



*Foto: Lasse Åsgård*

Koncept för fabrikslinor i industriellt byggande

## **Förord**

Projektet har finansierats av NCC Construction Sverige AB samt Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond, SBUF. Projektet har genomförts av en projektgrupp bestående av Christina Claeson-Jonsson och Dan Engström, NCC Teknik, Magnus Widfeldt, IVF samt Åke Svensson, Randek BauTech. Vi vill passa på att tacka Ola Jönsson, NCC Teknik som hjälpt till med rapporten samt kollegerna i EU-projektet ManuBuild för stöd och inspiration.

Göteborg, januari 2009

Christina Claeson-Jonsson, NCC Teknik

## Sammanfattning

Byggsektorn brottas med en rad problem såsom låg produktivitet, ökade kostnader och kvalitetsbrister. Samtidigt ställer omvärlden krav på hållbarhet och energieffektivitet. En möjlig lösning skulle kunna vara att arbeta med att industrialisera byggprocesserna.

Syftet med denna rapport är att tillhandahålla beslutsunderlag för utveckling av industriella tillverkningsprocesser och i samband med det även ge råd och tips om de möjligheter och risker som finns med ett sådant framtida byggande.

Det finns i dagsläget flera utmaningar inom industrin för framtagning av fabrikslinor. De största är att kunna kombinera hög produktivitet med hög flexibilitet samt att även kunna införa nya tillverkningsmetoder och teknologier. Både externa och interna krav måste uppfyllas. De externa inkluderar bland annat:

- Hållbarhet med fokus på energibesparing, livscykelkostnader, materialval samt reducering av spill
- Högre ställda krav på kvaliteten genom hela byggprocessen både för prefabricerat och för platsbyggt
- Bättre arbetsmiljö i kombination med bättre produktivitet

De interna krav som finns, idag och i framtiden, är framförallt relaterade till:

- Kostnadsreducering och kortare ledtider
- Större valfrihet och mer komplexa system med olika kombinationer av material och/eller nya material
- Hållbarhet och miljövänligt tänkande
- Arbetsmiljön i fabriken

Ett viktigt val för ett företag är vilken tillverkningsstrategi som skall bedrivas, detta med hänseende till hur många olika produkter som skall tillverkas, tillverkningsvolym och vilka krav marknaden ställer på producenterna.

Slutligen kan dock konstateras att en industrialiserad fabrikstillverkning ställer höga krav på de övergripande processerna och att stödverktygen används och används korrekt. Att bara flytta tillverkning inomhus innebär inte automatiskt att man får en industriell produktion med dess fördelar!

<b>1. BAKGRUND OCH SYFTE.....</b>	<b>5</b>
1.1 BAKGRUND.....	5
1.2 SYFTE.....	5
<b>2. EN INTEGRERAD HELHETSSYN.....</b>	<b>6</b>
2.1 LEAN PRODUCTION.....	6
2.2 LEAN CONSTRUCTION.....	7
<b>3. INDUSTRIALISERINGSPROCESSEN.....</b>	<b>8</b>
3.1 DRIVKRAFTER FÖR INDUSTRIALISERING.....	8
3.2 INDIKATORER – HINDER FÖR INDUSTRIALISERING.....	9
3.3 INDIKATORER – FRAMGÅNGFAKTORER FÖR INDUSTRIALISERING.....	9
3.4 FÖRÄNDRINGAR I BYGGPROCESSEN.....	10
<b>4. UTFORMNING AV FABRIKSLINOR.....</b>	<b>12</b>
4.1 FÖRDELAR OCH NACKDELAR.....	12
4.2 UTMANINGAR.....	12
4.3 MARKNAD.....	13
4.4 MASS CUSTOMISATION.....	13
4.5 KUNDFOKUS.....	14
4.6 MINIMERA RESURSÄTGÅNGEN OCH ÖKA FLEXIBILITETEN.....	15
4.7 TILLVERKNINGSSTRATEGI.....	15
4.7.1 <i>Projekt</i> .....	16
4.7.2 <i>Funktionellt utformad</i> .....	16
4.7.3 <i>Flödesgrupper</i> .....	16
4.7.4 <i>Linjeutformad</i> .....	17
4.7.5 <i>Kontinuerlig linjeutformad</i> .....	17
4.7.6 <i>Samband mellan tillverkningsvolym och produktvariation</i> .....	17
4.8 LAYOUT.....	18
4.8.1 <i>Byggplatslayout</i> .....	18
4.8.2 <i>Funktionell verkstadslayout</i> .....	18
4.8.3 <i>Linjelayout</i> .....	18
4.8.4 <i>Hybridlayout</i> .....	18
4.8.5 <i>Flexibla tillverkningssystem</i> .....	19
4.9 AUTOMATION.....	19
4.10 INFORMATIONSFLODE.....	20
4.11 EKONOMI.....	20
<b>5. EXEMPEL FRÅN TILLVERKNINGSINDUSTRIN – FLEXIBLA PRODUKTIONSLINOR.....</b>	<b>21</b>
5.1 TILLVERKNINGSFLÖDE FÖR VÄGGPRODUKTION.....	21
5.2 KUNDEN I FOKUS.....	22
5.3 LÄR AV OPERATÖRERNA.....	22
5.4 STEGVIS AUTOMATISERING.....	22
5.5 PRODUKTIVITET BEROENDE PÅ PRODUKTENS KOMPLEXITET.....	23
5.6 FLEXIBILITET.....	24
5.7 TILLVERKNINGSPROCESS.....	25
<b>6. SLUTSATSER.....</b>	<b>27</b>

# 1. BAKGRUND OCH SYFTE

## 1.1 BAKGRUND

Byggindustrins framgång är nödvändig för Sveriges, ja hela Europas, ekonomi och framtid. Den genererar välstånd och arbetstillfällen och är nödvändig för att kunna bygga och bibehålla vår infrastruktur, våra hem och platser där vi kan jobba. Dagens och gårdagens byggnadsverk bildar stommen i vår samhällsmiljö, och blir stegvis en integrerad del av vårt kulturarv.

Det sker för tillfället ett omfattande utvecklingsarbete inom byggbranschen där stort fokus ligger i arbetet med att industrialisera och på så sätt uppnå en effektivare byggprocess. Anledningen är ganska uppenbar, i jämförelse med andra branscher är varken produktivitet eller produktivitetsutvecklingen något att skryta med. Branschen har präglats av kostnads- och därmed prishöjningar medan andra branscher snarare har kunnat sänka sina priser, vilket minst sagt borde tyda på stor förbättringspotential inom byggbranschen. Vi måste sänka byggkostnaderna, minska byggtiderna, höja kvaliteten och öka säkerheten på arbetsplatsen för att kunna överleva som bransch och kunna rekrytera nya medarbetare.

Behovet av nya välgjorda byggnader med hög kvalitet till så låg kostnad som möjligt och som kan skräddarsys efter kundens önskemål – det är en utmaning för en bransch som fortfarande stödjer sig mot en tillverkning ”på plats”, ofta genomförd med ett starkt beroende av yttre förhållanden. Hur ska vi lösa detta problem utan att hamna i det som var negativt i tidigare utvecklingsprojekt så som miljonprogrammet?

Industriella processer och effektivare tillverkningsteknik ses som möjliga lösningar för byggsektorn, eller i ett vidare perspektiv, samhällsbyggnadssektorn. Den nationella byggkommittén, se [www.byggkommitten.se](http://www.byggkommitten.se), lyfter t.ex. fram industriella processer som ett av tre fokusområden, tillsammans med tidiga skeden och livscykelekonomi.

## 1.2 SYFTE

Syftet med denna rapport är att tillhandahålla beslutsunderlag för utveckling av industriella tillverkningsprocesser och i samband med det även ge råd och tips om de möjligheter och risker som finns med ett sådant framtida byggande.

Industriella processer är inget nytt för den fasta tillverkningsindustrin och för att inte behöva uppfinna hjulet på nytt kan byggbranschen i många fall låna tekniker och metoder och mer fokusera på hur dessa kan passas in. Inom industriella processer har fordonsindustrin sedan länge legat i framkant och då framförallt Toyota med deras produktionssystem Lean Production. Det blir därför helt naturligt att granska deras system mer ingående för att urskilja vad som kan vara applicerbart inom byggbranschen.

