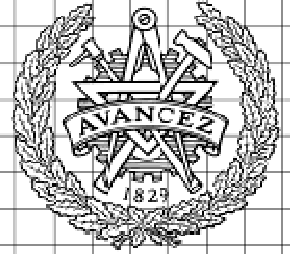


# CHALMERS



## Armeringsmetoder för att uppnå ett effektivt industrialiserat platsbyggande

*Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Konstruktionsteknik*

RICKARD CASTER

GUSTAV DEUSCHL

Institutionen för bygg- och miljöteknik  
Avdelningen för Konstruktionsteknik  
Stål- och Träbyggnad  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg 2007  
Examensarbete 2007:134



EXAMENSARBETE 2007:134

# Armeringsmetoder för att uppnå ett effektivt industrialiserat platsbyggande

Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Konstruktionsteknik

RICKARD CASTER

GUSTAV DEUSCHL

Institutionen för bygg- och miljöteknik  
*Avdelningen för Konstruktionsteknik*  
*Stål- och Träbyggnad*  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, 2007

Armeringsutformning för att uppnå ett effektivt industrialiserat platsbyggande

*Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Konstruktionsteknik*

RICKARD CASTER

GUSTAV DEUSCHL

© RICKARD CASTER OCH GUSTAV DEUSCHL, 2007

Examensarbete 2007:134

Institutionen för bygg och miljöteknik

*Avdelningen för Konstruktionsteknik*

*Stål- och Träbyggnad*

Chalmers tekniska högskola

412 96 Göteborg

Telefon: 031-772 10 00

Omslag:

Bilden visar en förtillverkad armeringskorg till byggandet av Citytunneln i Malmö.

Chalmers Reproservice/ Institutionen för bygg- och miljöteknik  
Göteborg 2007

Reinforcement methods for efficient industrialised on-site construction

*Master's Thesis in the programme of Structural Engineering*

RICKARD CASTER

GUSTAV DEUSCHL

Department of Civil and Environmental Engineering

*Division of Structural Engineering*

*Steel and Timber Structures*

Chalmers University of Technology

## **ABSTRACT**

On-site cast concrete structures often require significant labour efforts on the construction site. Industrialisation of on-site casted concrete structures aims at reducing construction time which is important for reducing costs enhance the economical profit. This should be done retaining quality of the building and improving the working environment of the construction workers.

With traditional on-site construction more than a fifth of the labour on the construction site can be related to the reinforcement. A major part of the reinforcement labour is still carried out by traditional methods and is characterized by craftsman-like activities. In this report, alternative methods to traditional reinforcement are identified. Prefabrication of reinforcement cages produced both on site and in factories is discussed as possible alternatives to traditional reinforcement.

Today, several reinforcement products that can simplify the production are available on the market. The products facilitate prefabrication which reduces on-site labour.

Case studies have been carried out on projects where new products and methods have been used. They show that the best way to rationalize the reinforcement labour is to adjust the reinforcement design to fit production, aiming at simplicity and repetition. The case studies show that an increased degree of prefabrication of reinforcement gives more efficient on-site construction and a better working environment. The case studies also indicate that the knowledge of new methods is limited. Today there is no organized system for feedback of experience which could favour the spreading of new and well-performing methods.

The report shows that in order to be able to industrialise the construction industry there is the need of an industrialised building process. The first step is to standardize the production to make it measurable. The standardized production can then be improved by development and introduction of new better methods. Technical development on its own is not the key to industrialisation. Instead, it is the company culture and the common way of thinking that are the conditions for successful industrialisation. However, technical development is an important tool. Industrialisation shall be carried out in the entire company and in corporation with all parties of the building process.

Key words: Reinforcement, prefabricated reinforcement cages, industrialisation, on-site construction, industrial building process, feedback of experience

Armeringsutformning för att uppnå ett effektivt industrialiserat platsbyggande

*Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Konstruktionsteknik*

RICKARD CASTER

GUSTAV DEUSCHL

Institutionen för bygg- och miljöteknik

*Avdelningen för Konstruktionsteknik*

*Stål- och Träbyggnad*

Chalmers Tekniska Högskola

## **SAMMANFATTNING**

Platsgjutna betongkonstruktioner uppförs ofta med metoder där stora delar av arbetet sker på byggarbetsplatsen. Industrialisering av platsbyggda betongkonstruktioner ska minska byggtiden och därmed ge förutsättningar för att öka lönsamheten. Detta ska ske med bibehållen kvalitet och förbättrad arbetsmiljö.

Vid traditionellt platsbyggande kan en dryg femtedel av arbetet på byggarbetsplatsen kopplas till armeringen. En stor del av armeringsarbetet utförs fortfarande enligt traditionella metoder och präglas av många hantverksmässiga moment. I rapporten behandlas alternativa metoder till traditionell armering. Förtillverkning av armeringskorgar som tillverkas både på byggarbetsplats och i fabrik tas upp som möjliga alternativ.

Flera armeringsprodukter som kan underlätta produktionen väsentligt finns idag tillgängliga på marknaden. Produkterna erbjuder en utökad prefabricering vilket minskar arbetet på plats.

Fallstudier har utförts på projekt där nya produkter och metoder använts. Dessa har påvisat att det bästa sättet att rationalisera armeringsarbetet är att produktionsanpassa armeringsutformningen. Enkelhet och repetition ska eftersträvas. Fallstudierna visar att en ökad prefabriceringsgrad av armering kan effektivisera platsbyggandet och förbättra arbetsmiljön. Fallstudierna har även visat att kunskapen om vissa nya metoder är begränsad till ett begränsat antal personer. I dagsläget finns ingen organiserad erfarenhetsåterknytning som kan gynna spridningen av nya och väl fungerande metoder.

