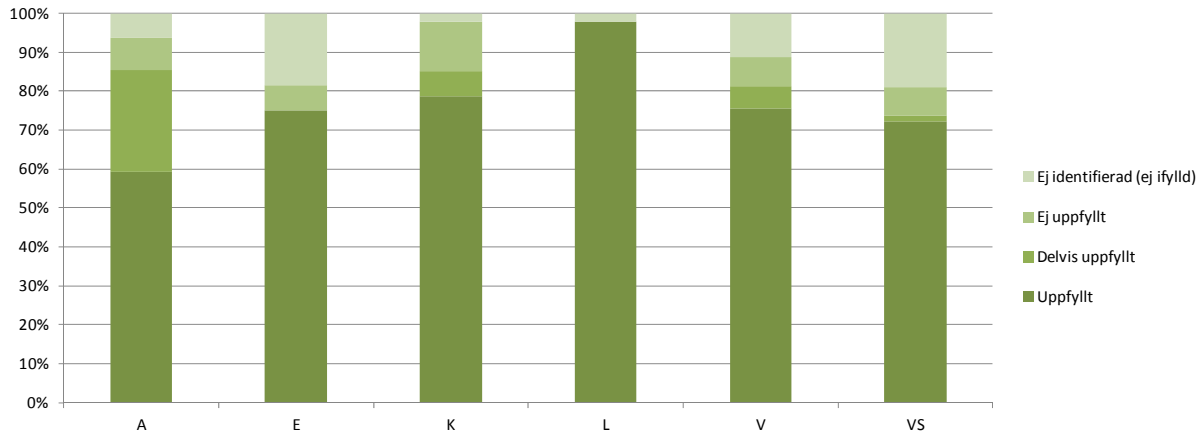



*Figur 6.5: Kraven uppdelad på konceptutveckling och tillämpning i projekt, figur till vänster, samt över byggprocessen olika skeden, figur till höger.*

Projektutvecklingsskedet tillsammans med bygghandlingsskedet utgör tillsammans 95% av kraven som ställs i tillämpningsskedet av byggprocessen.

I nästa figur, Figur 6.6, har måluppfyllelsen av hur väl ModernaHus uppfyller Riksbyggenbostaden bedömd.

- ModernaHus uppfyller Riksbyggens krav bäst i konsultområdet Lanskapsarkitektur
- El, Konstruktion, Ventilation och Värme och Sanitet uppfyller alla Riksbyggens krav mellan 70-80%
- Arkitektur har sämst kravuppfyllelse med strax under 60% av kraven uppfyllda




*Figur 6.6: Måluppfyllelse för ModernaHus konceptet av Riksbyggenbostaden. Uppfyllelsen är uppdelad på de olika konsult-områdena A(rkitektur), E(l),K(onstruktion), L(andskapsarkitektur), V(ärme) och VS(vatten och sanitet).*

Diagrammet är ett enkelt och visuellt överskådligt sätt att visa hur väl ett industriellt koncept möter krav från en enskild byggherre. Jämförelsen visar också i vilka processer som kraven ska uppfyllas och kan ge en fingervisning om kravbilden går att uppfylla till en rimlig kostnad. Dessutom visar studien att de flesta kraven bör beaktas vid utvecklingen av konceptet.

## 6.4 Geometriska ändringar - fallet alternativ placering av entrédörr

### 6.4.1 Fallstudiebeskrivning

Denna fallstudie beskriver konsekvenserna i ett verkligt fall där ett industriellt koncept förändrades för att klara kraven i tillämpningsprojektet. Skanska ModernaHus var nyutvecklad och var ett relativt låst koncept med fasta geometriska förutsättningar.

I Kristianstad startade 2005 ett projekt som omfattade ett kvarter bestående av tre flerbostadshus. Projektet kallades för Söderberg etapp 1 och 2. I etapp 1 byggdes det första punkthuset med sex våningar, ett Skanska ModernaHus med produktnamnet Grönskär, se Figur 6.7. De yttre förutsätt-ningarna gjorde att Grönskär kunde appliceras utan att några omfattande justeringar behövde göras åt grundkonceptet.

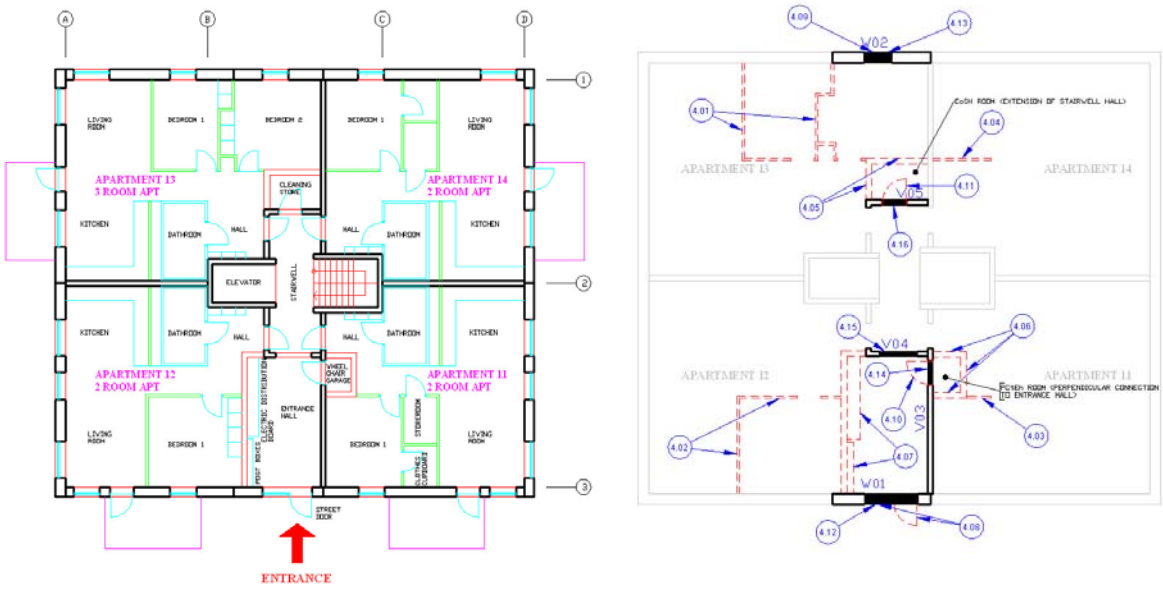
*Figur 6.7:Skanska ModernaHus, produkt Grönskär*

*Figur 6.8 Placering av de tre husen i projekt Söderberg. Etapp 1 omfattade hus1 och etapp 2 hus 2 och 3.*

I etapp två skulle hus 2 och 3, två Grönskär punkthus, byggas 2007. Hus två har sex våningar och hus tre sju våningar. Alla tre husen har en gemenensam gård, vilken husens entrédörrar är vända mot. Om man väljer produkten Grönskär för hus 2 och 3 samt vänder entrédörrarna mot gården hamnar den långsida som har balkonger mot norr. Detta är av naturliga skäl inte är en bra för de boende. För att lösa detta valdes istället att spegelvända delar av geometrin på bottenvåningen för hus 2 och 3 i Figur 6.8. Detta medförde en stor avvikelse gentemot standardutförandet av konceptet. I denna studie har vi begränsa oss till att beskriva påverkan på stommen, lägenheternas innerväggar samt trapphusets inredning.

### 6.4.2 Genomförda förändringar

För att beskriva påverkan i stommen och inredningen delas förändringarna in i två delar. I den första delen visas vilka dörrar, fönster, väggar och inredning i trapphuset i originalkonceptet som måste tas bort, se Figur 6.9 med tillhörande beskrivning i Tabell 6.1.

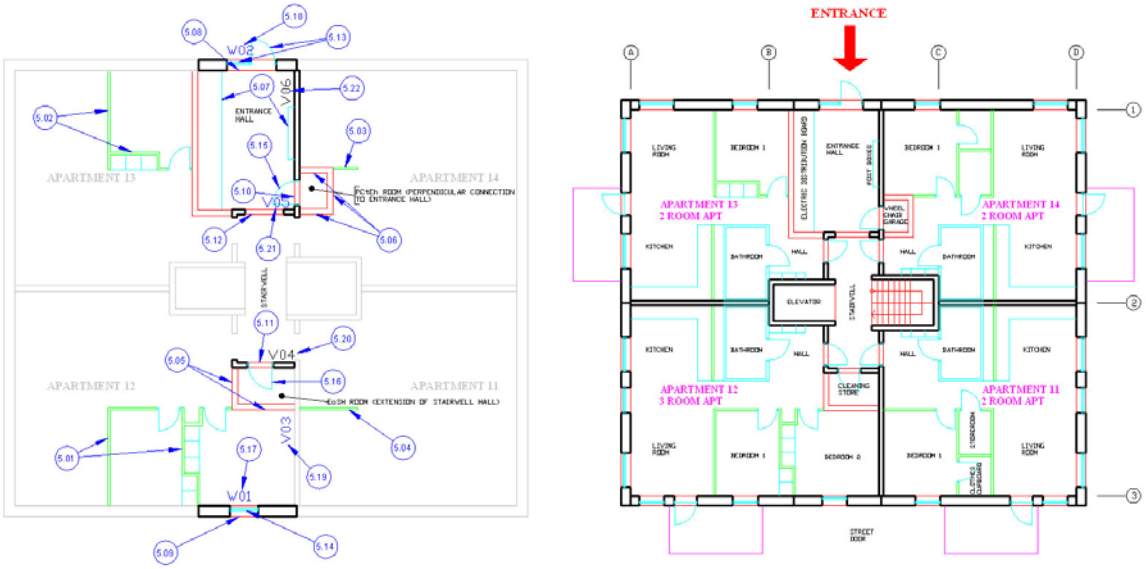



*Figur 6.9: Bortagning av befintliga dörrar, fönsterhål och inredning i trapphus i originalkonceptet som visas till vänster*