## 2. EN INTEGRERAD HELHETSSYN

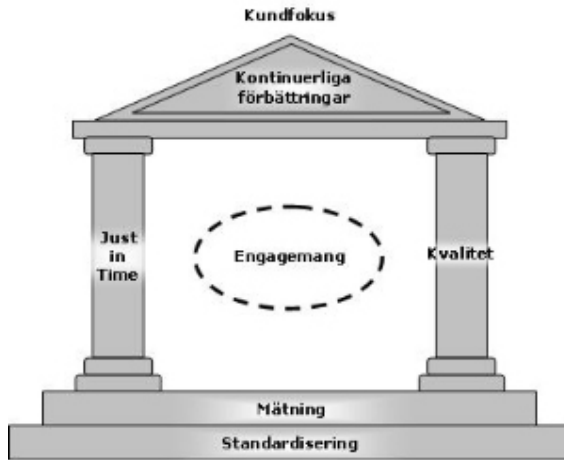
### 2.1 LEAN PRODUCTION

Det japanska produktionssystemet Lean Production började uppmärksammas under 1980-talet. Det stora intresset kan härledas till att Japans andel av bilindustrin gick från ca 1 % år 1955 till ca 30 % år 1980 med Toyota i spetsen. Lean Production är en ledningsfilosofi som inte åstadkoms genom införandet av enkla verktyg utan innebär en helhet, en kultur, som genomsyrar alla medarbetare på olika nivåer inom organisationen. Filosofins strävan är att göra mer med mindre resurser. Toyota har i sitt produktionssystem satt upp 14 olika principer för att uppnå Lean Production.

1. Basera dina beslut på ett långsiktigt tänkande
2. Skapa processflöden som för upp problem till ytan
3. Använd ”pull-strategin”- låt efterfrågan styra för att undvika överproduktion
4. Jämna ut arbetsbelastningen
5. Stoppa processen för att lösa problem – få rätt kvalitet från början
6. Standardisera uppgifter för att kunna förbättra
7. Kontrollera visuellt så att inga fel förblir dolda
8. Använd enbart pålitliga och väl beprövade tekniska lösningar
9. Uppfostra ledare som verkligen förstår arbetet
10. Utveckla exceptionella medarbetare och arbetslag till att följa organisationens filosofi
11. Respektera partners och underleverantörer genom att hjälpa dem att förbättra sig
12. Gå och se med egna ögon för att verkligen förstå situationen
13. Fatta beslut långsamt men genomför dem snabbt
14. Bli en lärande organisation genom att kontinuerligt reflektera och ständigt förbättra

De punkter som Toyota satt upp är varken revolutionerande eller nya när de står var för sig men Lean Production sägs vara den första management teorin som lyckats sammanföra alla punkter till en helhet. Detta ger fördelar till hela organisationen och även för det interorganisatoriska nätverket.

Lean Production brukar även beskrivas som ett tempel där en grundläggande förutsättning är standardisering och mätning. I templet framgår även, genom pelarna, vikten av kvalitet och ett precist materialflöde, och vidare i den övre delen finner vi kontinuerliga förbättringar och kundfokus. Som integrerad del i alla dessa delar ligger ett grundläggande engagemang både från ledningens sida men även från övriga medarbetare.



Figur 1 Lean production illustrerat som ett tempel, från [www.leanforumbygg.se](http://www.leanforumbygg.se)

## 2.2 LEAN CONSTRUCTION

Det är viktigt att förstå att Lean Production är utvecklad för tillverkningsindustrin och att de idéer och modeller som finns inte alltid går att applicera rakt av inom byggindustrin. Det finns dock många grundläggande tankar som går att vidareutveckla och anpassa mot byggbranschen för att kunna uppnå industriella processer och på så sätt en effektivare byggprocess. Med hänvisning till utvecklingen inom bilindustrin blir det därför intressant att genom benchmarking hitta idéer och metoder inom Lean Production som går att applicera inom den mer projektorienterade byggindustrin. Lean Construction har blivit ett samlingsbegrepp för dessa idéer och modeller. Mer information om Lean Construction hittas bland annat på [www.leanforumbygg.se](http://www.leanforumbygg.se).

## 3. INDUSTRIALISERINGSPROCESSEN

### 3.1 DRIVKRAFTER FÖR INDUSTRIALISERING

Samhället har ett antal drivkrafter för industrialisering. Exempel på dessa är:

- Ett behov av ökad produktivitet i byggsektorn, för att minska produktionskostnaderna och öka kapaciteten. Ständiga förbättringar kräver att man har kännedom om sin process – det går inte att hoppa ett lite högre höjdhopp utan att veta var ribban ligger.
- Ökande krav på garanterad kvalitet, transparens och förutsägbarhet. Sådana krav möts bäst av en industriell, automatiserad process.
- Kravet på uthållig utveckling i byggsektorn. Industriell produktion innebär att man sparar energi och material, och att man bättre kan hantera spill.
- Minskad tillgång till arbetare som är skickliga på manuellt arbete. Detta är ett stort hot mot byggsektorn, inte minst i Sverige där vi endast kommer att kunna ersätta varannan pensionerad snickare under åren fram till 2015.
- Motviljan mot att arbeta under hårda och/eller farliga förhållanden på byggplats. Industriellt byggande möter detta behov på ett bra sätt genom att tillverkning och montage sker under kontrollerade förhållanden.

Sedan början av 2000-talet råder en stark trend med fokus på industrialisering av bostadsbyggandet för att reducera kostnader, öka kvaliteten, och utveckla effektiva produktionsmetoder. Industriellt byggande associeras ofta till prefabricering, som är en central del av konceptet, men vid sidan om det krävs det ett flertal andra samverkande delar för att uppnå ett utvecklat industriellt byggande som t.ex. avancerade IT-lösningar och utvecklad logistik.

Det är även viktigt att ha kunden i fokus, särskilt i debatten efter Miljonprogrammet som innebar storskaliga lösningar som långsiktigt inte uppskattades av kunderna. Man måste därför redan från början ha kännedom om kundernas prioriteringar och önskemål och utforma de industriella processerna utifrån detta. Förutom kundfokus är det centralt att behandla industriellt byggande med ett systemtänkande, där olika delområden samverkar med varandra. Bland annat framhävs att processer och metoder struktureras, teknik standardiseras och kunskap återförs till processerna. På så sätt kan systemet kontinuerligt förbättras.

Att systematiskt använda tekniska system och komponenter med olika grad av standardisering, som bildar unika slutprodukter, är en viktig del vid skapandet av industriella processer men än viktigare blir gränssnitten mellan komponenter för att möjliggöra unika sammansättningar av moduler till kompletta produkter. Även arbetsmetoder och processer kan standardiseras, vilket också är ett nyckelområde för industrialisering.

Grundläggande för produktionskoncept och system är att de bygger på långsiktiga och kontinuerliga processer med fokus på kunderna. Användning och arbete med utvecklade tekniska system, produktionssystem, relationer med samarbetspartners, logistik- och inköpsmönster är exempel på andra delområden som kräver kontinuitet och långsiktighet för att fungera optimalt i processerna. En industriell byggprocess ska även utformas så att erfarenheter och kunskap systematiskt kan kopplas till processen. Samverkan mellan olika aktörer i processen måste hela tiden underhållas och utvecklas så att hela värdekedjan fungerar i synergi.



### 3.2 INDIKATORER – HINDER FÖR INDUSTRIALISERING

Några hinder för industrialisering har utkristalliserats som gemensamma för många länder, samhällen och arbetsförhållanden.

- Stängda och icke-flexibla byggsystem kan användas endast i stora byggprojekt, där stora investeringar kan skrivas av på en enda projektekonomi. Anledningen till detta är att samma byggkoncept och utformning inte omedelbart kan appliceras i olika omgivningar och för olika kravspecifikationer. Detta är en av de huvudsakliga faktorerna som hållit industrialiseringen tillbaka efter perioden med massproduktion på 1960- och 70-talen.
- Estetiskt, funktionellt och tekniskt ohållbar utformning och tillverkning av byggnader och produkter.
- Olämpligt utnyttjande av industriella produktionens fördelar när det gäller tillverkningskostnader, -hastighet och -kvalitet.