Rapporten visar att för att kunna industrialisera byggbranschen behövs en industrialiserad byggprocess. Det första steget måste vara att standardisera produktionen för att göra den mätbar. Den standardiserade produktionen kan sedan förbättras genom utveckling och införande av nya bättre metoder. Teknisk utveckling i sig är inte nyckeln till industrialisering. Istället är det företagskulturen och det gemensamma tankesättet som är förutsättningen för en lyckad industrialisering, även om den tekniska utvecklingen är ett viktigt verktyg. En industrialisering ska ske i hela företaget och ske i samarbete mellan alla parter inblandade i byggprocessen.

Nyckelord: armering, prefabricerade armeringskorgar, industrialiserat platsbyggande, industriell byggprocess, erfarenhetsåterföring.

# Innehåll

ABSTRACT	I
SAMMANFATTNING	II
INNEHÅLL	III
FÖRORD	VII
BETECKNINGAR	VIII
Latinska beteckningar	VIII
Grekiska beteckningar	VIII
1 INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	2
1.3 Avgränsningar	2
1.4 Målgrupp	2
1.5 Metod	2
2 BYGGPROCESSEN	5
2.1 Aktörer	5
2.1.1 Byggherren	5
2.1.2 Projektörer	5
2.1.3 Entreprenörer	6
2.2 Olika entreprenadformer	6
2.2.1 Totalentreprenad	6
2.2.2 Partnering	7
2.2.3 Generalentreprenad	7
2.2.4 Delad entreprenad	8
2.3 Byggprocessens utseende	8
2.3.1 Programskedet	9
2.3.2 Förprojekteringsskedet	9
2.3.3 Bygghandlingsskedet	11
2.3.4 Byggskedet	11
2.3.5 Idrifttagande	11
2.4 Förutsättningar vid införande av ny teknik	12
3 INDUSTRIALISERAD PROCESS	13
3.1 Lean Production	13
3.2 Förutsättningar för en ökad grad av industrialisering	15
3.2.1 Ledningsbeslut	15
3.2.2 Standardisering och ständig förbättring	15
3.2.3 Företagskultur, enighet i tankesätt	16

3.3	Hur en industrialisering ska ske	16
3.3.1	Hitta möjligheter till förbättringar	17
3.3.2	Precisera problem och hitta kreativ lösning	17
3.3.3	Inför förändring i processen	18
3.3.4	Utvärdera förändring	18
3.3.5	Sprid erfarenheter	19
3.4	Nya tekniker	19
3.4.1	Projektering	19
3.4.2	Produktion	20
4	ARMERING SOM BYGGMATERIAL	21
4.1	Material	21
4.2	Användning	21
4.3	Armeringsprodukter	22
4.3.1	Lagerlängder, LL	22
4.3.2	Inläggningsfärdig armering, ILF	22
4.3.3	Coils	23
4.3.4	Armeringsnät	24
4.3.5	Rullarmering	25
4.3.6	Förtillverkade armeringskorgar	27
4.3.7	Sammanfattning av armeringsprodukter	28
4.4	Svetsning av armering	28
4.4.1	Seghetsproblem hos svetsad armering	28
4.4.2	Utmattning hos svetsad armering	28
4.4.3	Restriktioner och normer, Sverige	29
5	ARMERING PÅ BYGGARBETSPLATSEN	31
5.1	Ekonomi	31
5.2	Arbetsmiljö	32
5.3	Kvalitet	34
5.4	Produktionsanpassad armeringsutformning	34
5.4.1	Enkelhet och repetition	34
5.4.2	Reducera antalet arbetssteg	35
5.4.3	Åtgärder för en produktionseffektiv armeringsutformning	35
5.5	Produktionsmetoder	36
5.5.1	Montering i form	37
5.5.2	Förtillverkning i armeringsstation	37
5.5.3	Förtillverkning i fabrik, egen regi	39
5.5.4	Förtillverkning i fabrik, armeringsleverantör	40
5.5.5	Sammanfattning av produktionsmetoder	41
6	FALLSTUDIER	45
6.1	Citytunneln Centralstation, Malmö	45
6.1.1	Bakgrund till teknikval	45
6.1.2	Process	47



6.2	Turning Torso, Malmö	52
6.2.1	Bakgrund till teknikval	53
6.2.2	Processen	53
6.3	Ångströmlaboratoriet, Uppsala	54
6.3.1	Bakgrund till teknikval	55
6.3.2	Process	55
6.4	Lillesjöverket, Uddevalla	56
6.4.1	Bakgrund till teknikval	57
6.4.2	Processen	57
6.5	Utvärdering av fallstudier	59
6.5.1	Citytunneln Centralstation, Malmö	60
6.5.2	Turning Torso, Malmö	63
6.5.3	Ångströmlaboratoriet, Uppsala	65
6.5.4	Lillesjöverket, Uddevalla	67
6.5.5	Jämförelse av fallstudier	68
7	SLUTSATSER	71
7.1	Förslag till fortsatta studier	71
8	REFERENSER	73
8.1	Tryckta böcker, publikationer och artiklar.	73
8.2	Muntliga källor	74
8.3	Internet	75

## BILAGA A: SVETSNING AV ARMERING



## Förord

Examensarbetet har skrivits för NCC Teknik i samarbete med Chalmers Tekniska Högskola, avdelningen för konstruktionsteknik. Examensarbetet är del i ett SBUF finansierat projekt med titeln *Armeringsutformning för industrialiserat platsbyggande*.

Examensarbetet har handletts av Jonas Magnusson från NCC Teknik och Mohammad Al-Emrani från Chalmers Tekniska Högskola. Opponenterna har varit Simon Hansson och Kristoffer Karlsson. Vi har under arbetets gång suttit i NCC Teknics lokaler i Göteborg. Flertalet studiebesök och intervjuer har utförts under arbetets gång.

Vi vill rikta ett särskilt tack till våra handledare och opponenter som under arbetets tid granskat arbetet och hjälpt oss framåt. Vi vill även passa på att tacka alla som tagit sig tid för intervjuer. Ett särskilt tack riktas till Tommy ”Wally” Weliaschitsch och Henrik Hyll från NCC, Citytunneln Malmö, som delat med sig av sina erfarenheter. Under arbetets gång har vi delat kontor med andra examensarbetare. Vi vill därför tacka Erik Jürisoo och Robert Staaf samt Carl Jansson och Sven Tägtsten för den trevliga stämningen på kontoret. Vi vill även tacka resten utav de anställda på NCC Teknik.