*Tabell 6.1: Åtgärder i form av borttagning av dörrar, fönsterhål, väggar och inredning*

| Nummer | Åtgärd |
|---|---|
| 4.01 | Ta bort sovrummets innerväggar, dörrar och inredning, lägenhet 13. |
| 4.02 | Ta bort sovrummets innerväggar, dörrar och inredning, lägenhet 12. |
| 4.03 | Ta bort sovrummets innerväggar, lägenhet 11. |
| 4.04 | Ta bort delar sovrummets innerväggar, lägenhet 14. |
| 4.05 | Ta bort ”skrubb” som har anslutning till trapphuset (EoSH). |
| 4.06 | Ta bort ”skrubb” som har anslutning till entréhallen (PCtEh). |
| 4.07 | Ta bort inredningen i entréhallen (postlådor och el-central etc.) |
| 4.08 | Ta bort dörr och fönster i yttervägg W01 |
| 4.09 | Ta bort ett fönster i yttervägg W02, lägenhet 13 |
| 4.10 | Ta bort dörr i innervägg V03 mellan entréhallen och ”strubb” (PCtEh) |
| 4.11 | Ta bort dörr i innervägg V05 mellan trapphuset och ”strubb” (EoSH) |
| 4.12 | Ta bort fönster- och dörröppning i yttervägg W01 |
| 4.13 | Ta bort fönsteröppning i yttervägg W02, lägenhet 13 |
| 4.14 | Ta bort dörröppning i innervägg V03 mellan entréhallen och ”skrubb” (PCtEh) |
| 4.15 | Ta bort öppning i innervägg V04 mellan entréhall och trapphus |
| 4.16 | Ta bort dörröppning i innervägg V05 mellan trapphuset och ”skrubb” (EoSH) |

Därefter visas vilka dörrar, fönster, hål, väggar och trapphusets inredning som sätts in, se figur 5 med tillhörande beskrivning i tabell 2.




*Figur 6.10: Påverkan i den spegelvända planlösningen, till höger i form av dörrar, fönster hål, väggar och inredning som sätts ini figuren till vänster*

*Tabell 6.2: Åtgärder i form av av dörrar, fönsterhål, väggar och inredning som sätts in, se ovanstående figur*

| Nummer | Åtgärd |
|---|---|
| 5.01 | Lägg till sovrummets innerväggar, dörrar och inredning, lägenhet 12. |
| 5.02 | Lägg till sovrummets innerväggar, dörrar och inredning, lägenhet 13 |
| 5.03 | Lägg till delar sovrummets innerväggar, lägenhet 14. |
| 5.04 | Lägg till delar sovrummets innerväggar, lägenhet 11. |
| 5.05 | Lägg till ”strubb” som har anslutning till trapphuset (EoSH). |
| 5.06 | Lägg till ”strubb” som har anslutning till entréhallen (PCtEh). |
| 5.07 | Lägg till inredningen i entréhallen (postlådor och el-central etc.). |
| 5.08 | Lägg till fönster och dörröppning i yttervägg W02. |
| 5.09 | Lägg till fönsteröppning i yttervägg W01. |
| 5.10 | Lägg till dörröppning i innervägg V06 mellan entréhallen och ”strubb” (PCtEh). |
| 5.11 | Lägg till dörröppning i innervägg V04 mellan trapphus och ”strubb” (EoSH). |
| 5.12 | Lägg till öppning i innervägg V05 mellan trapphus och entréhallen. |
| 5.13 | Lägg till ytterdörr och fönster i yttervägg W02. |
| 5.14 | Lägg till fönster i yttervägg W01. |
| 5.15 | Lägg till dörr i innervägg V06 mellan entréhallen och ”strubb” (PCtEh). |
| 5.16 | Lägg till dörr i innervägg V04 mellan trapphus och ”strubb” (EoSH). |
| 5.17 | Ändra prefabelemet namn/ littera från W01 till något unikt. |
| 5.18 | Ändra prefabelemet namn/ littera från W02 till något unikt. |
| 5.19 | Ändra prefabelemet namn/ littera från V03 till något unikt. |
| 5.20 | Ändra prefabelemet namn/ littera från V04 till något unikt. |
| 5.21 | Ändra prefabelemet namn/ littera från V05 till något unikt. |
| 5.22 | Ändra prefabelemet namn/ littera från V06 till något unikt. |

### 6.4.3 Slutsatser av fallstudien

Detta verkliga fall visade att det var möjligt att ta hänsyn till detta specifika brukarkrav genom att spegla delar av bottenvåningen eftersom konsekvenserna var måttliga. Dock visar ett sådant här till synes enkelt exempel att det är många delar som påverkas och om detta görs manuellt blir arbetet omfattande. Kravet var möjligt att genomföra eftersom husets grundprincip kunde bibehållas bl.a. genom att inget vertikalt installationsschakt, placering av kök och badrum påverkades. Om brukar-

kravet istället varit att sätta ytterdörren i väggarna i linjen A eller D, se Figur 6.9, hade konsekvenserna blivit alltför stora eftersom detta hade påverkat all geometrin i alla våningar, vilket troligen inneburit att produkten Grönskär inte hade kunna användas i praktiken. När man gör en variant, såsom i detta fall, är det intressant att studera om förändringen ger sekundära påverkningar. För att belysa detta kan vi studera inredningen i entréhallen. Som det framgår av Figur 6.9 och Figur 6.10 har inte rummets inredning, i form av postlådor och el-central, spegelvänts, utan postlådorna tvingades flytta till den motsatta väggen. Anledningen till det är att själva el-centralen i sig inte kan spegelvändas utan kan endast köpas i ursprunglig utförande. Anslutningarna till denna el-central gjorde att, i den spegelvända varianten av bottenplanen, behövde el-central mera plats, vilket i sin tur gjorde så att postlådorna inte fick plats på samma sida och fick därför byta placering. Att postlådorna fick en annan placering är kanske inte ett oöverkomligt problem i detta fall, men om denna yta hade vart upptagen med annan inredning hade detta fått ytterligare konsekvenser. I koncept som ModernaHus finns det ett begränsat utrymme för sådana outnyttjade ytor, eftersom boarean ofta är optimerad. Det bästa hade vart om utvecklarna redan från början skissat på alternativet med spegelvänd bottenplan och genom modulariseringsprinciper sett till att vald el-central skulle få plats även i den spelvända varianten.

I denna studie har vi begränsat oss till att beskriva påverkan på stommen, lägenheternas innerväggar samt trapphusets inredning. Självklart påverkades även andra delar såsom planets installationer, golv, undertak etc. Eftersom husen byggdes blev konsekvenserna inte större än att dom var överkomliga.

## 6.5 Prestandaanalyser i ett projektutvecklingsskede

### 6.5.1 Inledning

I projektutvecklingen, dvs när konceptet skall anpassas till kund och plats, kan prestandaanalyser förenklas avsevärt. En stor del av konceptets egenskaper eller indata kommer att vara gemensamt och på förhand känt, d v s endast de egenskaperna som varieras (påverkas av kundanpassningen) behöver definieras, se Figur 5.5.

För att undersöka hur en kundanpassad konfigurationsprocess kan genomföras utfördes två fallstudier på Skanskas ModernaHus produkt Grönskär, se Figur 6.2. I den första fallstudien utvecklades metodiken att göra projektutvecklingsanalyser av energiprestanda i Grönskärprodukten. I fallstudie 2 kompletterades metodiken med det utvecklade beslutstödssystemet beskrivet i kapitel 3.3 där ett antal 5 olika beslutskriterier användes för att utvärdera 432 alternativ för två fiktiva beställare.

Som verktyg valdes VIP Energy[47] för prestandaanalys av ModernaHus konceptet för dess modulära uppbyggnad och möjlighet att frikoppla indata och utdata hantering från själva beräkningskärnan i VIP Energy. Strusoft är också en del av Formas BIC projektet och VIP används också av Skanska för energianalyser.