### 3.3 INDIKATORER – FRAMGÅNGFAKTORER FÖR INDUSTRIALISERING

I några länder har man lyckats övervinna dess hinder. Faktorer som bidrar till att man lyckats med det är:

- Omgivningen är ett postindustriellt informationssamhälle
- Användning av öppen, flexibel systematik
- Effektiv användning av mekanisering och automation i prefabricering
- Användning av olika material och kompositstrukturer som samverkar med varandra
- Skickliga konstruktörer och arkitekter som förstår särigheterna med prefabricering och industrialisering
- Avancerad utbildning av arbetare
- Liberal / generös standardisering som tillåter nya, okonventionella produkter
- En generellt hög nivå i samhället av industrialisering och datoranvändning i projektering, tillverkning och kommunikation
- En tradition av nätverkande mellan företag och organisationer
- Intresse för internationell export av byggprodukter, ingenjörskonst och byggprojekt
- Stor produktion på grund av stort behov av byggnader

För den praktiska implementeringen krävs strategier på 5 till 10 års sikt. Strategierna skall gälla affären, produkten och metoden samt informationssystemen. Modern, framgångsrik industrialisering är inte så mycket en fråga om vad som står i de olika boxarna i ett organisationsschema, som hur man på ett effektivt sätt kommunicerar mellan boxarna – hur de kopplas till varandra. Strategierna skall följas av byggandet av affärsnätverk och konsortier, och därefter av byggandet av byggsystemskoncept som passar nätverken. Koncept kan med fördel beskrivas, utvecklas och testas genom moduldesign och demonstrations/prototypus. Utvecklingen sker typiskt i tre faser:

1. Implementering av befintliga produkter med nya organisationsprocesser, datorstöd och projekteringslösningar
2. Implementering av produkter och metoder som delvis är självutvecklade, under nya organisationsformer
3. Implementering som drar nytta av hela utvecklingsområdets potential

I lyckade bygginitiativ kan man generellt konstatera att man överfört övergripande principer från andra, mer industriellt mogna sektorer. Man har exempelvis arbetat hårt med att skapa ett företagsklimat där dessa frågor tas om hand på allvar. Ofta har man handplockat personalen.

### 3.4 FÖRÄNDRINGAR I BYGGPROCESSEN

Det industriella byggandet fokuserar på kundorientering, kvalitet, effektivitet och produktivitet, produktions- och utvecklingskapacitet. För att nå sådana ambitioner har följande principer och förändringar från konventionellt byggande visat sig goda, jämfört med en traditionell generalentreprenad<sup>1</sup>:

#### **Kundperspektiv**

##### **1. Kundorienterad process och kundstyrt beslutsfattande**

Exempelvis måste beslut kring byggnadens interiör kunna tas av användare/kund i ett sent skede utifrån ett rimligt antal alternativ. En sådan process tillhandahåller lösningar som möter kundens individuella behov samtidigt som den gör det möjligt att planera för faser i produktionen och gör därmed processen snabbare och mer kundstyrd.

##### **2. Tekniken för byggnadens skal och interiör hålls isär**

Detta underlättar anpassningsbarhet och individualitet. Delarna kan utvecklas i olika bolag och möjliggör separation i kundriktning – skalet kan ha ett bolag som kund, interiören kan ha en bostadsrättsförening eller en individ som kund.

##### **3. Planering och urval baseras på prestanda**

Mätbara kriterier och urvalskriterier utnyttjas för byggnadens prestanda och processens värdeskapande.

#### **Konkurrensperspektiv**

##### **4. Affären baseras på processägarens tekniska plattform**

Underleverantörer konkurrerar genom möjligheterna till god implementering av deras tekniska lösningar, som utvecklats i nätverk utifrån processägarens tekniska plattform. Självklart skall produkten ha rätt pris. Men lika grundläggande faktorer för konkurrens är kvalitetsrelaterade faktorer som baseras på egenskaperna hos slutprodukten: prestanda, kvalitet, säkerhet och beständighet, estetik och image, individualitet, modifierbarhet och miljöhänsyn.

##### **5. Utökade kommersiella medel för konkurrens**

Konkurrens som bygger på de kvalitetsrelaterade egenskaperna ovan bidrar till innovation. Men skall man övertyga sin kund om en produkt konkurrensförmåga måste man också utöver pris visa att produkten ger kort tillverknings- och/eller montagetid, en säker och icke störande tillverkningsprocess, lång garantitid och goda underhållsegenskaper. Kan man också visa goda affärsmässiga alternativ om finansiering och samarbete stärker man sin konkurrenskraft.

##### **6. Aktiv forsknings- och utvecklingsverksamhet**

FoU är ett strategiskt område för företag som arbetar i utvecklingsorienterade nätverk, och bör i stora delar ersätta projektspecifik planering. För att säkerställa sitt företags konkurrenskraft bör komponenttillverkaren utveckla konceptet, dess produktionsteknik och -styrning, samt användning inklusive vägledningar. Konkurrenskraften i detta bygger på hur väl man uppfyller kundens prestandakrav jämfört med konkurrensen, vari FoU spelar en viktig roll.

---

<sup>1</sup> Sarja, A (editor): Open and Industrialised Building, E & FN Spon, 1998

## **Produktionsperspektiv**

### **7. Ansvar för system och delsystem, inte för enskilda uppgifter**

Projekt organiseras så att varje företag har ansvar för ett system eller delsystem. Ett företag kan exempelvis vara ansvarigt för projektering, inköp, tillverkning, logistik och montering inklusive det mesta av de verktyg och kompletteringar som krävs på byggsplats för att deras delsystem skall bli en färdig produkt som är en del av byggandens helhet. Systemägaren och arkitekten kan då vara ansvariga för att ha kommunicerat krav som säkerställer delsystemens kompatibilitet.

### **8. Industriell komponenttillverkning**

Det värdeskapande arbetet flyttas från svårkontrollerade arbetsplatser till kontrollerade miljöer i fabriker. Efter prefabricering av komponenter (vilket kan ske parallellt) och eventuellt förmontage, flyttas slutmontaget till en montageplats som även den är skyddad från väder och vind. Automatisering och robotisering är naturliga inslag i fabrik och under utveckling för montageplats. Hög nivå av automatisering är inget ändamål i sig. Utan ett medel att reducera genomflödestiden i de produktionsceller som är tidsmässigt kritiska. Den funktionalitet och individualitet som varje kund kräver åstadkoms genom varierande kombinationer och utföranden av standardkomponenter av produktsystem.

### **9. Tvärdisciplinära montagelag**

Den kommande organisationen på byggsplats är upplagd efter de metoder som krävs för att färdigställa funktionella och produktionsmässiga enheter, inte på traditionella yrkesroller som har repetitiva, monotona uppgifter utan klarlagda gränser för sitt ansvar för helheten. Montagelagen på plats är kunniga inom många discipliner, baserade på de ingående delsystemen. Häri ingå planering av arbetet inom ett givet tidsfönster som en naturlig del.

### **10. Kontinuerligt samarbete mellan aktörer**

Kontinuerligt samarbete inom och mellan företag måste öka, och metodik för återkommande gemensamt arbete måste utvecklas. Detta innebär att man arbetar som återkommande partners i projekt efter projekt vilket ökar produktiviteten, lärandet och möjligheterna till innovation, inte minst i gemensamma utvecklingsprojekt.

## 4. UTFORMNING AV FABRIKSLINOR

### 4.1 FÖRDELAR OCH NACKDELAR

Det finns flera fördelar med att placera sin hustillverkning i fabrik. Genom att förlägga tillverkningen i en fabrik och endast montera på plats förbättras arbetsmiljön och blir säkrare, renare och mer kontrollerad. Ökad grad av automation medför att tunga lyft och oergonomiska arbetsmoment minimeras eller upphör helt. Genom fabrikstillverkning får man även en snabbare produktion. Man kan sammanfatta fördelarna enligt nedan:

- Snabbare produktion
- Mindre störningsmoment för omgivningen kring byggarbetsplatsen
- Behövs inte lika många kvalificerade yrkesarbetare och kompetensen behöver inte vara lika hög tack vare upprepningsmoment
- Tillfälliga och unika lösningar försvinner till fördel med för upprepningsmoment som leder till högre kompetens inom det specifika området
- Det behövs inte mångfunktionella arbetare och det blir också lättare att ersätta och hitta nya yrkesarbetare.
- Bättre kvalitet då det blir betydligt lättare att genomföra kontroller i en fabrik. Det blir också betydligt mer kostnadseffektivt då fel och brister kan upptäckas i ett tidigt stadie.
- Bättre arbetsmiljö med mindre lyft och onaturliga rörelser. Även säkerheten ökar
- Produktionskostnaderna är i högre grad förutsägbara i jämförelse med platsbyggt
- Minskat väderberoende

Man kan dock konstatera att en industrialiserad fabrikstillverkning ställer höga krav på de övergripande processerna och att stödverktygen används och används korrekt. Att bara flytta tillverkning inomhus innebär inte automatiskt att man får en industriell produktion med dess fördelar! En fabrikstillverkning är oftast associerad med höga fasta kostnader och det är nödvändigt att tillverkningen är anpassad efter detta så att denna kostnad inte överstiger de positiva effekterna. Skalfördelar är kritiska när man använder sig av en fast fabriksproduktion. Volym och ständigt arbetsflöde är nödvändigt. Om detta uppnås kan enhetskostnaden med avseende på utformning, produktutveckling och fasta fabriksoverhead hållas nere.