Göteborg december 2007

Rickard Caster och Gustav Deuschl

# Beteckningar

## Latinska beteckningar

C	Kolhalt
CEV	Kolekvivalent
FoU	Forskning och Utveckling
HAZ	Heat Affected Zone
ILF	Inläggningsfärdig armering
JIT	Just In Time
LL	Lagerlängder
n	Antal lastcykler
SBS	Svensk Byggstålskontroll
SBUF	Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond
SIS	Swedish Standards Institute
TPS	The Toyota Production System
UE	Underentreprenör
VA	Vatten och avlopp
VVS	Värme, ventilation och sanitet

## Grekiska beteckningar

$\gamma_{fat}$	Partialfaktor för utmattning
$\Delta f_{st}$	Spänningsvidd, materialets utmattningshållfasthet
$\Delta\sigma$	Spänningsvidd, dimensionerande

# 1 Inledning

Detta kapitel avser att ge en övergripande bakgrund till behovet av utveckling inom armeringsarbetet vid platsbyggnation och att beskriva syftet med rapporten. Vidare behandlas rapportens avgränsningar, målgrupp samt dess struktur.

## 1.1 Bakgrund

Ökade krav på produktivitet och kvalitet ställs i dagsläget på byggbranschen som helhet. För att bibehålla och öka konkurrenskraften hos platsgjutna betongkonstruktioner som byggnadsmetod krävs en effektivare produktion med avseende på tid och kostnader. Armerad betong är som byggnadsmaterial det överlägset mest använda mätt i kvantitet. Väl utformade produktionsrationaliseringar kan härav ge stora samhällsliga vinster i form av minskade byggtider och lägre byggkostnader. En industrialisering av byggprocessen för platsgjutna konstruktioner bör härmed äga rum.

Traditionerna inom byggbranschen är omfattande och likheterna mellan dagens konstruktionsmetoder och det tidigare hantverksbaserade byggandet är fortfarande påfallande. Byggprocessen vid platsgjutna betongkonstruktioner karaktäriseras än idag av flera moment som förutsätter stora arbetsinsatser på plats och resulterar i att kostnaden för arbetskraft nästan motsvarar materialkostnaden. Utförda studier visar att år 2002 var arbetskraftskostnaden vid betongbyggnationer ungefär 40 % av byggnadens totala kostnad. (Harryson, 2002) och (Löfgren, 2002)

Ett utav de mer tidskrävande momenten är armeringsarbetet. Detta långsamma arbete, som till stor del utförs manuellt, är i dagsläget ett påfrestande hantverk som inkluderar många tunga lyft samt arbete som utförs i olämpliga arbetsställningar. På sikt är detta skadligt för armeringsarbetaren samt för kvaliteten i det utförda arbetet. Den stora tidsåtgången som armeringsarbetet upptar är givetvis även missgynnande för projektet ur ekonomisk synvinkel. (Sandberg, Hjort, 1998)

Industrialiseringen av armeringsutförandet ska ske med målsättningen att minska tidsåtgången för armeringsarbetet samtidigt som arbetsmiljön för armerarna förbättras och kvaliteten bibehålls eller förbättras.

Anpassningen av armeringsproduktionen måste ske redan i projekteringsstadiet för att uppnå bästa resultat. För att produktionsanpassa designen behöver konstruktören information om de produktionsmetoder som kommer att användas. Samtidigt finns stora svårigheter i att välja en produktionsmetod som är produktionsanpassad utan tillgång till arkitektens och konstruktörens design. Kunskapen från de olika skedena i projektet måste härav samlas för att uppnå goda produktionsanpassningar i projekteringen. (Sandberg, Hjort, 1998)

Ett led i industrialiseringen kan vara att använda sig av svetsade armeringskorgar. Denna metod används redan i dagsläget men ger upphov till vissa frågeställningar.

## 1.2 Syfte

Syftet med rapporten är att underlätta en industrialisering av armeringsarbetet vid platsgjutna slakarmerade betongkonstruktioner. En god industrialisering ska resultera i ökad lönsamhet, god arbetsmiljö och bibehållen eller ökad kvalitet i slutprodukten. Rapporten avser att förklara vad som ska göras för att uppnå en industrialiserad byggprocess. Den ska även tydliggöra vad som ingår i en industrialiserad process för byggbranschen och jämföra detta mot dagens byggprocess. På detta sätt synliggörs vad som behövs åtgärdas för att industrialisera byggbranschen.

En utvärdering av vilka armeringsprodukter och produktionsmetoder som används och vilka förutsättningar de kräver ska utföras. Resultatet ska visa på för- och nackdelar med de olika metoderna för att underlätta projekteringen.

## 1.3 Avgränsningar

Rapporten behandlar platsgjutna betongkonstruktioner där slakarmering av stål används. Kunskap och erfarenheter har hämtats från den svenska marknaden. När kvalitet behandlas avses endast kvalitet kopplat direkt till arbetet med armering och utformningen av denna.

## 1.4 Målgrupp

Initiativtagaren till projektet är NCC Teknik. Projektet är delvis finansierat av Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond, SBUF, vars syfte är att utveckla byggprocessen för att skapa bättre förutsättningar för entreprenörer inom byggbranschen. Rapporten riktar sig främst till ovanstående men även andra personer, organisationer och studenter inriktade mot byggbranschen kan finna rapporten intressant.

## 1.5 Metod

För att kunna komma fram till riktlinjer om hur en industriell byggprocess ska implementeras i byggbranschen krävs kunskaper om hur byggprocessen ser ut i dagsläget. Arbetets tyngd ligger inom områdena byggprocessen, industriell byggprocess, tillgängliga armeringsprodukter och produktionssätt för armering. Information om detta har införskaffats via en litteraturstudie av tidigare rapporter och övriga publikationer inom ämnena. Det har utförts intervjuer av personer som är verksamma inom byggbranschen för att få synpunkter på hur en ökad grad av industrialisering ska uppnås och vad det ska medföra.