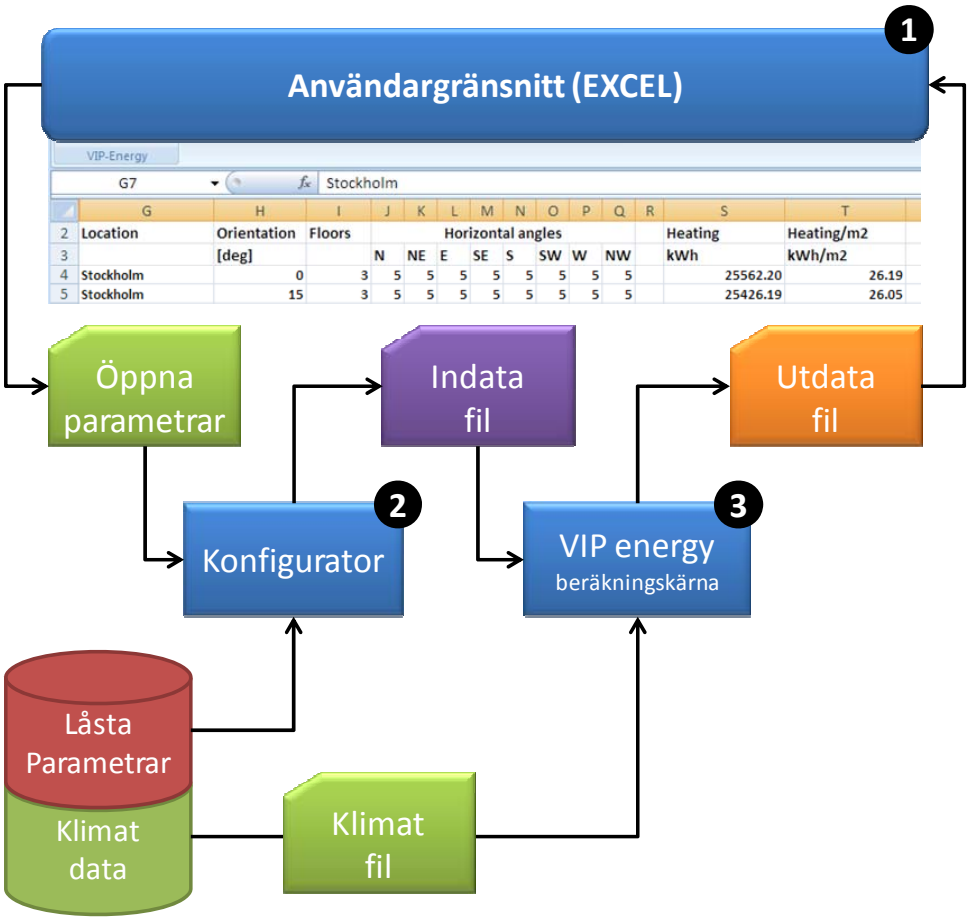
### 6.5.2 Fallstudie - automatiserade energianalyser

I den första fallstudien av prestandaanalyser för stöd av konfigureringen i ett projektutvecklingsskede, dvs när produkten skall anpassas till plats och kundens behov, studerades Grönskärs produk-

[47] VIP-Energy (2011). http://www.strusoft.com/index.php/sv/produkter/vip-energy: 2011-09-20

tens konfigureringsmöjligheter. Tanken är att analysverktyg skall kunna stödja säljprocessen mellan konceptägare och kund att välja en konfiguration med rätt uppsättning av öppna designparametrar.

Figur 6.11 visar flödesschemat för fallstudie 1.




| | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R | S | T |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | Location | Orientation | Floors | Horizontal angles | | | | | | | | | Heating | Heating/m2 |
| 3 | | [deg] | | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW | | kWh | kWh/m2 |
| 4 | Stockholm | 0 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | | 25562.20 | 26.19 |
| 5 | Stockholm | 15 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | | 25426.19 | 26.05 |

*Figur 6.11: Fallstudie automatiserade energianalyser, anpassat från Racz et al.*[48]

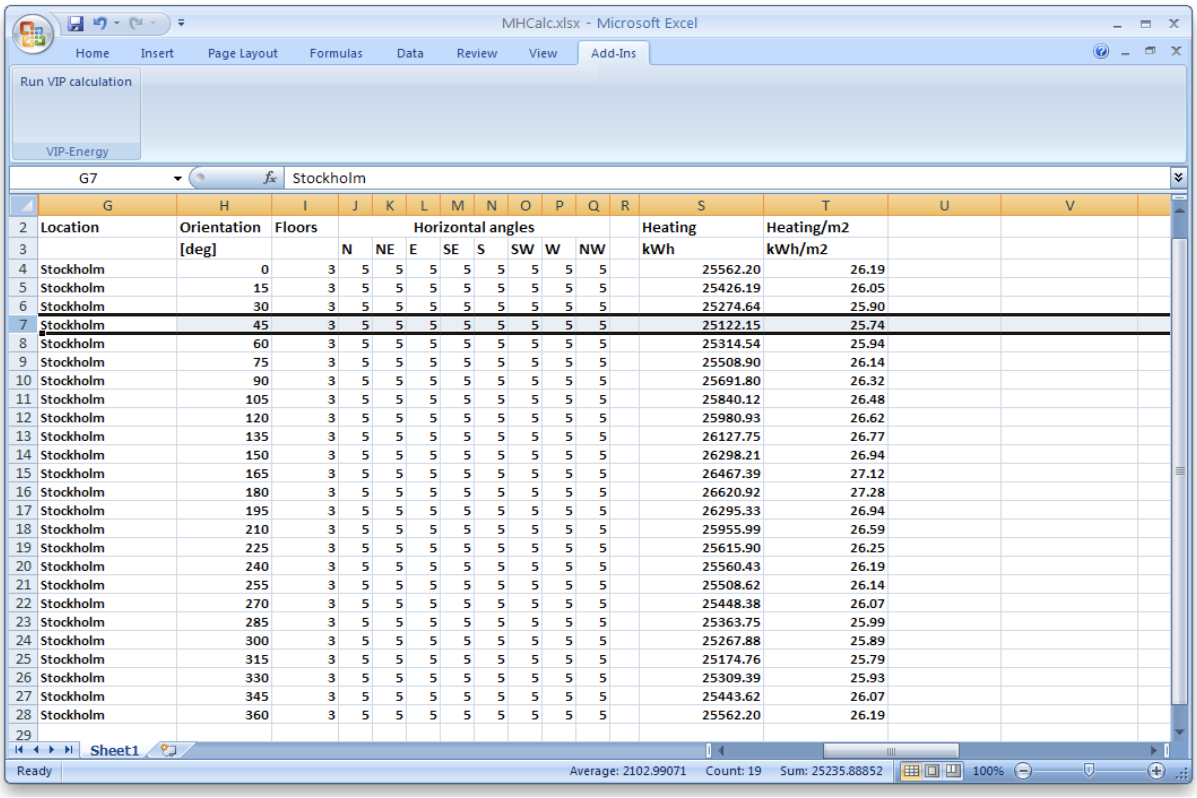
För att förenkla inmatningen av öppna valbara parametrar valdes Excel som användargränssnitt (1). I fallstudie kunde fem parametrar varieras:

- Plats: geografisk position för klimatdata.
- Orientering: relativa vinkeln för huset orientering i förhållande till Norr.
- Solinstrålning: Lägsta horisontella solinstrålning i omgivningen, 8 solvinklar för 8 orienterings-ar
- Antal våningar: 3 till 8 våningar

När de öppna parametrarna var definierade initierade användaren konfiguratorn (2) från Excel verktyget som kombinerade de öppna med de låsta parametrarna i indatafilen (XML) till prestanda-analysen. Konfiguratorn (2) valde också klimatfilen som hörde till platsen innan VIP Energy (3) exekverades och skapade utdata filen som lästes in av Excel (1).

[48] Rácz, T., Rönneblad, A., Olofsson, T., Energy Analysis Automation for Industrialized Construction Processes, *Proceedings of the 27th CIB W078 International Conference on Applications of IT in the AEC Industry*, Cairo, 2010, http://pure.ltu.se/portal/files/5218075/Article

Nästa figur, Figur 6.12, visar resultatet från en beräkning av orienteringens inverkan på energiförbrukning. Även om orienteringen i det här fallet inte påverkar energiförbrukningen särskild mycket (ca 1-2 kWh/m$^2$ och år) så visar exemplet hur enkelt det kan vara att göra energianalyser för industriella koncept där en stor del av parametrarna är låsta.




| | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R | S | T | U | V |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | Location | Orientation | Floors | Horizontal angles | | | | | | | | | Heating | Heating/m2 | | |
| 3 | | [deg] | | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW | | kWh | kWh/m2 | | |
| 4 | Stockholm | 0 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | | 25562.20 | 26.19 | | |
| 5 | Stockholm | 15 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | | 25426.19 | 26.05 | | |
| 6 | Stockholm | 30 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | | 25274.64 | 25.90 | | |
| 7 | Stockholm | 45 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | | 25122.15 | 25.74 | | |
| 8 | Stockholm | 60 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | | 25314.54 | 25.94 | | |
| 9 | Stockholm | 75 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | | 25508.90 | 26.14 | | |
| 10 | Stockholm | 90 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | | 25691.80 | 26.32 | | |
| 11 | Stockholm | 105 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | | 25840.12 | 26.48 | | |
| 12 | Stockholm | 120 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | | 25980.93 | 26.62 | | |
| 13 | Stockholm | 135 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | | 26127.75 | 26.77 | | |
| 14 | Stockholm | 150 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | | 26298.21 | 26.94 | | |
| 15 | Stockholm | 165 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | | 26467.39 | 27.12 | | |
| 16 | Stockholm | 180 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | | 26620.92 | 27.28 | | |
| 17 | Stockholm | 195 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | | 26295.33 | 26.94 | | |
| 18 | Stockholm | 210 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | | 25955.99 | 26.59 | | |
| 19 | Stockholm | 225 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | | 25615.90 | 26.25 | | |
| 20 | Stockholm | 240 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | | 25560.43 | 26.19 | | |
| 21 | Stockholm | 255 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | | 25508.62 | 26.14 | | |
| 22 | Stockholm | 270 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | | 25448.38 | 26.07 | | |
| 23 | Stockholm | 285 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | | 25363.75 | 25.99 | | |
| 24 | Stockholm | 300 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | | 25267.88 | 25.89 | | |
| 25 | Stockholm | 315 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | | 25174.76 | 25.79 | | |
| 26 | Stockholm | 330 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | | 25309.39 | 25.93 | | |
| 27 | Stockholm | 345 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | | 25443.62 | 26.07 | | |
| 28 | Stockholm | 360 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | | 25562.20 | 26.19 | | |
| 29 | | | | | | | | | | | | | | | | |

*Figur 6.12: Beräkning av orienteringens inverkan på energiförbrukning, exemplet i figuren tog ca 10 sekunder att exekvera.*

Prestandamässigt så tar en analys ca 0,4 sek att utföra i Windows XP på en MacBook Pro 2.4 GHz Core 2 Duo. Det innebär också att analyserna kan utföras i realtid när man diskuterar med kund och utvärderar olika konfigurationer. För mer information se Racz, Rönneblad och Olofsson[48].

### 6.5.3 Fallstudie - beslutsstödsystem i konfigurering av industriella koncept

Även om prestandaanalyser av alternativa utformningar av industriella koncept kan förenklas med hjälp av s.k. konfiguratorer, så kan framtagandet av det optimala alternativet vara komplicerat särskilt om urvalskriterierna är många och motsägelsefulla.

I den här fallstudien[49] undersöktes införandet av s.k. beslutstödssystem för att hjälpa konceptägare att ta fram optimal konfigurering för kunder från resultatet av ett stort antal alternativa utformningar.

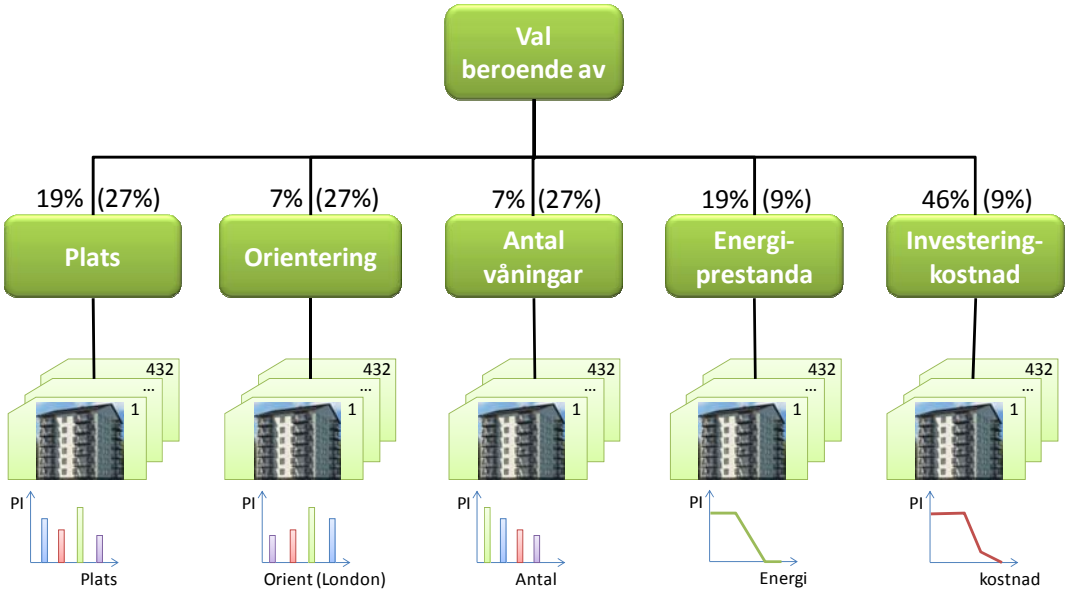
Beslutsstödssystemet beskrivet i kapitel 4.2.2, implementerades i konfiguratorprototypen beskrivet ovan tillsammans med en förenklad investeringskalkyl per m$^2$ BTA baserat på kostnad för mark och byggnad. Investeringskostnaden baserades på statistik från utvalda orter i England och Sverige, 2009.

[49] Rácz, T., Olofsson, T., (2011), Decision support for configuration systems of industrialized constructions, *Proc 28th International Symposium on Automation and Robotics in Construction*, ISARC2011, June 29- July 2, 2011, Seoul, Korea

Följande kriterier valdes som underlag för urvalet av optimal alternativ:

- Plats: geografisk position
- Orientering: huset orientering i förhållande till Norr
- Antal våningar: 3 - 8
- Energiprestanda i kWh/m$^2$
- Kostnad EUR/m$^2$

För kunna jämför de olika kriterierna skapades s.k. utility funktioner, se kapitel 3.3, för två fiktiva kunder med olika viktade kriterier på vad som definerar en bra design för den specifika kunden. Sedan automat genererades 432 varianter bestående av 6 platser (två i England och 4 i Sverige), 12 olika orienteringar på varje plats samt 6 alternativa utformningar av Grönskärsprodukten (3-8 våningar). Dessa 432 varianter utvärderades i beslutsstödsystemet , vad gäller utility funktioner och prioriteringen av de olika urvalskriterier, se Figur 6.13.




*Figur 6.13: Principer för prioritering och urval. Prioritering av de olika urvalskriterierna för kund 2 är visat inom parantes.*

Utility funktionerna översätter de olika kriterieskalorna till en gemensam nöjdhetsskala mellan 0-100% som kunden bestämmer utifrån de preferenser som han/hon har. När det gäller orienteringen så är den platsberoende, dvs de riktningar i förhållande till norr som kunden föredrar måste bestämmas för varje plats.

Med dessa förutsättningar beräknades vilket alternativ gav det bästa sammanlagda värdet på kundnöjdhet, se Figur 6.14.

| Client 1 | Location | Orientation [deg] | Floors | Horizontal angles N | NE | E | SE | S | SW | W | NW | Heating/m2 kWh/m2 | Cost EUR/m2 | Rating % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Progress | Brighton | 330 | 8 | 30 | 30 | 5 | 0 | 0 | 0 | 5 | 30 | 17.66 | 2929.64 | 80.05 |
| Optimal | Göteborg | 60 | 8 | 20 | 20 | 30 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18.67 | 2885.43 | 88.16 |

| Client 2 | Location | Orientation [deg] | Floors | Horizontal angles N | NE | E | SE | S | SW | W | NW | Heating/m2 kWh/m2 | Cost EUR/m2 | Rating % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Progress | Brighton | 330 | 8 | 30 | 30 | 5 | 0 | 0 | 0 | 5 | 30 | 17.66 | 3314.11 | 0.00 |
| Optimal | Stockholm | 30 | 3 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 29.20 | 4969.26 | 88.60 |

*Figur 6.14: Utvärdering av alternativ i konfiguratorsystemet enligt Smart metoden.*[49]

För kund 1 blev det ett 8 våningshus placerad i Göteborg och för kund 2 ett trevåningshus i Stockholm. För mer information hänvisas till Rácz och Olofsson[49].

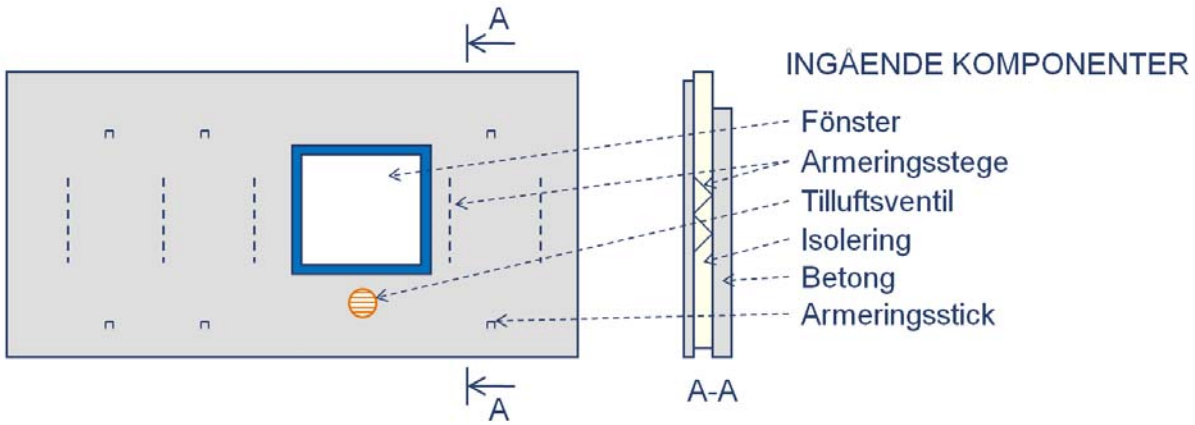
## 6.6 Modularisering och effektsamband - konceptutveckling av en betongyttervägg med avseende på energi- och fuktprestanda

### 6.6.1 Bakgrund

Detta avsnitt beskriver praktiska erfarenheter och tillämpning av tidigare beskrivna arbetssätt för industriella koncept. Fallstudien baseras på ett fall där en producent av prefabricerade betongsandwichelement ställs inför behovet att förbättra dess energiprestanda. I detta avsnitt kommer denna producent fortsättningsvis benämnas producent.