### 4.2 UTMANINGAR

Det finns i dagsläget flera utmaningar inom industrin för framtagning av fabrikslinor. De största är att kunna kombinera hög produktivitet med hög flexibilitet och även kunna implementera nya tillverkningsmetoder och teknologier. Specifika delområden är:

- Integrationen mellan design och fabrikstillverkning – Att kunna skapa system där kundanpassade ritningar (CAD) blir kompatibla med fabrikslinor för hustillverkning
- Att generera nya värdeskapande fabriksceller och fabriksteknologier
- Skapa effektiva materialflöden och därtill en anpassad logistik
- Införa principer och metoder ifrån Lean Production

De som är intresserade av att investera i fabrikslinor är framförallt hus- och komponenttillverkare som ingår i ett informations- och materialflöde och är en del i en större produktionskedja. Deras ingående krav på en fabrikslina är starkt beroende av vilka krav som finns från marknaden. Det är därför av stor vikt att vara påpasslig på de förändringar som sker,

både vad gäller slutkundernas krav men även de krav som finns från samhället i form av lagar och förordningar. Dessa krav kan relateras till nedanstående punkter:

- Hållbarhet med fokus på energibesparing, livscykelkostnader, materialval samt reducering av spill
- Högre ställda krav på kvaliteten genom hela byggprocessen både för prefabricerat och för platsbyggt
- Bättre arbetsmiljö i kombination med bättre produktivitet

Dessa skall således kombineras till de krav som finns, idag och i framtiden, från intressenter av en fabrikslina, vilka är framförallt relaterade till

- Kostnadsreducering och kortare ledtider
- Större valfrihet och mer komplexa system med nya material och/eller olika kombinationer av material
- Hållbarhet och miljövänligt tänkande
- Arbetsmiljön i fabriken

För att kunna möta dagens och framtidens förväntningar krävs därför en bred kompetens och stor kunskap om hur en fabrikslina kan utformas med hänsyn till;

- Hur fabrikslinan ska planeras och utformas så att delkomponenter kan monteras och integreras i ett kundorienterat ordersystem.
- Minska antal ingående delar i fabrikslinan för att underlätta tillverkningen i fabrik och slutligen monteringen på plats
- Materialbeteende

Ett viktigt val för ett företag är således vilken tillverkningsstrategi som skall bedrivas, detta med hänseende till hur många olika produkter som skall tillverkas, tillverkningsvolym och vilka krav marknaden ställer på producenterna.

### **4.3 MARKNAD**

För att kunna utforma industriella produktionssystem för hustillverkning måste hänsyn tas både mot den primära kunden, hus- och komponenttillverkare, men även mot slutkunden som i det här fallet utgörs av konsumenterna på husmarknaden.

Som kraven ser ut idag ska produktionen inte bara ske på ett kostnadseffektivt sätt utan den ska även vara flexibel och kunna erbjuda kundanpassade lösningar för att på så sätt nå en nöjd slutkund. Det ställs därför allt högre krav på variation i produktionen vilket gör att det fokuseras mer och mer på att skapa flexibla produktionssystem. Förutom att uppnå denna kombination ska produktionssystemet även utformas för att kunna leva upp till morgondagens krav och på så sätt undvika att en stor initial investering fort blir inaktuell. Lösningen som efterfrågas är en kundanpassad massproduktion där kunden kan få det bästa från båda delarna. Kunden vill uppleva stor valfrihet med hög kvalitet men fortfarande till det pris och med den hastighet som är sammankopplad med standardiserade lösningar och produkter.

### **4.4 MASS CUSTOMISATION**

För att kunna uppnå dessa krav gäller det att se vilka delar som kan standardiseras och vilka delar som kunden fortfarande rankar högt och som även fortsättningsvis måste gå att individualisera. Det gäller att utföra en noggrann kundvärdesanalys och på så sätt inte tillverka

något som kunden inte efterfrågar. Det blir viktigt att till en början urskilja vad kunden är villig att betala för och därmed värderar som viktigt och samtidigt vilka delar som kunden inte ser som lika viktiga och som därmed kan standardiseras. Detta kan enkelt illustreras från bilindustrin där ett flertal olika modeller ofta bygger på samma grundkomponenter så som bottenplatta, motorblock och transmission men där utsidan och andra synliga detaljer som inredning kan varieras i näst intill oändligt många kombinationer, se Figur 2.



Figur 2 *Golfplattformen utnyttjar grundkomponenter men ändrar interiör etc för kundanpassning [www.wolkswagen.com]*

Det finns många företag som har lyckats att uppnå kundanpassade produkter med ingen eller enbart med en liten merkostnad och tidsförlust. Som exempel kan nämnas Dell, Levi-Strauss, Adidas och Smart.

## 4.5 KUNDFOKUS

Kundens delaktighet vid utformningen av en fabrikslina är avgörande för att uppnå ett lyckat resultat. Det gäller att ingående analysera vilka förutsättningar som föreligger hos kunden och anpassa fabrikslinan efter det.

För att kunna skapa ett produktionssystem krävs ett samspel mellan människor, processer och teknologier. En central del för att kunna åstadkomma detta samspel är tillgången på utbildade och kompetenta människor som dels kan utforma processer som minimerar slöserier och samtidigt maximerar kapaciteten på de resurser, medarbetare material mm., som ingår i processen. För det andra måste även tillgängliga teknologier anpassas till de processer och till de människor som kommer att ingå i produktionssystemet. Det är först när dessa grundläggande faktorer är sammanlänkade och fungerar som de verkliga synergierna kan uppnås. Förutom ovan nämnda faktorer krävs självklart ett flertal andra funktioner från organisationen.

## 4.6 MINIMERA RESURSÅTGÅNGEN OCH ÖKA FLEXIBILITETEN

Syftet med att vidareutveckla industriella processer för hustillverkning är att uppnå tillförlitliga processer som kan producera stora volymer med hög grad av återupprepning och som dessutom ska vara anpassningsbar till de förändrade krav som kommer att finnas i framtiden. Att utveckla och sätta sin produktion i fabrik innebär en stor förändring och en av grundförutsättning kommer att vara effektiviteten i fabriken. Fabrikstillverkningen måste kunna garantera effektiv, snabb, tillförlitlig, hållbar och säker produktion.

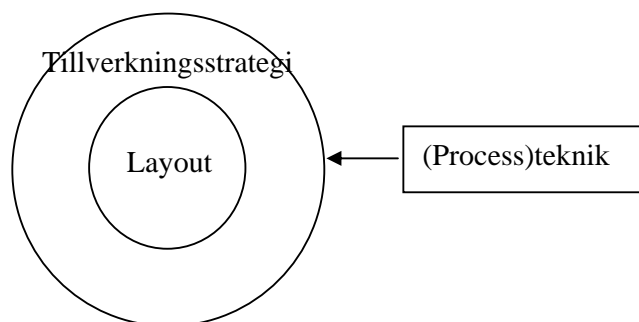
Den kanske viktigaste aktiviteten för att reducera kostnaderna och tidsåtgången i en industriell process är att utforma den produkt som ska produceras på ett sätt som minimerar resursåtgången och ökar flexibiliteten. En jämförelse med bilindustrin kan illustrera detta på ett mycket bra sätt. Det var inte för så länge sedan som slutmonteringen, i fabrik, för en bil tog upp emot 100 timmar. Detta kan idag jämföras med ca 10 timmar och på vissa ställen ner mot 6 timmar. Det går, inom bilindustrin, att urskilja en stor omlokalisering av personal där det är allt färre arbetare som medverkar i tillverkningen och desto fler som ingår i produktutveckling och design. En annan tydlig förändring som går att se är att företag inriktar sig mer och mer på sin kärnverksamhet och i allt större utsträckning använder sig av underleverantörer. Med hänvisning till bilindustrins utveckling är det därför ytterst intressant för byggbranschen att närmare undersöka hur tillverkningsindustrin har utformat sina produkter och tillverkningsprocesser.