Fyra byggprojekt har under arbetets gång utvärderats som fallstudier för att se hur armeringsarbetet och byggprocessen kan se ut i dagsläget. Fallstudierna har även utvärderats efter vår metod av hur en industriell process ska uppnås för att påvisa hur fortsatt utveckling kan utföras. De fyra projektet som ingår i fallstudien är:

- Centralstationen Citytunneln, Malmö
- Turning Torso, Malmö
- Lillesjöverket, Uddevalla
- Ångströmlaboratoriet, Uppsala





## 2 Byggprocessen

Byggprocessen är ett samlingsnamn för det arbete och de aktiviteter som sker från det att en idé finns tills det att en färdigställd byggnad tas i drift. Processen är komplicerad och ett fast mönster för hur processen ser ut i detalj finns inte. Vid valet av produktionsteknik, exempelvis armeringsutformningen, är det viktigt att veta vilka aktörer som behöver underrättas om detta, när i processen valet behöver ske samt av vem besluten fattas. Detta kapitel avser att förklara byggprocessen för att kunna underlätta valet av produktionsteknik.

### 2.1 Aktörer

Byggprocessen innefattar en stor skara av aktörer. Förutom de som aktivt deltar i själva processen finns även andra intressenter. Ett projekt kan påverkas av åsikter från politiska makthavare, myndigheter, föreningar och allmänheten. Detta kapitel avser att endast beskriva de aktivt deltagande aktörerna, det vill säga byggherren, projektörer och entreprenörer. (Cigen, 2003)

#### 2.1.1 Byggherren

Byggherren är en person, företag eller annan organisation med ett specificerat behov och önskemål av en ny byggnad. Byggherre är inte synonymt med beställare, även om beställare och byggherre kan vara samma person. Beställaren kan välja att anställa en byggherre att föra dennes talan. Byggherrens uppgift är att specificera funktionskraven hos byggnaden och projektets utformning vad gäller tid, kostnader etcetera. Det är även byggherrens uppgift att upphandla entreprenörer och projektörer. En privatperson likaväl som en stor myndighet kan vara byggherre. Kompetensen vid ett projekt kan härav skilja sig stort från fall till fall.

#### 2.1.2 Projektörer

Projektörer är i detta kapitel en sammanfattande benämning som innefattar arkitekter, byggnadskonstruktörer och installationskonsulter. Deras arbete ligger i att hitta tekniska lösningar och utforma dessa för att möta byggherrens krav.

I Sverige arbetar arkitekter mycket med utformningen av byggnaden med avseende på konstnärliga, användaranpassade och konstruktionsanpassade aspekter. Internationellt har arkitekten ofta en mer framstående roll i hela byggprocessen och kan även agera som projektledare. (Cigen, 2003)

Byggkonstruktören ska dimensionera byggnadens delar. Konstruktören kan ha flera olika spetskompetenser och inte sällan används flera olika konstruktörer vid samma byggnad. Grundläggningen dimensioneras exempelvis alltid av konstruktörer med höga geotekniska kunskaper. Det är vanligt att större konsultfirmor har flera expertkompetenser inom företaget såsom betongkonstruktion, stålkonstruktion, brokonstruktion och så vidare.

Installationskonsulter är en samlingsbenämning på experter inom VVS, el, reglersystem etcetera.

### 2.1.3 Entreprenörer

Byggentreprenörens uppgift är att uppföra byggnaden, detta är det största arbetet under byggproduktionen. Den svenska marknaden representeras av tre stora rikstäckande byggentreprenörer, Skanska, NCC och PEAB, samt väldigt många små entreprenörsfirmor. Förekomsten av medelstora byggentreprenörer är liten. Vid sidan av byggentreprenörerna finns även stora entreprenörsfirmor inom el-, VVS- och måleribranschen representerade på byggarbetsplatsen. (Cigen, 2003)

## 2.2 Olika entreprenadformer

Byggherren kan välja vilken entreprenadform som ska användas vid ett projekt beroende på hur mycket inflytande och hur stor påverkan som önskas i projektet. Valet kan även bero på hur byggherrens egen organisation ser ut. Graden av ansvar för byggherren varierar också beroende på vilken form av entreprenad som väljs. Nedan beskrivs några av de vanligaste entreprenadformer som används idag. (Byggledarna, 2007) och (Cigen, 2003)

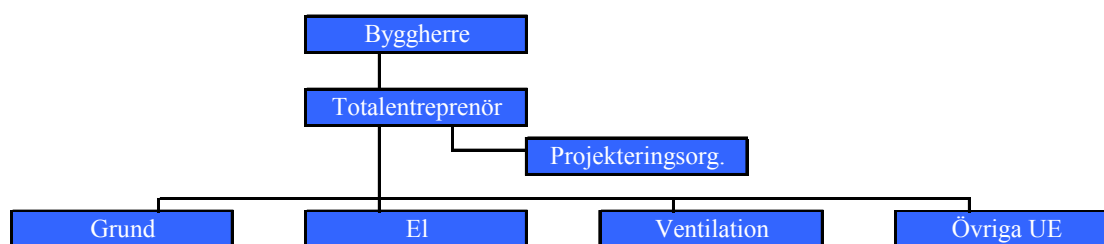
### 2.2.1 Totalentreprenad

Entreprenadformen utgår ifrån att byggherren skriver kontrakt med en enda entreprenör som då benämns totalentreprenör. Denna entreprenör kan sedan i sin tur anlita underentreprenörer, UE, som berör olika delar av byggarbetet. Arbetet utgår ifrån ett förfrågningsunderlag från byggherren som ofta endast består av de funktionskrav som finns specificerade för byggnationen, därför kallas denna entreprenadform ibland även för funktionsentreprenad. Valet av entreprenör sker efter en anbudsfas där flera olika aktörer kan lämna in förslag. Byggherren väljer därefter att skriva kontrakt med den aktör som lagt det mest fördelaktiga förslaget.