Som beskrivits i kapitel 3 bildar vanligtvis en basmodul tillsammans med ett antal olika variantmoduler en konfigurerad produkt. Variantmodulerna i sin tur kan delas upp i komponenter.

Ett exempel på en variantmodul i en produktplattform är ett prefabricerat betongsandwichelement. Denna variantmodul innehåller ett antal komponenter vilket exemplifieras nedan i Figur 6.15.

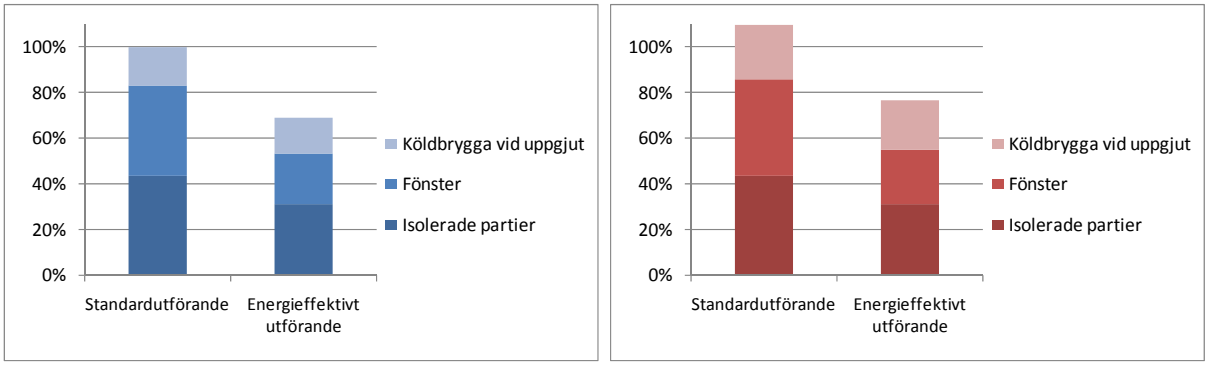



*Figur 6.15: Schematisk beskrivning av variantmodul ur producentens perspektiv*

I detta fall avses en komponent vara en produkt som kan tillhandahållas av olika leverantörer; exempelvis fönster. Fönstret i sig kan i sin tur delas in i ett antal ingående komponenter exempelvis; Karm, båge, glas, gas, beslag osv. I detta fall är fönstret en komponent som köps in av en leverantör. Vid inköp ställs ett antal funktionskrav på fönstret, hur leverantören uppfyller funktionskraven har producenten inte insyn i och inte heller kompetens att bedöma om detta görs på ett kostnadseffektivt sätt eller inte. Därför specificeras funktionskraven på en övergripande komponentnivå; fönster, därefter upphandlas fönster i konkurrens för att säkerställa att det mest kostnadseffektiva fönstret används.

Producenten har två olika varianter av modulen; den kan levereras i standardutförande eller i ”energieffektivt” utförande, där det energieffektiva utförandet har 30 % lägre transmissionsförluster jämfört med standardutförandet. Producenten har sedan tidigare inventerat transmissionsförlusterna för modulen och kommit till slutsatsen att det mest kostnadseffektiva sättet att uppnå 30 % lägre transmissionsförluster är genom att leverera moduler med en isolering med lägre värmekonduktivitet och fönster med lägre U-värden. Detta kräver ingen omställning av produktion, enbart förändrat inköp. En fördelning av variantmodulernas transmissionsförluster redovisas i Figur 6.16. Vid en upp-

datering av kundkrav/kundönskemål har det identifierats att storleken på fönster behöver ökas för att tillgodose marknaden. Detta innebär ökade transmissionsförluster, se Figur 6.16, dels på grund av ökande fönsterarea, dels på grund av ökad mängd köldbrygga.



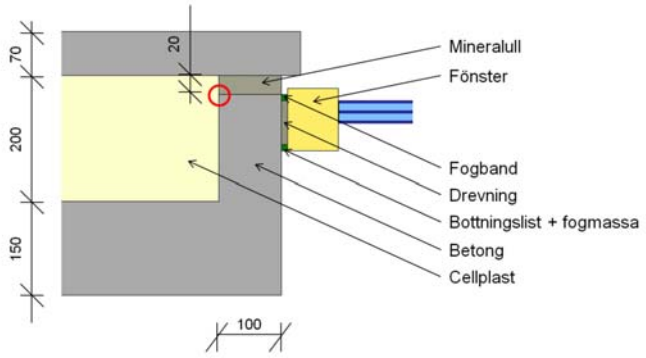

*Figur 6.16 Relativ fördelning av transmissionsförluster för variantmoduler*
*T v: Grundfall avseende fönsterstorlek. T h: Uppdatering med större fönster, fördelning relativt mot grundfallet.*

I samband med uppdatering av kundkrav har även nya krav avseende energihushållning från Boverket identifierats vilket innebär att transmissionsförlusterna behöver minska.

Då isolering och fönster redan är bästa tillgängliga i det energieffektiva utförandet utreds därför möjligheten för att minska köldbryggan vid anslutning mot fönster. Förändring av anslutningen utreds ur fukt- och energiperspektiv.

### 6.6.2 Beskrivning av anslutning och metod för utvärdering

Ytterväggskonstruktionen består av två betongskivor med mellanliggande cellplast. För att möjliggöra fönstermontage i väggöppningar görs normalt ett ”uppgjut” av betong runt fönstersmyg. Uppgjutets kontakt med ytterskiva bryts av 20 mm mineralull. Denna lösning anses vara robust och fuktsäker, främst baserat på kvalitativ bedömning, men utgör en stor köldbrygga. En schematisk bild av anslutning redovisas i Figur 6.17.




*Figur 6.17 Anslutning mellan fönster och betongsandwichvägg*

Vid utvärdering av nya alternativ/förbättringar följs generellt arbetsgången som beskrivs i Figur 6.18.

*Figur 6.18 Arbetsgång*

Energiprestanda för köldbryggan kvantifieras genom att beräkna köldbryggans transmissionsförlust, $\psi_i$, (W/mK). Fuktprestanda kvantifieras genom att beräkna temperatur (°C) och fukttillstånd, RF, (%) i det som bedöms vara en utsatt punkt. Vilket markerats med en röd ring i Figur 6.17.

För att undersöka möjlighet till att förbättra anslutningen samt undersöka eventuella effektsamband görs beräkningar där betonguppgjutets/köldbryggans bredd beräknas för bredderna 10 mm, 30 mm och 100 mm (grundfall) i kombination med varierad tjocklek mineralull som skiljer uppgjut från ytterskiva. Tjockleken på mineralullen varieras mellan 10 mm, 20 mm (grundfall) och 30 mm.

Beräkningar för att fastställa köldbryggans storlek genomförs med HEAT2 7.1. Beräkningar för att beräkna temperatur och RF genomförs med analysprogrammet Vadau[50]. Innan beräkningar genomförs fastställs målvärde och tillåten variation av prestandatalen $\psi_i$, RF och °C enligt Tabell 6.3. Ett dimensionerade vinterfall för beräkning och temperatur och RF väljs.

*Tabell 6.3 Målvärden och tillåten variation*

| | | Energiprestanda = EP, $\psi_i$ (W/mK) | Fuktprestanda = FP, RF (%) | Temperaturprestanda = TP, T (°C) |
|---|---|---|---|---|
| Målvärde | | 0,10 | 70 | 5 |
| Realistisk/tillåten variation | Förbättring | -0,075 | -10 | +5 |
| | Försämring | +0,075 | +15 | -5 |

Baserat på fastställda målvärden och tillåten variation kan enkla linjära värderingsfunktioner bestämmas som redovisas nedan (Ekvation 1, Ekvation 2 och Ekvation 3) baserat på att vid bästa prestanda skall värdet av funktionen bli 1 och vid lägsta tillåtna prestanda skall värdet av funktionen bli noll.

$$EP(\psi_i)\begin{cases}(1{,}17-6{,}67\psi)k_{EP} & \text{om } \psi_i \leq 0{,}175\\ 0 & \text{om } \psi_i > 0{,}175\end{cases} \qquad \textit{Ekvation 1}$$

$$FP(RF)\begin{cases}(3{,}4-0{,}04RF)k_{FP} & \text{om } \leq 85\\ 0 & \text{om } > 85\end{cases} \qquad \textit{Ekvation 2}$$

$$TP(°\text{C})\begin{cases}(0{,}1°\text{C})k_{TP} & \text{om } °\text{C} \geq 0\\ 0 & \text{om } °\text{C} < 0\end{cases} \qquad \textit{Ekvation 3}$$

Faktorn *k* är en enhetslös faktor mellan 1 och 5 som används för att göra justeringar mellan prestandaparametrar baserat på hur stor konsekvensen av förväntad prestanda underlåtenhet, där 1 motsvarar liten konsekvens och 5 största konsekvens. I detta fall värderas prestandaparametrarna EP och FP till 3 och TP till 1.