Några faktorer som bör tas med vid utveckling av en fast fabrik:

- Tillverkningsvolym
- Nivå på kundanpassning som krävs
- Arbetskostnad
- Material som används
- Geometri och vikt på komponenter och slutliga produkter
- Kvalitetskrav och repeterbarhet
- Nivån på värdeskapande i fabriken i jämförelse med inköp

Uppenbart så beror några, om inte alla, på det geografiska läget av den tilltänkta fabriken och på vilka produkter som skall tillverkas. Icke desto mindre så bör alla dessa faktorer tas i beaktande när en fabrik skall utformas.

## 4.7 TILLVERKNINGSSTRATEGI



Figur 3 Schematiskt tillvägagångssätt för val av tillverkningsstrategi och layout

Figur 3 kan ses som ett tillvägagångssätt eller en vägledning när man skall bestämma vilken typ av tillverkningsstrategi ett företag skall tillämpa samt även vilken typ av layout som passar bäst gentemot vald tillverkningsstrategi. Figuren innehåller tre delar: teknik, tillverkningsstrategi och

layout. Med teknik avses de typer av processtekniker som krävs för att kunna producera på ett så effektivt sätt som möjligt. Detta kommer senare att illustreras genom ett exempel från Randek BauTech. Vad det beträffar tillverkningsstrategier så finns fem stycken huvudprinciper att följa:

- Projekt (project process)
- Funktionellt utformad (job process)
- Flödesgrupper (batch process)
- Linjeutformad (line process)
- Kontinuerlig linjeutformad (continuous process)

Med hjälp av dessa huvudprinciper kan man identifiera vilken som passar företaget bäst. Den lilla cirkeln symboliserar vilken layouttyp som passar bäst till den tillverkningsstrategi man valt. Naturligtvis kan hybrider av ovan krävas för att hitta den mest lämpade tillverkningsstrategin och layouten.

De ovan nämnda huvudprinciperna skall nu diskuteras lite ytterligare.

#### **4.7.1 PROJEKT**

Projektstrategi används oftast vid storskaliga produkter där sannolikheten att produkten kommer tillverkas igen är liten. För att en projektstrategi skall vara aktuell krävs att det är någon form av enstyckstillverkning av produkter som varierar mycket i form och funktion. Ofta är tillverkningstiden lång och produkten högt kundanpassad. Utförandet är ofta osäkert och kan variera under projektets gång. Idag ses ofta ett broprojekt som ett exempel på denna typ men även inom flyg- och fartygindustrin är denna vanlig.

#### **4.7.2 FUNKTIONELLT UTFORMAD**

Betecknande för denna typ av strategi är främst den höga graden av kundanpassning samt att man tillverkar små volymer och erbjuder en stor produktvariation. Fabriker som är anpassade till denna typ av strategi har ofta ett blandat materialflöde med många maskinställ. Detta leder till en komplicerad systemstyrning vilket kräver ett väl fungerande informationsflöde inom fabriken. Operatörernas kompetens måste vara bred och maskinparken bör vara väldigt flexibel. En skillnad mot projektutformning är att det tillverkas fler och vanligtvis mindre detaljer vid en funktionsutformning. En funktionellt utformad strategi tillämpas av företag som tillverkar prototyper, maskiner eller fixturer.

#### **4.7.3 FLÖDESGRUPPER**

När volymerna börjar öka, antingen i form av individuella produkter eller inom hela produktfamiljer, är strategin flödesgrupper lämplig. Produktionen liknar den för funktionell utformning vid partier om endast ett fåtal exemplar. Då en produkt tillverkas i större kvantiteter blir produktionen mer repetitiv och fokus kan sättas på att hitta lösningar för att effektivt kunna utföra repetitiva operationer. Ett exempel på det kan vara att mer noggrant planera utförandet och införskaffa fixturer för att underlätta produktionen. En sådan investering betalar sällan tillbaka sig om inte volymen är tillräckligt stor. Viktigt att komma ihåg är att fokus fortfarande ligger på flexibilitet och att kunna tillverka olika typer av produkter utan allt för långa ställtider. Exempel på produkter som lämpar sig att för en partitillverkning är ingående delar till massproducerade företag såsom bilindustrin och tillverkning av maskinverktyg.



#### 4.7.4 LINJEUTFORMAD

Denna typ av strategi lämpar sig bäst när ett företag tillverkar stora volymer av en standardiserad produkt. En linje dediceras helt till en viss typ av produkt där maskinerna i princip utför samma arbete gång efter gång. Materialflödet är oftast enkelt att följa och man bör sträva efter att ha ett jämnt flöde genom hela linan med korta förflyttningar mellan de olika stationerna. Flexibiliteten i denna typ av system är oftast låg vilket gör det svårt att implementera nya produkter i fabriken. Denna typ av strategi anses även vara en störningskänslig process eftersom ett stillestånd för en maskin kan innebära att hela linan stannar. Detta leder till att man bör arbeta bort så många som möjligt av de felorsaker som kan uppstå. Linjeutformad strategi kräver dock inte lika mycket av operatörerna som funktionellt utformad strategi. En väl utformad och fungerande produktionslinje minskar ofta drastiskt genomloppstiderna vilket gör att man kan tillverka efter just-in-time principerna och slippa stora lager. Bilar, elektronisk utrustning såsom till exempel tv-apparater, hi-fi och video apparater är ofta tillverkade enligt denna strategi.

#### 4.7.5 KONTINUERLIG LINJEUTFORMAD

Pappersmassatillverkning, järntillverkning eller kemisk förädlingsfabrik är exempel på kontinuerligt linjeutformade processer. Med denna typ av strategi tillverkar man endast en produkt och tillverkningsvolymen är väldigt hög. Oftast används en hög grad av automatisering vilket innebär höga investeringskostnader.

#### 4.7.6 SAMBAND MELLAN TILLVERKNINGSVOLYM OCH PRODUKTvariation

Tabell 1 är en schematisk sammanställning och jämför de olika strategierna gentemot produktvariation och tillverkningsvolym.

Tabell 1 Förhållandet mellan produktvariation, tillverkningsvolym och tillverkningsstrategi

		Volym <span style="float: right;">➔</span>				
Produktvariation ↓	Process egenskap	Unik produkt, kundstyrd	Liten volym med låg grad av standardisering	Ett antal produkter, medelstora volymer	Fåtal produkter, större volymer	Standardiserade produkter, stora volymer
	Komplex produkt med hög grad av specialbeställning	Projekt				
	Blandade flöden med varierande produkt & många undantag		Funktionell			
	Icke kontinuerlig linjeutformad process med mindre varierande produktion			Flödesgrupp		
	Kontinuerlig linjeutformad process med rutinarbete				Linje	
	Kontinuerligt flöde med hög grad av repetitivitet i produkten					Kontinuerlig linje

När produktionsstrategin väl är vald är det dags att tita på layouten.

## 4.8 LAYOUT

Det finns framförallt fyra stycken grundlayouter som man kan använda sig utav.

- Byggplatslayout
- Funktionell verkstadslayout
- Hybridlayout
- Linjelayout

Dessa typer av layout kan kopplas samman med vilken tillverkningsstrategi som man valt vilket tabell 2 visar.

Tabell 2 Typ av layout kopplad till tillverkningsstrategi

Layout	Tillverkningsstrategi
Byggplatslayout	Projekt
Funktionell verkstadslayout	Funktionellt utformad
Hybridlayout	Flödesgrupp
Linjelayout	Linje
Linjelayout	Kontinuerlig linje

### 4.8.1 BYGGPLATSLAYOUT

Här är det produkten som står i fokus och som styr valet av produktionsplats. I motsats till det vanliga sättet att producera, där maskiner och resurser finns på ett ställe och produkten rör sig mellan dessa enheter för att bearbetas och färdigställas, är det här maskinerna och resurserna som flyttas till produkten medan produkten är fast stationerad.