Förfrågningsunderlaget kan även bestå av övergripande ritningar och en kortfattad teknisk beskrivning, dock utan mer detaljerade handlingar. Entreprenadformen kan då kallas styrd totalentreprenad eller tidig upphandling.

Totalentreprenören åtar sig att uppföra byggnaden enligt förfrågningsunderlaget och de gällande normer som finns. Det är även totalentreprenören som ansvarar för projektering, material, eget arbete och även det arbete som utförs av eventuella underentreprenörer.

Totalentreprenad är fördelaktigt för byggherren då endast ett kontrakt behöver beaktas och det därför endast finns en motpart. De administrativa kostnaderna kan på detta sätt minimeras. En nackdel kan vara att den färdiga byggnaden får höga drift- och underhållskostnader till följd av att totalentreprenören använder sig av de billigaste lösningarna som uppfyller beställarens funktionskrav. Detta kan undvikas genom väl specificerat förfrågningsunderlag. I Figur 2.1 visas organisationsuppbyggnaden vid totalentreprenad. (Konsumentverket, 2007), (Byggahus.se, 2007) och (Byggledarna, 2007)



Figur 2.1 Organisationsuppbyggnad vid totalentreprenad med grundtanke från Bygglidarna (2007).

### 2.2.2 Partnering

Partnering är en entreprenadform som använts i relativt liten utsträckning i Sverige. Däremot har den använts mer i andra länder med goda resultat. Utmärkande för partnering är att de aktuella aktörerna kommer in i projektet i ett tidigt skede och har stora möjligheter till att påverka under projekteringen. De olika aktörerna arbetar mot ett gemensamt mål med gemensam ekonomi och gemensamma aktiviteter. För ett lyckat samarbete krävs att det finns förtroende och tillit mellan de olika aktörerna. All ekonomi sker med öppna böcker vilket innebär att de olika aktörerna har full insyn i varandras ekonomi.

NCC beskriver partnering i fyra punkter: (NCC, 2007)

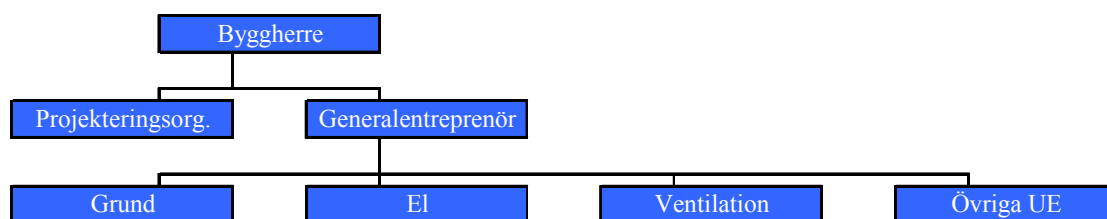
1. **Samarbetet startar** - Parter väljs, ekonomiska ramar, organisation och övriga resurser spikas. Individuella sammansättningen i gruppen blir mycket viktig då inte lägsta pris har någon inverkan.
2. **Projektutformningen** - Man inleder med en workshop för att alla ska lära känna varandra och gå igenom rambeskrivningar och projektförslag. Man skapar en "affärsidé" som följer hela projektet och som alla ska känna till. Budget, tidplan och kvalitetsnivå bestäms.
3. **Projektutförande** - Nu följer huvudprojektering och utförande med ständig avstämning mot pris, tid och kvalitet.
4. **Uppföljning** - Projektet överlämnas, med fem års garanti med möjlig koppling till drift och underhåll.

### 2.2.3 Generalentreprenad

Vid generalentreprenad utför byggherren projekteringen på egen hand eller med hjälp av t.ex. arkitekt och/eller konsult. Detta innebär att bygghandlingar i form av ritningar och tekniska beskrivningar tas fram för byggnaden. Därefter upphandlas en entreprenör, som då kallas generalentreprenör, för att utföra arbetet som i sin tur kan anlita flera underentreprenörer. Det är generalentreprenören som har ansvaret för de underentreprenörer som anlitas och deras arbete.

En skillnad mellan generalentreprenad och totalentreprenad är att det ger byggherren en ökad inverkan på byggnadens utförande. För en erfaren och kunnig byggherre kan detta vara positivt medan det kan vara negativt för en oerfaren byggherre. I Figur 2.2

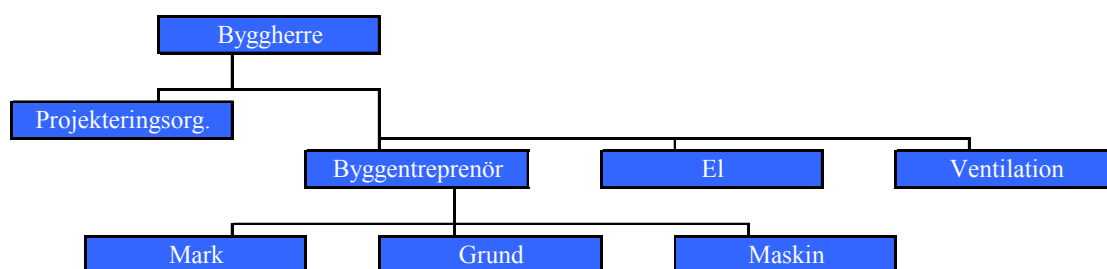
visas organisationsuppbyggnaden vid generalentreprenad. (Byggahus.se, 2007) och (Byggledarna, 2007)



Figur 2.2 Organisationsuppbyggnad vid generalentreprenad med grundtanke från Byggledarna (2007).