[50] Nilsson, L.-O. & Sjöberg, A. (2007) *Datorverktyget Vadau*, sektion 6.4 i ”Fuktmätning i golv med golvvärme. Etapp II: Täta golvbeläggningar. Rapport TVBM-3140, Avd Byggnadsmaterial, Lunds Tekniska Högskola.

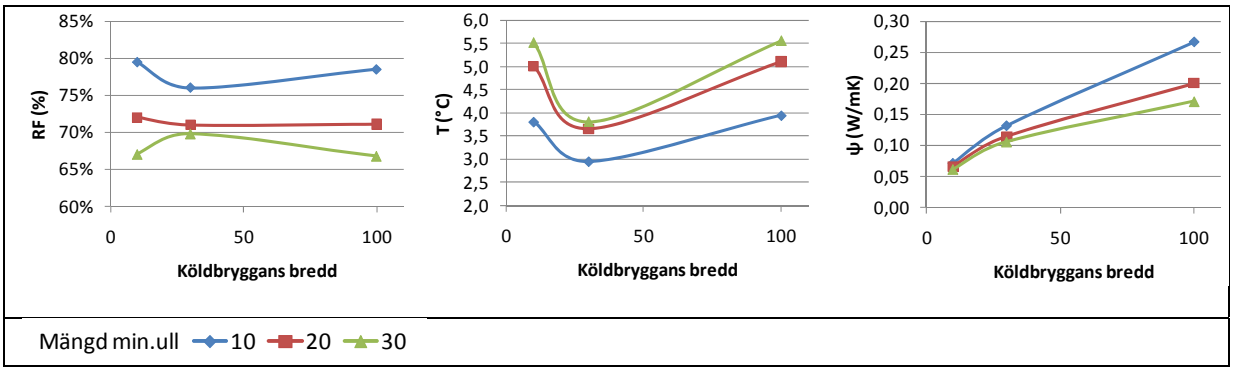
För att fastställa det totala prestandautfallet, P, av respektive alternativ som utvärderas används Ekvation 4.

$$P = \begin{cases} \dfrac{EP(\psi_i)}{\sum k} + \dfrac{FP(RF)}{\sum k} + \dfrac{TP(°C)}{\sum k} & \text{om} \quad P(\psi_i) \cdot FP(RF) \cdot TP(°C) > 0 \\ 0 & \text{om} \quad P(\psi_i) \cdot FP(RF) \cdot TP(°C) \leq 0 \end{cases}$$

*Ekvation 4*

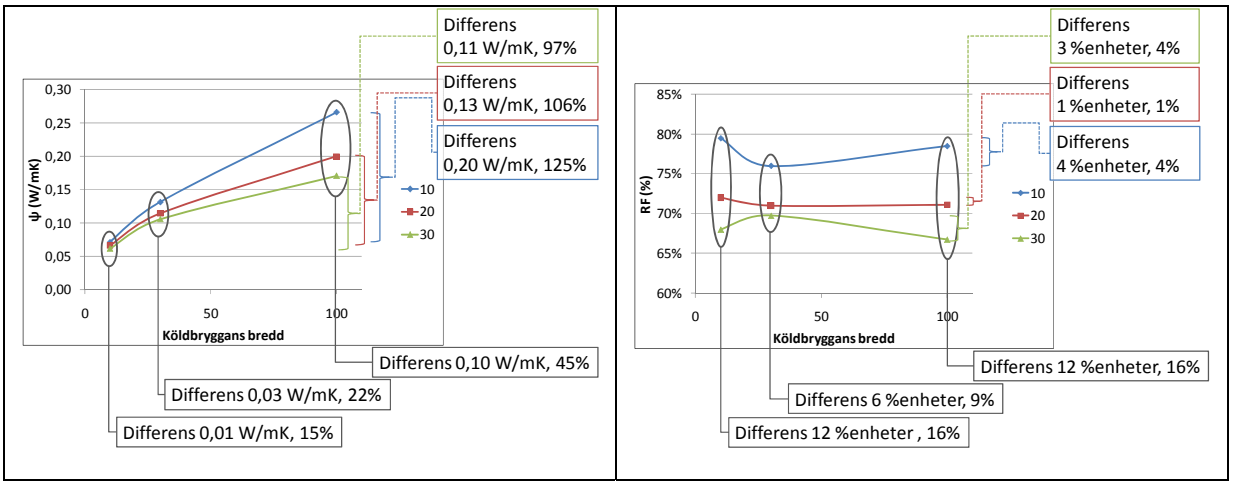
### 6.6.3 Resultat

Resultat från de olika beräkningarna avseende relativ fuktighet, temperatur och effektförlust redovisas i Figur 6.19. Visar att de olika prestandaindikatorerna påverkas olika mycket, dels i absoluta tal, dels av olika förändringar.




*Figur 6.19 Resultat från beräkningar. Från vänster till höger; relativ fuktighet, temperatur, effektförlust*

I Figur 6.20 redovisas en analys av hur stor påverkan variation av köldbryggans bredd alternativt mängden mineralull har på prestandaindikatorerna. Avseende energiprestanda så har mängden mineralull som störst påverkan om köldbryggans bredd är 100 mm. Det är då möjligt att minska energiförlusten på grund av köldbrygga med 45 %. Större påverkan har dock en minskning av köldbryggans bredd. Vid grundfallet, 20 mm mineralull, så är det teoretiskt möjligt att minska energiförlusten med drygt 100%. Avseende fuktprestanda så är förhållandet det omvända. Mängden mineralull har nära obetydlig påverkan på fuktprestandan. Köldbryggans bredd har större påverkan.

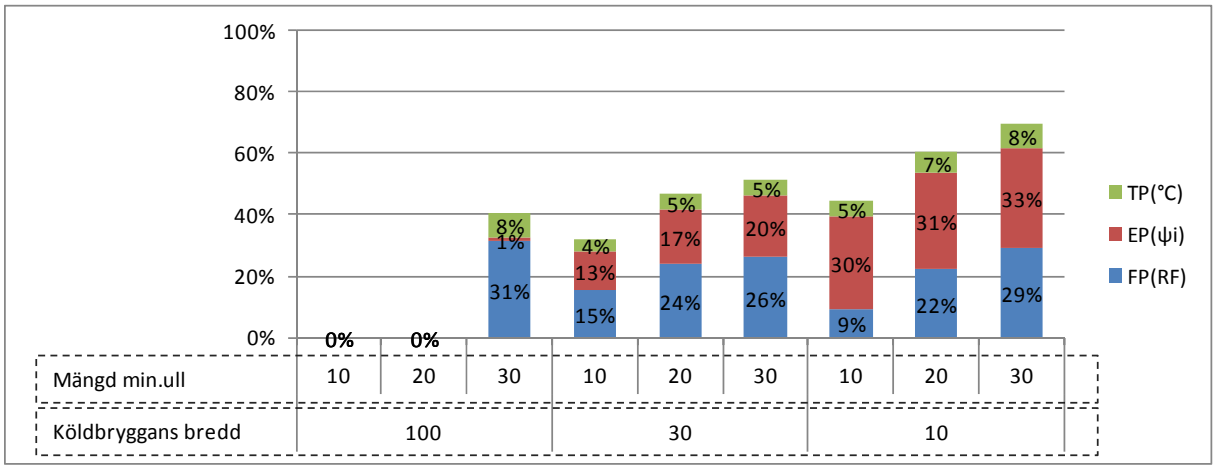



*Figur 6.20 Analys av effektsamband*

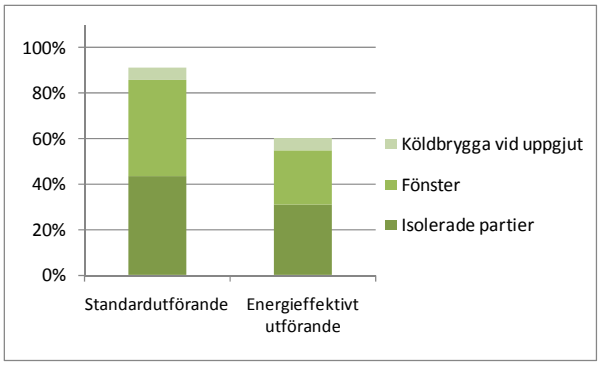
Det totala prestandautfallet redovisas i Figur 6.21. Grundfallet resulterar i en större köldbrygga än vad som är godkänt enligt kriterierna som fastställts i Tabell 6.3. Därför ger grundfallet i denna ana-

lys, P=0. Att inte ändra köldbryggans bredd samtidigt som mängden mineralull ökas till 30 mm ger det bästa alternativet avseende temperatur- och fuktprestanda. Men med mycket dålig energiprestanda.