### 4.8.2 FUNKTIONELL VERKSTADSLAYOUT

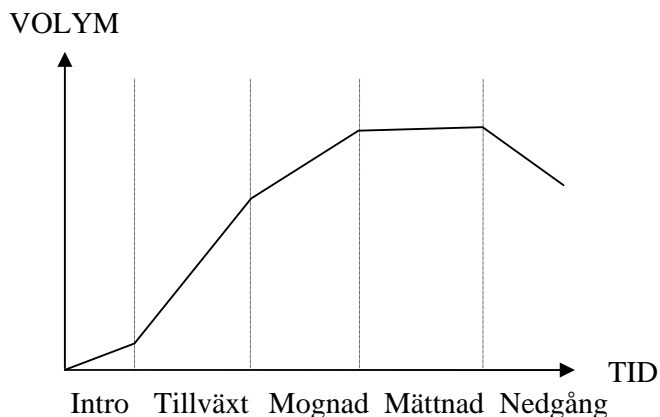
Denna typ av layout är organiserad efter resursernas tillverkningsfunktion som till exempel svetsstationer, svarvstationer etc. Den är även en flexibel typ layout där införsel av nya produkter oftast inte är ett problem vilket medför en hög driftssäkerhet. Anledningen till detta är att om en maskin går sönder så finns det ofta liknande maskiner som kan ta över och hålla produktionen igång. Nackdelarna med funktionell verkstadslayout är att det ofta finns ett väldigt blandat materialflöde med mycket material i arbete i produktionen och långa genomloppstider.

### 4.8.3 LINJELAYOUT

Denna typ av layout är organiserad efter tillverkningsföljd hos produkterna där varje maskin i linan ofta är optimerad för en viss typ av produkt. Detta leder till att införsel av nya produkter kan orsaka problem. Den är även störningskänslig vilket gör att ett litet fel kan orsaka stillestånd i hela produktionen. Fördelen är att man har lite material i arbete och korta omloppstider.

### 4.8.4 HYBRIDLAYOUT

Denna layout är en blandning mellan linje- och funktionell verkstadslayout där båda typerna av layout med fördel kan kombineras. Denna typ kan även användas om man har produkter vars livscykel ser ut som Figur 4 eller om man har både låg- och högvolymsstillverkning av olika produkter.



Figur 4 Exempel på en produkts livscykel

#### 4.8.5 FLEXIBLA TILLVERKNINGSSYSTEM

För att kunna använda sig utav linjelayout även för lågvolumsprodukter så finns det ett par alternativ som just kan åstadkomma linjeflöde för dessa. Man kan enkelt beskriva det som att man delar upp produktionen efter vilka maskiner som krävs för att tillverka olika produkter och därefter gör mindre celler/tillverkningslinjer som var och en tillverkar sina egna produkter. Ett annat sätt är att man använder sig av "one man, multiple machines, dvs en operatör har ansvar för flera olika maskiner. Operatören skapar således ett mindre linjeflöde genom att låta produkterna vandra mellan de olika maskinerna.

#### 4.9 AUTOMATION

Arbeta smartare inte hårdare är en paroll värd att allvarligt beakta. Kombinationen av stegvis ändring och kontinuerliga förbättringar en annan. Detta betyder också att ny teknologi eller implementering av nya lösningar inom bygg behöver en systemproduktivitet som är viktigare än en hög användning av en enstaka arbetsstation eller behovet av en specifik operation. Dock är det så att när flaskhalsar är uppenbara kan en investering i en maskin som utför en specifik operation som gör momentet mycket snabbare än tidigare vara lönsam.

Automatisering kan anses fundamental för industrialisering. Eller, vise versa, ett krav för automatisering är industrialisering som fokuserar på effektiv produktion, produktdesign, ökad tillverkningsvolym och centraliserade processerna, allt som gör en automatisering mer genomförbar. Automatiserade system fungerar bra så länge dessa förhållanden gäller men anpassar sig inte automatiskt om förhållanden ändrar sig. Operatörer å andra sidan har en inbyggd förmåga att anpassa sig till ändrade förhållanden. Det anses ofta att ett högt automatiserat system är inflexibelt. Detta är dock nödvändigtvis inte sant. En klok produktutformning och smarta, flexibla, automatiserade lösningar kan istället introducera en hög grad av flexibilitet i jämförelse med tidigare manuella lösningar.

Produktmodularisering är en metod som stöder förverkligandet av automatisering och ökad flexibilitet. Området behandlar en stor mängd frågor som inkluderar:

- NÄR? Vilken är den riktiga automatiseringsstrategin? När är automatisering möjlig, till vilken nivå, att vara proaktiv och att erhålla en tillräcklig nivå på flexibilitet, robusthet och effektivitet?
- VAR & VAD? Vilka produkter är lämpliga att automatisera och vilka tillverkningsenheter, operationer, och vilka tillverkningsflöden?

- HUR? Hur kan man bygga ett automatiserat system som är icke-komplext, effektivt, robust och flexibelt? Hur planeras automatiseringsprojekt och hur leds dessa bäst? Hur avgör man vilken kompetens som kräv och hur tillvaratas kompetensen?

Det är viktigt att inse att för automatiseringsprojekt och system är de tekniska frågeställningarna bara en del av en ganska komplex helhet. De tekniska systemen måste jobba i harmoni med personal som behöver kompetens och variera deras uppförande. Dessutom så jobbar folk i och tillhör permanenta eller icke-permanenta (projekt) organisationsenheter. Därför måste man titta på treenigheten Människa-Maskin-Organisation för att kunna lyckas med automatiseringsprojekt. Ofta lägger man för mycket fokus på tekniska aspekter. Tänk ”rightomation” (rätt automatiseringsnivå) hellre än enbart automatisering.

#### **4.10 INFORMATIONSFLÖDE**

Utvecklingen inom IT-området har inneburit stora förändringar inom exempelvis projektering och automatiserad tillverkning av produkter och material. Idag finns stora möjligheter att med informations- och kommunikationsteknologi (ICT) stödja material- och resurshantering, hantera lösningar och sprida kunskap och erfarenheter. I tillverkningsindustrin har ICT spelat en avgörande roll för produktivitetsutvecklingen och stöd för processer i verksamheten såsom produktutveckling, tillverkning, logistik etc och har därmed möjliggjort många av de utvecklingssteg som tagits. För byggandet finns möjligheter att utnyttja avancerad ICT på samma sätt och genom detta bidra till utvecklingen, dock krävs då en processorientering och industrialisering av verksamheten för att nyttan ska bli substantiell. För industriellt bostadsbyggande är användning av produktmodeller lämpligt eftersom det möjliggör effektivt utbyte och användning av information för alla delar av byggprocessen, exempelvis 3D-modeller, beräkningar, CAD-ritningar, tidplaner, mängdberäkningar, kostnadsberäkningar etc. Många byggrelaterade initiativ inom detta område pågår idag i Europa och Sverige där tex EU-projektet InPro ([www.inpro-project.eu](http://www.inpro-project.eu)) kan nämnas. InPro fokuserar på det mycket tidiga designskedet och har som mål att ta fram en stödjande struktur, verktyg och metoder för att öka mängden tillgänglig information för att därigenom kunna fatta rätt beslut. Detta leder till väsentliga kostnadsbesparingar samt en högre kvalitet och säkerhet på produkten (byggnaden).

#### **4.11 EKONOMI**

Även om en ekonomisk utredning inte är syftet med denna rapport bör ändå några viktiga faktorer nämnas. Strategiska beslut som har inverkan på en kostnadsanalys inkluderar bland annat:

- Marknadsvillkor (konkurrens)
- Marknadens behov och krav
- Investeringsstid
- Produktens komplexitet
- Krav på automatiseringsnivå
- Volymkrav
- Produktspecifikation och kvalitetskrav
- Geografiskt läge för fabriken

## 5. EXEMPEL FRÅN TILLVERKNINGSINDUSTRIN – FLEXIBLA PRODUKTIONSLINOR

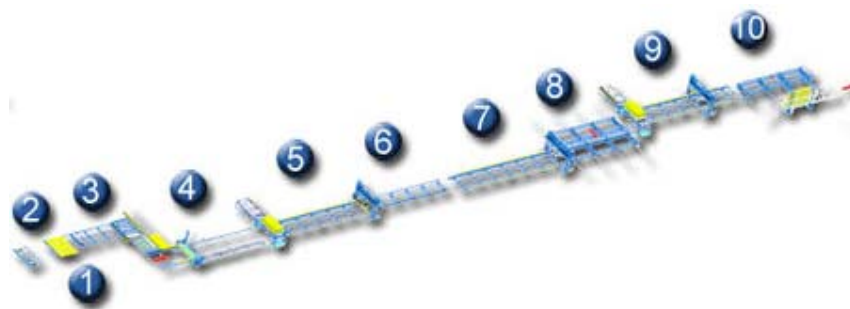
Det här exemplet, från Randek BauTechs produktionslina, fokuserar på dagens tillverkningssystem: hur de planeras och centreras kring kundkrav, och hur man kan planera och välja mellan olika tillverkningsceller och automatiseringsnivåer beroende på tillverkningsituation.