## 2.2.4 Delad entreprenad

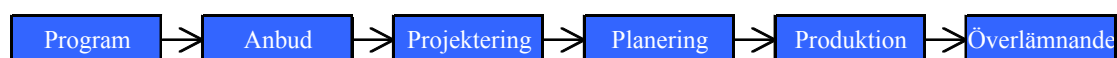
Vid delad entreprenad har byggherren kontrakt med projektörer samt flera entreprenörer. Oftast har byggherren själv ansvar för styrningen i projektet vilket ger ett stort inflytande. Detta kan leda till att byggherren får möjlighet till att göra aktiva val som kan leda till minskade kostnader. Det är även möjligt att ansvaret för samordning lämnas över på en av entreprenörerna. Vanligast är det att byggentreprenören får ta detta ansvar, byggentreprenören kallas då huvudentreprenör. Byggentreprenören kan anlita underentreprenörer för att utföra delar av arbetet. Vid sådana fall är det byggentreprenören som ansvarar för arbetet som utförs av underentreprenörerna. I Figur 2.3 visas organisationsuppbyggnaden vid delad entreprenad. (Cigen, 2003), (Byggledarna, 2007) och (Byggahus.se, 2007)



Figur 2.3 Organisationsuppbyggnad vid delad entreprenad med grundtanke från Byggledarna (2007).

## 2.3 Byggprocessens utseende

En möjlig huvudindelning kan göras i inledande utredning, projektering, byggande och idrifttagande. Utöver dessa kan även initieringsstadiet och förvaltningsskedet nämnas. Dessa innefattar hur en idé initieras samt hur byggnaden brukas efter sitt färdigställande. Processens utseende varierar från projekt till projekt, framförallt på grund av vilken entreprenadform som tillämpas. Figur 2.4 visar uppdelningen av de olika skedena i byggprocessen vid en totalentreprenad. Vid andra entreprenadformer ser ordningen annorlunda ut.



Figur 2.4 Skeden i byggprocessen vid totalentreprenad.

### 2.3.1 Programskedet

Då en tomt finns och kunden har specificerat sitt lokalbehov och beskrivit den tänkta verksamheten, det vill säga då initieringsstadiet genomgånget, påbörjas en inledande utredning vilken är en inledande del i programskedet. Denna del av programskedet kallas ibland för utredningsskedet. Utredningen undersöker inledningsvis tomtens beskaffenhet och innefattar även en inledande miljöanalys. Med hänsyn till dessa görs ett kostnadsöverslag som avgör om vidare utredning ska ske.

Om beslut tas att utredningen ska fortsätta utförs en mer detaljerad tomtutredning. Verksamhetsplanen omarbetas till funktionskrav och tekniska specifikationer tas fram. Utredningen resulterar i programhandlingar som är en sammanställning av de krav som byggnaden ska uppfylla. Fortsatt projektering ska alltid utföras med hänsyn till dessa programhandlingar. (Ekström, 2003)

I de fall då rätt kompetens inte finns hos byggherren för att utföra utredningsskedet anlitas extern kompetens. Det är vanligt att byggherren anlitar arkitekter och tekniska konsulter i detta skede. (Cigen, 2003)

Programhandlingar innehåller normalt följande delar: (Ekström, 2003)

- Förutsättningar i form av områdesbeskrivning, myndighetskrav, gjorda inventeringar, tekniska undersökningar, uppmätning, upphandling, förvaltningsorganisation med mera
- Verksamhetsbeskrivning med orientering om verksamhetens mål, inriktning och omfattning, organisationsstruktur med mera
- Lokalprogram innehållande samband mellan lokalerna samt lokalernas funktion, area, utrustning och inredning
- Tekniska krav på mark, hus, installationer med mera
- Miljöprogram som formulerar kraven på relationen verksamhet/byggnad/människa
- Kostnadsram som avser investerings- och årskostnader
- Tidplan

Vid en totalentreprenad är det programhandlingar som lämnas ut som anbudsunderlag för upphandling av entreprenör.

### 2.3.2 Förprojekteringsskedet

Förprojekteringsskedet och det efterföljande bygghandlingsskedet utförs i syfte att hitta lösningar till de krav som sammanställts under utredningsskedet. Förprojekteringsskedet består i två delar, förslagshandlingsskedet och huvudhandlingsskedet.

#### Förslagshandlingsskedet

I förslagshandlingsskedet ska flera olika lösningar värderas med avseende på de krav

som ställs i programhandlingarna. Lovande lösningar presenteras i en förslagshandling som ska ligga till grund för fortsatt projektering av huvudhandling. Förslagshandlingarna ska fungera som en överskådlig presentation av projektets utformning med hänvisning till programhandlingarnas krav.

Förslagshandlingar kan innehålla: (Ekström, 2003)

- Situationsplan
- Våningsplaner, snitt och vyer av fasader
- Planer och snitt avseende bärande stomme
- Installationssystem, scheman, planer och snitt
- Perspektivskisser
- Modeller
- Beskrivning med motivering av förslaget utformning
- Budget

### **Huvudhandlingsskedet**

I huvudhandlingsskedet ska utformning, planlösning och huvudprinciper för konstruktionen fastställas. Motsvarande gäller för installationstekniska detaljer och dess utrymmen. Dimensionerande data och gällande kriterier ska tas fram. En riskanalys ska utföras. Då behov finns ska lösningar omarbetas för att förutsedda faror ska kunna reduceras till acceptabla nivåer. Sammanfattningsvis ska huvudhandlingar vara så pass utförligt gjorda att endast detaljutformning återstår i bygghandlingsskedet. Detta innebär att samtliga systemutformningar och tekniska lösningar ska vara fastställda. (Ekström, 2003)

Byggnadens huvudmått ska fastställas genom studier av kritiska snitt. Alla snitt som kan påverka de yttre måtten av byggnadsdelar ska vara studerade. Optimala lösningar ur kostnads- och kvalitetssynpunkt ska eftersträvas och alternativ ska studeras då en lösning inte är självklart bäst lämpad. Dessa jämförelser ska dokumenteras tillsammans med motivering för vald lösning. (Ekström, 2003)