Att minska köldbryggans bredd till ett minimum samtidigt som mängden mineralull maximeras ger ett något sämre utfall på fuktprestanda. Dock så ger denna lösning det högsta utfallet på energiprestanda och temperaturprestanda. Det totala prestandautfallet är som högst om denna lösning väljs. Vid nyttjande av denna lösning minskar transmissionsförlusterna för hela modulen med 9 %-enheter, se Figur 6.22, trots att fönsterstorleken har ökats, jämför med Figur 6.16.




*Figur 6.21 Resultat från beräknat totalt prestandautfall*




*Figur 6.22 Relativ fördelning av transmissionsförluster för variantmoduler. Fördelning relativt mot grundfallet i Figur 6.16.*

### 6.6.4 Diskussion

Fallstudien visar att hög energiprestanda och fuktprestanda ej behöver stå i motsats till varandra. Den valda lösningen gav knappt märkbar försämring av fuktprestanda samtidigt som energiprestandan förbättrades väsentligt. Vidare så kunde anslutningen förbättras utan att påverka det arkitektoniska uttrycket.

En observation som gjordes i detta arbete var att en annan typ av modularisering krävdes än normalt. Traditionellt är modularisering gjord med avseende på produkt, geometri eller material. I detta

fall gjordes modulering med avseende på funktion vilket innebar att väggen delades upp i två delar; den som krävdes för infästning av fönster och tillika köldbrygga samt övrig del av vägg.

Att nyttja denna metodik ger ett bra diskussionsunderlag för beslutsfattare. På ett transparent sätt ges en övergripande bild av olika alternativ där det tydligt kan framgå om ett alternativ är mycket bra ur en aspekt men mycket sämre ur en annan. Dock så kan arbetet vara tidskrävande. Det gäller dels gällande den mängd simuleringar och beräkningar som kan krävas, dels arbete med att definiera realistiska målvärden och tillåten variation av dessa. För detta krävs erfarenhet. På grund av detta kan det vara svårmotiverat för ett byggprojekt att genomföra denna typ av analyser i unika byggprojekt vid utvärdering av alternativa lösningar. Metoden lämpar sig dock mycket väl för industriellt byggande då detta baseras på att man skapar tekniska plattformar där en stor del av de tekniska lösningarna, komponenter och basmoduler är definierade. Då det är av största vikt att dessa är så nära optimalt utformade som möjligt så kan denna typ av analys med fördel genomföras.

Då det görs för att definiera ett industriellt  koncept behöver de bara genomföras en gång och säkerställer därmed att nära optimala lösningar används.

# 7 Slutsatser

## 7.1 Detaljplaner

Kommunikation och samarbete mellan byggherre, byggentreprenör och planhandläggare bör förbättras. Entreprenörer bör ta del av planhandläggares erfarenheter samt diskutera krav som kan försvåra för ett industriellt konceptbyggande. Handläggarna kan också skaffa sig större kunskap om de industriella byggkoncepten, t ex. genom att konceptägare informerar planhandläggare om dess fördelar och begränsningar. På så sätt kan onödiga begränsningar i detaljplanen som inte inverkar menligt på stadsutformningen undvikas.

Framförallt måste utvecklare av industriella byggande utveckla mer geometriskt flexibla byggkoncept än idag så att de bättre kan uppfylla framtida detaljplaners bestämmelser och intentioner. Det går ofta utan större problem att bygga nya kvarter i förorterna med dagens byggkoncept. Däremot är det svåra i stadskärnan där det handlar om att förtäta staden och huskropparna behöver anpassas till geometrin på tillgängliga enstaka tomter.

## 7.2 Kravhantering

Resultatet visar på svårigheterna vad gäller konceptutveckling mot marknadskrav när kravbild och kravnivåer är så fragmenterade och olika för olika kravställare. Dessutom kan öppenhet med krav och kravbild vara begränsad. Kommuner har en likartad kravbild, men olika kravnivåer. Tredjepartscertifieringar har också likartat fokus men skiljer ändå i hur man bedömer och rangordnar. En övervägande del av kraven ska beaktas i projekteringsskedet.

I fallstudien visualiserades på ett enkelt och visuellt överskådligt hur väl ett industriellt koncept möter krav från en enskild kravställare. Jämförelsen visar också i vilka processer som kraven ska uppfyllas och kan ge en fingervisning om kravbilden går att uppfylla till en rimlig kostnad. Dessutom visar studien att de flesta kraven bör beaktas vid utvecklingen av konceptet.

En slutsats som man kan göra är att koncept som har en högre grad av standardisering (produktvarianter) så måste byggherren tydligt tjäna tid, pengar och kvalitet på att anstränga sig för att anpassa sitt projekt till plattformen. Kravhantering ersätts med en säljprocess där byggherren/kunden har att ta ställning till ett antal val. Görs oförutsedda avsteg från ett sådant koncept förlorar man snabbt vitsen med industrialiseringen, se Figur 5.2.

## 7.3 Geometriska ändringar i ett standardiserat koncept

Detta verkliga fall visade att det var möjligt att ta hänsyn till specifika brukarkrav i projektutvecklingen trots konceptförändringar skall helst göras i en utvecklingsprocess eftersom konsekvenserna av förändringarna var måttliga. Dock visar ett sådant här till synes enkelt exempel att det är många delar som påverkas och arbetet blir relativt omfattande.

I koncept som ModernaHus finns det ett begränsat utrymme för förändringar, eftersom boarean ofta är optimerad. Det bästa hade vart i detta exempel om utvecklarna redan från början förutsett detta och skissat på alternativet med spegelvänd bottenplan och genom modulariseringsprinciper kanske till priset av en något mindre optimerad boarea.

## 7.4 Prestandaanalyser och konfiguratorer i ett projektutvecklingsskede

I projektutvecklingen, d v s när konceptet skall anpassas till kund och plats, kan prestandaanalyser förenklas avsevärt. En stor del av konceptets egenskaper eller indata kommer att vara gemensamt och på förhand känt, d v s endast de egenskaperna som varieras (påverkas av kundanpassningen) behöver definieras. I fallstudien demonstrerades detta med en utvecklad applikation för energianalyser i ett projektutvecklingsskede.

Även om prestandaanalyser av alternativa utformningar av industriella koncept kan förenklas kan framtagandet av det optimala alternativet vara komplicerat särskilt om urvalskriterier och prestandaindex är många och ibland motsägelsefulla. En förenklad systemmodell utvecklades i form av en konfigurator som kombinerades med ett beslutstödssystem som genom kriterier fastställda av kunden tog fram en optimal kombination ur et stort antal valmöjligheter.

## 7.5 Konceptutveckling med avseende på energi- och fuktprestanda

Fallstudien visar att hög energiprestanda och fuktprestanda ej behöver stå i motsats till varandra. Den valda lösningen av de konceptutvecklade betongväggen gav knappt märkbar försämring av fuktprestanda samtidigt som energiprestandan förbättrades väsentligt. Vidare så kunde anslutningen förbättras utan att påverka det arkitektoniska uttrycket. En observation som gjordes i detta arbete var att en annan typ av modularisering krävdes. Traditionellt är modularisering gjord med avseende på produkt, geometri eller material. I detta fall gjordes modulering med avseende på funktion vilket innebar att väggen delades upp i två delar; den som krävdes för infästning av fönster och tillika köldbrygga samt övrig del av vägg.

Metodiken som utvecklades i fallstudien lämpar sig mycket väl i ett industriellt byggande baserat på tekniska plattformar där en stor del av de tekniska lösningarna, komponenter och basmoduler är definierade. Då det är av största vikt att dessa är så nära optimalt utformade som möjligt så kan denna typ av analys med fördel genomföras.

## 7.6 Sammanfattande slutsatser och fortsatt utveckling

Sedan efterkrigstidens massproduktion av bostäder (Miljonprogrammet/Rekordåren) har industriellt byggande ofta förknippats med storskaliga bostadsområden och stora begränsningar i utformning. Entreprenörer och konceptutvecklare måste därför arbeta mer aktivt för att utveckla mer flexibla koncept och marknadsföra denna flexibilitet för att bryta denna föreställning genom standardisering av processer och komponenter som inte påverkar utformningen. Samtidigt så måste konceptägaren ha kontroll över vilka detaljlösningar som projekteras. Det är svårt att lansera utvecklade byggkoncept i utförandeentreprenader där byggherren redan har skissat på en färdig lösning tillsammans med en arkitekt innan konceptägaren kommer in i projektet

I Japan som ofta betraktas som ett föregångsland vad gäller industriellt byggande så ligger marknadsandelen för industriella byggsystem sedan 1996 kring 15-25%.[51] De flexibla och mer öppna byggsystemen har också en större marknadsandel jämfört med de mer slutna volymbaserade kon-

[51] Andersson, R., Ekholm, A., Jonsson, C., Molnar, M., Larsson, R., (2010) Inspiration och innovationer i Japan, *Samhällsbyggaren*, 3, 2010

cepten. Här har också materialleverantör spelat en stor roll vid utveckling av olika industrialiserade koncept. [52]

Vi tror att industrialiserat byggande har en framtid men att det kommer under en lång tid att ske i avgränsade nischer medans de stora förändringarna kommer att ske när dagens platsbyggda flerbostadshus övergår till i att allt högre grad baseras på byggsystem och plattformstänkande. En intressant utveckling blir när standardisering av komponenter och processer integreras i plattformar där effektivitetsvinster kan göras i alla led i byggprocessen från projektering och inköp till produktion och montering på plats.