Randek BauTech AB är en ledande tillverkare av specialbeställda, datoriserade produktionslinjer för hustillverkning. Företaget har sina rötter i Randek Maskin AB och BauTech Sweden AB; två företag specialiserade på datoriserade sågar och routers, liksom kompletta lösningar för produktion av prefabricerade hus och Nordiska Truss AB, ett företag med omfattande expertis i bl a, spikplåt och industrialiserad takstolsproduktion. Företagen, vars rötter går tillbaka till 1940-talet och till regioner där timmerhusindustrin dominerade, startade som familjeföretag.

### 5.1 TILLVERKNINGSFLÖDE FÖR VÄGGPRODUKTION

Ett typiskt tillverkningsflöde från virke till färdig vägg kan beskrivas enligt följande:

- Station för tillverkning av ram
- Skiva appliceras
- Skivan monteras (fixeras)
- Arbetsbord och väggvändare
- Isolering och skiva
- Väggbeklädnad
- Färdig vägg, redo för transport



Figur 5 Princip för layout för tillverkningslina för väggar

Detta flöde kan hanteras i ett tillverkningssystem, se figur 5, som visar en principiell layout för en typisk tillverkningslina för väggar. De så kallade tillverkningscellerna för denna lina är:

- |  |                          |
|--|--------------------------|
| 1. Tillverkning av topp- och bottenplattor | 5,6,7,9. Arbetsstationer |
| 2. Delelement, isoleringshantering         | 5. Skivpåläggstationer   |
| 3. Lagring delelement, regelmatrare        | 5,7,9. Arbetsportal:     |
| 4. Regelspikstation                        | Spikning och skärarbete  |
|  | 8. Väggvändare           |
|  | 10. Stapling             |

## 5.2 KUNDEN I FOKUS

För att kunna utforma och tillverka själva tillverkningslinan är det viktigt med ett lagarbete där kundens<sup>2</sup> medverkan är nödvändig. Det är bara kunden själv som har full kunskap om vilka mål som eftersträvas för linans kapacitet, vilka operatörer som är tillgängliga etc. Ta tillverkningscellen som ett exempel. Dessa tillverkningsceller utför en specifik värdeskapande aktivitet (skärning, spikning etc) alternativt förflyttning/vändning. Denna hantering kan vara helt automatisk, halvautomatisk eller manuell, beroende vad som är optimalt effektivt för linan. Det finns ingen anledning att automatisera en specifik tillverkningscell om en annan cell är en flaskhals<sup>3</sup> i värdekedjan. Att kontrollera värdeflödet i processerna är en viktig del för att få en effektiv tillverkning. Detta betyder att man måste mäta tillverkningseffekten kontinuerligt och resultaten måste sättas i en helhet så att ett val av kapacitet (eller en utökning) någonstans i linan leder till en total effekt.



Figur 6 Delar av en starkt automatiserad vägg tillverkning. Vänster: Tillverkning av ram. Höger: Skivan appliceras. En CAD-kontrollerad upplöckning av individuella skivor, positionering och spikning.

## 5.3 LÄR AV OPERATÖRERNA

För att erhålla en framgångsrik montering måste man involvera operatörerna i tillverkningslinan; man måste också ha kännedom om deras erfarenhet, deras preferenser och antalet olika yrkeskategorier som är tillgängliga. En viktig aspekt när man planerar en ny tillverkningslina är att försöka automatisera, reducera eller helt ta bort farliga eller tunga arbetsmoment.

## 5.4 STEGVIS AUTOMATISERING

Huvudfokus i automatisering är att utforma modulsystem baserade på komponenter som möjliggör framtida uppdatering. Med detta menas bland annat:

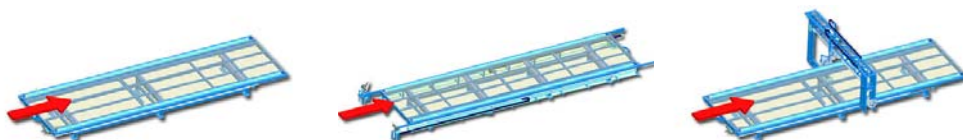
- Specifika tillverkningsmaskiner, med möjlighet till uppgradering för utökad produktivitet, Figur 7

<sup>2</sup> Kunden här avser beställaren från fabriken

<sup>3</sup> Flaskhalsen är den del i processen som tar längst tid. Den kallas även trång sektion eller begränsad resurs.

- Modula tillverkningsmaskiner som skall vara möjliga att infoga i en framtida tillverkningslina
- Möjligheter att uppgradera manuell tillverkning till CAD/CAM kontrollerad tillverkning
- Möjligheter till optimering av tillverkningsflöde med skräddarsydda datorprogram

En specifik uppgift att noggrant beakta är logistik, både till tillverkningslinan, i linan och från linan. Detta är intimt knutet till Lean Production och Lean Construction som diskuterades tidigare i kapitel 2. Denna logistik har högsta relevans för tillverkning även generellt sätt. Att automatisera med avsikt att sänka eller helt ta bort farliga eller tunga arbetsmoment är en viktig aspekt när man planerar nya tillverkningsceller eller linor.



*Figur 7 Stegvis uppgradering av ett arbetsbord för tillverkning av ram och montering av skiva*  
 Vänster: *Utgångsdesign*  
 Mitten: *För att underlätta produktionen av regelverket, kan spikvagnar monteras på bordet.*  
 Höger: *Spikportal, för ökad produktionstakt och precision*

## 5.5 PRODUKTIVITET BEROENDE PÅ PRODUKTENS KOMPLEXITET

Den produktion som krävs (meter per timme, kvadratmeter per timme etc) av tillverkningslinan är avgörande för nivån av automatisering. Den tillverkade produktens komplexitet är också väsentlig för produktionslinans resultat. Några typiska exempel på resultat från tillverkning ges nedan. En lina utformad för:

- enkla väggar kan tillverka 150 meter vägg/timme
- komplexa väggar utan fasadbeklädnad kan tillverka 40 meter vägg/timme.
- komplexa väggar kan tillverka 20-25 meter vägg/timme

Således är komplexiteten hos väggen central för tillverkningshastighet och resultat. Den högsta produktiviteten kan uppnås vid tillverkning av ”öppna paneler” dvs en ram med en skiva på ena sidan. Dessa typiskt amerikanska komponenter transporteras till byggarbetsplatsen och kompletteras på plats. Mera komplexa element innehåller plastfolie, gipsskivor, elektrisk utrustning, isolering, fönster och/eller dörrar och träpanel på utsidan av väggen. För komplexa väggar kan man i stort sett fördubbla tillverkningshastigheten, utan att byta tillverkningslina, genom att byta ut träpanelen till en fasadbeklädnad som monteras på plats. Fördelen med modularisering, plattformar och standardgränssnitt kan inte övervärderas.

## 5.6 FLEXIBILITET

De ökade kraven från kunder att få specialutformade produkten är en stor utmaning att möta. Dagens tillverkningslinor kan utformas för flexibilitet, tex:

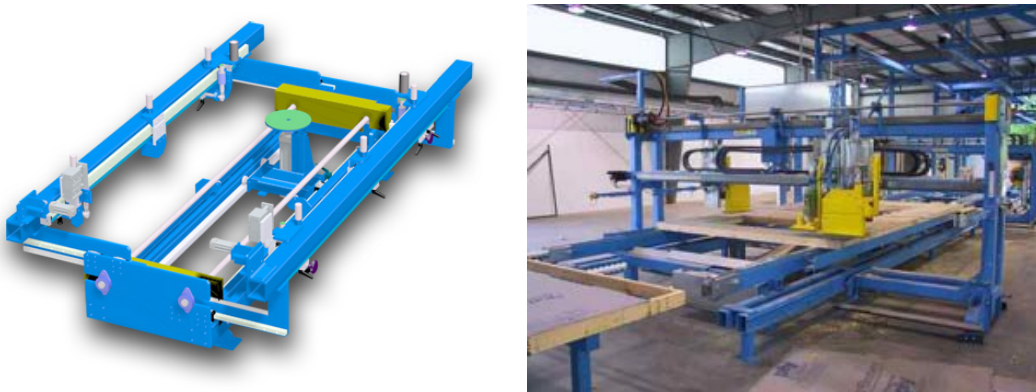
- Olika material: regelverk av stål eller trä
- Olika vägghöjder: automatisk ändring kan göras i tillverkningslinan för olika vägghöjder.
- Kundutformade öppningar för fönster och dörrar
- Automatisk tillskärning av isolering som passar olika öppningar.