Under förprojekteringsskedet används många olika kompetenser. Med syfte att arbeta fram en kostnadskalkyl involveras kalkylatorer, inköpare, entreprenadingenjörer, arbetschef, tilltänkt platschef med flera. För att få fram de ritningar och beskrivningar som ingår i handlingarna används flera kompetenser. Största rollerna innehas normalt av arkitekten och byggnadskonstruktören. I och med att byggnader blivit allt mer installationstäta har behovet av VVS- och el-konstruktörer ökat vilket bidragit till ett stort behov av installationskonsulter. (Cigen, 2003)

Huvudhandlingar kan innehålla: (Ekström, 2003)

- Situationsplan som redovisar hus, mark, VA och el

- Våningsplaner, snitt och vyer (fasader), som redovisar hus, luftbehandling, värme och sanitet, el, styr och övervakningssystem, inredning med mera
- Planer och snitt som redovisar storlek på schakt och aggregatrum samt förläggning av huvudstråk för kanalisation
- Scheman, flödesscheman (luftbehandling, värme och sanitet, el med mera)
- Anläggnings- och byggdelsbeskrivning samt typrumsbeskrivning
- Kostnads kalkyl

Huvudhandlingar är de handlingar som överlämnas med anbudet från entreprenören vid en totalentreprenad.

### **2.3.3 Bygghandlingskedet**

Bygghandlingsprojekteringen, även kallad detaljprojekteringen, inriktar sig på dimensioneringar och detaljstudier samt koordinering av lösningar. Det är det mest tidskrävande skedet under projekteringsprocessen. Detaljprojekteringen ska resultera i kompletta ritningar och tillhörande beskrivningar, så kallade bygghandlingar. Dessa ska vara utformade med beaktning av produktionsmetod samt förtydliga eventuella risker och möjligheter vid utförandet. (Ekström, 2003)

Det är under detta skede av yttersta vikt att de skilda konsultgrupperna har ett nära samarbete sinsemellan. De ingående kompetenserna är desamma som vid förprojekteringskedet. En bra koordinering i projekteringen är nödvändig för ett bra slutresultat. (Cigen, 2003)

Vid generalentreprenad och delad entreprenad upphandlas entreprenörer med uppdraget att uppföra byggnaden enligt bygghandlingarna.

### **2.3.4 Byggskedet**

Entreprenören ser i detta skede till att de projekterade planerna tar fysisk form. Arbetet ligger i att koordinera och hantera material och personal. Tempot är högt och misstag som görs kan få betydande konsekvenser i tid och pengar. Platschefen är en central person i detta skede och spelar en nyckelroll med stora befogenheter. (Cigen, 2003)

### **2.3.5 Idrifttagande**

Idrifttagande av byggnaden, även kallat överlämningskedet, sker då byggskedet är i sin slutfas. Skedet går ut på att man besiktigar byggnadens olika funktioner innan överlämnandet till byggherren. Det kan vara nödvändigt att under projekteringsfasen fastställa ett besiktningssprotokoll för att kontinuerligt kunna utföra besiktningar av konstruktionen. Detta för att säkerställa att samtliga kontroller hinner utföras innan överlämnandet. Vid själva överlämnningen av byggnaden ska dokumentation innehållande beskrivningar för handhavande och underhåll också överlämnas till byggherren. (Cigen, 2003)

## 2.4 Förutsättningar vid införande av ny teknik

Användningen av olika tekniker ser olika ut för de olika entreprenadformerna. Detta beror mycket på att beslutsordningen ser olika ut samt att det i de olika entreprenadformerna är olika aktörer som fattar de avgörande besluten.

Det viktigaste vid införandet av en ny teknik är att de olika aktörerna är villiga att använda sig av den. För att uppnå detta är det viktigt att visa på fördelar som kommer att gynna de olika aktörerna i form av ekonomiska fördelar, tidsvinster och dylikt. En ökning av industrialiseringsgraden för armering är ett bra exempel på detta.

Vid partnering kan användandet av en ny teknik innebära förtjänster för alla inblandade i projektet. Därför anses just denna entreprenadform vara gynnsam i detta avseende. Vilken aktör som föreslår en ny teknik kan därför spela mindre roll så länge alla aktörer är överens om fördelarna som det skulle medföra.

Då byggherren är intresserad av att använda sig av en ny teknik kan han med enkelhet införa detta som ett krav i till exempel programhandlingarna. Det spelar då ingen större roll vilken form av entreprenad som har valts eftersom arbetet måste utföras enligt byggherrens krav. För att användningen av den nya tekniken ska medföra de önskade effekter som avses är det viktigt att de entreprenörer som kommer att utföra arbetet får nödvändig information. Det ligger i byggherrens intresse att entreprenörerna får den kunskap som behövs. Detta kan även gälla för projektörerna då till exempel en speciell armeringsutförning kan kräva viss planering på projekteringsstadiet så att ritningar och bygghandlingar utformas så fördelaktigt som möjligt.

När generalentreprenad används är det nästan ett måste att byggherren inför den nya tekniken för att den ska kunna användas. Generalentreprenören har svårt att på egen hand införa ny teknik då denne är tvingad att följa byggherrens anvisningar för bygget.



### 3 Industrialiserad process

Tanken med industrialiserat platsbyggande är inte att standardisera byggnaderna i sig. Platsbyggda konstruktioner ska även i fortsättningen ha kvar fördelen att kunna varieras i all oändlighet i sin utformning. En industrialisering är avsett att resultera i klarare riktlinjer för hur projektering och produktion ska ske för att effektivisera byggprocessen. Målet är att enskilda projekt ska vara mindre tidskrävande och så enkla som möjligt att utföra. För kundens del ska det resultera i en slutprodukt som håller hög kvalitet och inte kostar mer än nödvändigt.