[52] Andersson, R., Ekholm, A., Jonsson, C., Molnar, M., Larsson, R., (2010) ICT och BIM i Japanska byggindustrin, *Samhällsbyggaren*, 6, 2010

# 8 Referenser

Akao, Y. Editor, (1990), *Quality Function Deployment: Integrating Customer Requirements into Product Design.*, Productivity Press.

Alhbom, H, 2011, Teknik kan säljas på licens*, Ny Teknik om värdet på plattformar*, http://www.nyteknik.se/rss/nyhetsbrev_it_telekom/nyhetsbrev_it_telekom_annonser/article3271123.ece

Andersson R., Apleberger L., Molnár M. (2010)*, Erfarenheter och effekter av industriellt byggande i Sverige*, Malmö: Sveriges byggindustrier (Teknisk rapport 0905)

Andersson, R., Ekholm, A., Jonsson, C., Molnar, M., Larsson, R., (2010) Inspiration och innovationer i Japan, *Samhällsbyggaren*, 3, 2010

Andersson, R., Ekholm, A., Jonsson, C., Molnar, M., Larsson, R., (2010) ICT och BIM i Japanska byggindustrin, *Samhällsbyggaren*, 6, 2010

Baker, D., Bridges, D., Hunter, R., Johnson, G., Krupa, J., Murphy, J. and Sorenson, K. (2001) Guidebook to Decision-Making Methods, WSRC-IM-2002-00002, Department of Energy, USA

Christopher, M. (2005) *Logistics and supply chain management, creating value-adding networks*, 3rd Ed. Financial Times, Prentice Hall

Christopher, M., (2000) The Agile Supply Chain - Competing in Volatile Markets, I*ndustrial Marketing Management* 29, 37–44

Collin A., Eckerby, J., Definitioner och beskrivning av affärsmodellerna i industriellt träbyggande, i *Byggandet av flervåningshus i trä*, eds Stehn, L., m. fl, Teknisk Rapport 2008:18, Luleå tekniska universitet

Dursun, G., 2010. *Sambandet mellan det industriella byggandets förutsättningar och detaljplaner*, Examensarbete, Luleå tekniska universitet

Erens, F and Verhulst, K., (1997), Architectures for product families, *Computer Industry*, 33, 165–178

Erixon, G. (2007) *Presentation, workshop om modularisering*, Lean Wood Engineering, 18 sept 2007, http://itspolopoly.its.ltu.se/cms_fs/1.29936!/presentation%20gunnar%20erixon%202007-09-18.pdf

Erixon, G., (1998), *Modular Function Deployment - A Method for Product Modularisation*, Doctoral thesis, TRITA-MSM R-98-1, The Royal Institute of Technology, Sweden

Haglund, F. (2010), *Tekniska bostadsplattformar: erfarenheter av användning och tillämpning i projekteringen*, Examensarbete 2010:095, Luleå tekniska universitet.

Harlou, U (2006), *Developing product families based on architectures*, Doctoral thesis, Department of Mechanical Engineering, Technical University of Denmark

Harlou, U. and Nielsen, M. P. (1999), *Modeling product families in configuration systems*, Master thesis, Department of Mechanical Engineering, Technical University of Denmark

Hendriz, L., (2011), *Strukturerad projektutveckling och energiklassning av bostäder*, http://www.jm.se/upload/Om%20JM/Kapitalmarknadsdag/Lennart%20Henriz_2011.pdf

Hoekstra, S.J. & Romme, J.H.J.M. (1992), *Integral logistic structures: developing customer oriented goods flow*, McGraw Hill, London

Hvam L., Mortensen, N. H., Riis, J. (2008) *Product customization*, Springer verlag Berlin

Häkkinen T, Vares, S., Huovila, P.,Vesikari, E., Porkka, J., Nilsson, L., Togerö, Å., Jonsson, C., Suber, K., Andersson, R., Larsson, R. and Nuorkivi, I., (2007): *ICT for whole life optimization of residential buildings*, VTT research notes 2401, ISBN 978-951-38-6948-9, VTT, Esboo

InPro (2011), *Open Information Environment for Knowledge-Based Collaborative Processes throughout the Lifecycle of a Building*, http://www.inpro-project.eu/main.asp

Jiao, J., Simpson, T., W., Siddique Z., 2007, Product family design and platform-based product development: a state-of-the-art review*, J Intell Manuf*, vol 18:5–29

Johnsson, H., (2011) *Plattformar i ett industriellt byggande*, LWE konferens i Stockholm, 26-27 oktober, http://www.ltu.se/centres/lwe/Konferenser

Johnsson, H., Persson, S., Malmgren, L., Tarandi, V., & Bremme, J. (2006). *IT-stöd för industriellt byggande i trä*, Teknisk rapport 2006:19, Luleå tekniska universitet

Johnsson, H., Stehn, L., Lessing J., Engström, D. (2011), *Industriellt husbyggande i Sverige*, kompendium i kursen W7004B Industriellt byggande, Luleå teknisk universitet.

Jongeling, R. (2008). *BIM istället för 2D-CAD i byggprojekt: en jämförelse mellan dagens byggprocesser baserade på 2D-CAD och tillämpningar av BIM*, Research report 2008:04, Luleå tekniska universitet.

Larsson, R., (2008), *Platsgjutna stommar för flerbostadshus*, Rapport TVBK-3057, Avdelningen för Konstruktionsteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund

Lessing, J. (2006) *Industrialised House Building*, Licentiate thesis, Div. of Design Methodology, Lund Institute of Technology, Lund

Lu, W., Olofsson, T., Stehn, L. 2011. A lean-agile model of homebuilders production system, *Construction Management and Economics,* 29: 1, 25-35

Malmgren L, Jensen P, Olofsson T (2010) Product modeling of configurable building systems - a case study, *ITcon* Vol. 15, pg. 354-368, http://www.itcon.org/2010/27

Markides, C. (1999). *All the Right Moves: A Guide to Crafting Breakthrough Strategy*. Boston, Harvard Business School Press, 1999.

Naylor, J.B., Naim, M.M., Berry, D., 1999. Leagility: Integrating the lean and agile manufacturing paradigms in the total supply chain, *Int. J. Production Economics* 62 107-118

Nilsson, L.-O. & Sjöberg, A. (2007) *Datorverktyget Vadau*, sektion 6.4 i ”Fuktmätning i golv med golvvärme. Etapp II: Täta golvbeläggningar. Rapport TVBM-3140, Avd Byggnadsmaterial, Lunds Tekniska Högskola

Osterwalder, A., Pigneur, Y., Tucci, C. L. (2005), Clarifying business models: origins, present, and future of the concept, *Communications of the Association for Information Systems*, 15, 1-40

Porter, M.E., 1980. *Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competitors*. The Free Press, New York.

Rácz, T., Olofsson, T., (2011), Decision support for configuration systems of industrialized constructions, *Proc 28th International Symposium on Automation and Robotics in Construction*, ISARC2011, June 29- July 2, 2011, Seoul, Korea

Racz, T., Rönneblad, A., & Olofsson, T. (2010). Energy analysis automation for industrialized construction processes. in *Proceedings of the CIB W78 2010*: 27th International Conference -Cairo, Egypt, 16-18 November

Rácz, T., Rönneblad, A., Olofsson, T., Energy Analysis Automation for Industrialized Construction Processes, *Proceedings of the 27th CIB W078 International Conference on Applications of IT in the AEC Industry*, Cairo, 2010, http://pure.ltu.se/portal/files/5218075/Article

Robertson, D., & Ulrich, K. (1998). Planning product platforms. *Sloan Management Review* 39(4), 19–31.

Saaty, T.L. (1980) *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw Hill

Schade, J., Olofsson, T. & Schreyer, M. (2011): Decision-making in a model-based design process, *Construction Management and Economics*, 29:4, 371-382

Segerstedt, A., & Olofsson, T. (2010). Supply chains in the construction industry. *Supply Chain Management*, 15(5), 347-353

Suh, N. (1990) *The principles of design*, Oxford University Press, New York

Suh, N., (1998), Axiomatic Design Theory for Systems, *Research in Engineering Design*, 10, 189-209

Svanerudh, P., (1998), *Förkonstruerade byggnader - systemtänkande för en effektivare byggprocess*, Licentiatuppsats 1998:04, Luleå tekniska universitet

Ulrich, K.T. and Eppinger, S.D. (2000) *Product design and development*, McGraw-Hill, New York

VIP-Energy (2011). http://www.strusoft.com/index.php/sv/produkter/vip-energy: 2011-09-20

Åkerlund, S. (2010) Lindbäcks Bygg utvecklar byggprocessen med lean, *Byggindustrin* 19/2010