Integrationen av CAD/CAM i tillverkningslinjerna är idag en realitet. En kundbeställd väggutformning, gjord i ett CAD-system, kan överföras till tillverkningsplatsens maskiner och tillverkas. Specifikt kritiska aspekter är hanteringen av material och precisionen på själva materialet.

I modern arkitektur är fönster speciellt viktig i gestalningen av byggnader. Effektiv tillverkning, kombinerad med flexibiliteten att väja fönster av olika storlekar, kan hanteras genom olika tekniska lösningar.

För att tillverka kundbeställda öppningar i väggen för senare montering av fönster och dörrar kan en CAD-kontrollerad tillskärningsportal för öppningar vara en lösning, Figur 8 höger. Den CAD-kontrollerade portalen åker till första positionen av en dörr- eller fönsteröppning. Såghuvudena sänks och skär ut öppningen. Positionering av sågarna kontrolleras via CAD. När alla öppningar är klara, måste operatören signalera till maskinen att elementet är klart för transport till nästa station. Detta för att försäkra sig om att allt spill är rensat från regeln innan den skickas vidare. Elementen skickas automatiskt till nästa station efter slutförande.

En station för ett element kan göras genom att använda ett speciellt bord för installation av fönster, se Figur 8 vänster. Denna utrustning kan hantera panelbredder mellan 650-700 mm och arbetshöjder mellan 750-850 mm. En manuell där justeringar görs manuellt och en där justeringar görs med motor. Färdiggjord panel med fönster kan sedan flyttas som modulelement till väggproduktionen.



Figur 8 Flexibel tillverkningsteknik för fönster i en vägg. Vänster: flexibelt bord för delmonteringsstation. Höger: CAD-kontrollerad tillskärningsportal för fönster och dörrar.



## 5.7 TILLVERKNINGSPROCESS

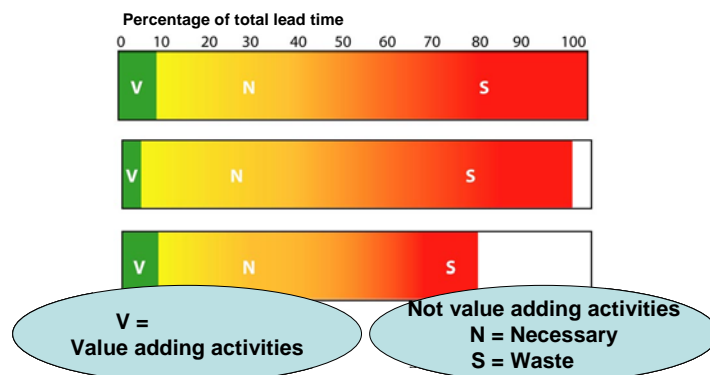
Effektiva och störningsfria tillverkningsprocesser är nödvändiga när man utformar effektiva tillverkningslinor, reducerar eller tar bort tunga och/eller arbetsintensiva arbetsmoment. Sådana processer används i flexibla tillverkningslinor för husbyggnation är till exempel:

Skärning    Sågning av virke, skivor, isolering  
Fogning    Spikning, stapling, skruvning, limning  
Montering:    Manuell, halvautomatisk, automatisk

Kraven på precision är väldigt höga. Spikning i gipsskivor måste ha en noggrannhet om delar av millimeter. Valet av material på skruvar, spikar etc måste göras i enlighet med konstruktionskrav men också med avseende på ytbehandling av fasaden. Automatisk tillskärning av isolering och sammanfogning med lim kräver en kontrollerad process. Trä är ett levande material och således måste tillverkningsprocessen vara tillräckligt robust för att minimera de negativa effekterna detta medför.

### En Lean Production approach

**Bakgrund:** Förutom den kundanpassade produktionen som diskuterades ovan finns två fundamentala grunddrag hos Lean Production nämligen skapande av värde och minskandet av slöseri. Figur 9 visar en framgångsrik förändringsprocess hos en leverantör till en biltillverkare. Dock kunde man i detta fall konstatera att en veckas ledtid för produkten i fabriken omfattade enbart ca 15 minuter värdeskapande tid<sup>4</sup>.



Figur 9 Value-creating time is often a very small part of total lead time through a factory

**Tillämpning:** Såsom tidigare nämnts så har man i byggbranschen förutom de industrialiserade processerna visat intresse för att även titta på principerna och metoderna för Lean Production (Lean Construction). Detta påverkar tillverkningslinan, materialflödet, värdeskapande aktiviteter, hur man hanterar produktivitet och resurser etc

**Framtida scenario:** För att kunna ta ett steg ytterligare mot en industrialiserad process så måste man i en fabrik för husproduktion implementera Lean Production. Detta i sin tur resulterar i en kundorderstyrt informations- och materialflöde. Man kan således tänka sig

<sup>4</sup> Lundin, R, Widfeldt, M (2006) Prestudy: Lead times in an automotive supplier's manufacturing

fabriker som tillverkar delelement eller hela element (platta paket eller volymelement) till hus, modulframtagna för tillverkning som är lätta att flytta och snabba att montera på byggarbetsplatsen. Lite av detta framtidsscenario har vi sett i koncept såsom till exempel NCC Komplet och Open House samt naturligtvis även katalogtillverkarna av småhus. Problematiken är inte främst av teknisk natur utan snarare är utmaningen att kombinera människa-maskin-organisation.

## 6. SLUTSATSER

Byggbranschen har präglats av kostnads- och därmed prishöjningar medan andra branscher snarare har kunnat sänka sina priser, vilket minst sagt borde tyda på stor förbättringspotential inom byggbranschen. Vi måste sänka byggkostnaderna, minska byggtiderna, höja kvaliteten och öka säkerheten på arbetsplatsen för att kunna överleva som bransch och kunna rekrytera nya medarbetare. En industrialisering av processerna ses av många som en framkomlig väg. Denna resa är dock inte utan utmaningar och hinder, men inkluderar även möjligheter. Sammanfattningsvis kan man beskriva industrialiseringsarbetet med hjälp av fem hörnstenar: sätt kunden i centrum, basera beslut på fakta, arbeta med processer, skapa förutsättningar för delaktighet och ständiga förbättringar. Dessa hörnstenar vilar alla på en plattform av engagerat ledarskap.

En viktig förutsättning för en lyckad utarbetning av ett fabrikskoncept är således att de övergripande processerna och att stödjande verktyg finns tillgängliga. Innan själva linan kan detaljutformas måste företaget i fråga välja vilken tillverkningsstrategi som skall bedrivas, detta med hänseende till hur många olika produkter som skall tillverkas, tillverkningsvolym och vilka krav marknaden ställer på produkterna. Utifrån denna strategi kan därefter lämplig layout väljas. När själva linan är i funktion så inträder nästa fas, nämligen erfarenhetsåterföring och ständiga förbättringar. För att kunna utnyttja den potential som finns i förbättringsarbetet är det viktigt att man fokuserar på Människa-Maskin-Organisation. Ofta lägger man för mycket fokus på tekniska aspekter. Tänk till exempel ”rightomation” (rätt automatiseringsnivå) hellre än enbart automatisering.

Att utarbeta bästa möjliga lösning för vald produkt är en långsiktig strategisk satsning. Strategierna skall gälla affären, produkten och metoden samt informationssystemen. Modern, framgångsrik industrialisering är inte så mycket en fråga om vad som står i de olika boxarna i ett organisationsschema, som hur man på ett effektivt sätt kommunicerar mellan boxarna – hur de kopplas till varandra. Strategierna skall följas av byggandet av affärsnätverk och konsortier, och därefter av byggandet av byggsystemskoncept som passar nätverken. Detta är en stor utmaning för byggsektorn men man kan lätt konstatera att vinsterna för dem som utnyttjar möjligheterna till fullo är mycket stora, detta kanske inte minst i en lågkonjunktur.