I dagsläget är det platscheferna ute på byggena som i stort styr hur produktionen i ett projekt ska ske. De gör oftast som de alltid gjort och det finns inget eller litet utbyte av erfarenheter med andra platschefer. I en industrialiserad process ska likadana arbetsuppgifter lösas enligt samma principer oberoende var bygget sker och vem som är platschef. (Hyll, 2007)

Nedan visas en lista på fördelar som en industrialisering kan medföra:

- Minskade byggkostnader
- Minskade byggtider
- Reducering av antalet fel i produktionen
- Reducering av upprepning av fel i produktionen
- Ökad spridning av ”smarta produktionslösningar”
- Ökad kunskap om byggprocessen hos alla inblandade aktörer
- Underlättar arbetet för mindre erfaren personal

Ett vanligt missförstånd är att det med industrialisering menas ökad automatisering och prefabricering. Istället avses en standardisering av det sätt som arbetet utförs på. En ökad grad av automatisering, till exempel användning av najningsmaskiner, innebär inte i sig själv en ökad grad av industrialisering. Om det finns en standard för när najmaskin ska och inte ska användas går det att sätta ett pris på arbetet som ska utföras. På detta sätt blir arbetet mätbart och det kan då bli en del i en industrialiserad process. På samma sätt är det med prefabricering, det kan vara ett verktyg i en industrialiserad process men innebär inte i sig självt en ökad grad av industrialisering. Lean Production kan nämnas som en förebild vid industrialiseringen av byggbranschen. (Engström, 2007)

#### 3.1 Lean Production

Konceptet Lean Production bygger på kontinuerlig utveckling av den produktion som sker genom ständiga förbättringar. Främst avser förbättringarna att minimera mängden slöseri. Alla steg i produktionen som inte skapar något värde åt slutprodukten för kunden räknas som slöseri. Exempel på detta är arbete som går åt till att rätta till fel, transporter av material och den tid som går åt att hämta rätt

verktyg. Det som önskas att uppnå är ett produktionssystem som fungerar som ett kontinuerligt flöde utan slöseri. Begreppet bygger på en undersökning av bilindustrin som gjordes av Massachusetts Institute of Technology 1979. Det finns många likheter med det sätt att arbeta som den japanska biltillverkaren Toyota använder sig av, the Toyota Produktion System (TPS), då detta ligger som grund för Lean Production.

Liker (2004) beskriver 14 punkter som är grundtankarna i TPS. Toyotas tankar om produktion riktar sig främst till tillverkningsindustrin men många av tankesätten är även applicerbara på andra branscher. Byggbranschen är inget undantag. Nedan beskrivs de 14 punkterna: (Liker, 2004) och (Johansson, Nord, 2007)

1. Basera ledningsbeslut på långsiktiga filosofier, även på bekostnad av kortsiktiga ekonomiska mål.
2. Skapa kontinuerligt flöde i processen för att synliggöra brister.
3. Använd ”pull”-system för att undvika överproduktion. (produktion sker efter beställning)
4. Utjämna arbetsbelastningen.
5. Skapa en företagskultur som stoppar produktionen för att lösa problem så att kvaliteten blir rätt första gången.
6. Standardiserade uppgifter är grunden till kontinuerliga förbättringar.
7. Använd visuell kontroll så att inga problem göms.
8. Använd endast pålitlig och grundligt testad teknologi.
9. Ta fram ledare som verkligen förstår arbetet, lever filosofin och lär ut den till andra.
10. Utveckla enastående arbetare och grupper som följer företagets filosofi.
11. Respektera ditt nätverk av partners och underleverantörer genom att utmana dem och hjälp dem att förbättras.
12. Gå och titta själv för att verkligen förstå situationen.
13. Ta beslut sakta genom samstämmighet, utvärdera noggrant, genomför besluten snabbt.
14. Bli en lärande organisation.

TPS innebär i stort ett system som ger de anställda förutsättningar till att ständigt förbättra och utveckla produktionen och sitt eget arbete. Det kan sägas vara mer en kultur än en teknik för att förbättra processen. För att ett företag ska lyckas med att införa Lean Production är det viktigt att alla anställda i företaget accepterar den nya kulturen. (Liker, 2004)

## 3.2 Förutsättningar för en ökad grad av industrialisering

### 3.2.1 Ledningsbeslut

Under en industrialisering införs nya processer och arbetssätt. Nya processer kan dras med "barnsjukdomar" och vara i behov av viss intrimning. På kort sikt kan nya processer då ge upphov till ökade kostnader där de används. Om valet av process och tillhörande tekniker ligger på platschef/projekteringsledare, som vill driva sitt projekt med vinst, kan detta leda till att den nya processen slopas. Genom att se till hela företaget, istället för enbart enskilda projekt och kortsiktiga besparingar, kan arbetssätt som ger ekonomisk vinning på lång sikt tas fram. De som har överblick men samtidigt insyn och inflytande över företagens verksamhet måste följaktligen vara med i en industrialisering.

För att få till den förändring som krävs inom byggbranschen krävs klara besked från företagsledningen om vad som ska göras och hur det ska införas. Förändringen måste vara något obligatoriskt och inte något som uppmanas att göra när personalen har tid eller känner för det. För att direktivet ska nå hela vägen ut till byggarbetsplatserna och få genomslagskraft är det viktigt att personerna som sitter på mellanposterna även de känner ett engagemang och en vilja till förändring.

I dagsläget finns två tydliga incitament för ledningen att ta beslut om en industrialisering:

- Industrialisering kan minska byggtiderna samtidigt som behovet av arbetskraft minskar. Bristen på personal inom byggsektorn kan därmed bemötas med en industrialisering.
- Kostnaderna i varje enskilt projekt kan minskas med en industrialisering

### 3.2.2 Standardisering och ständig förbättring

Något som är viktigt att tänka på när förändringar ska införas är att de grundar sig i den nuvarande situationen. Steg ett måste vara att kartlägga verksamhetens olika moment i form av tidsåtgång, kostnad och effektivitet. Om det visar sig att saker inte är mätbara måste de standardiseras så att en mätning blir möjlig. Detta är ett krav för att utveckling ska kunna ske, för hur ska man veta att det skett en förbättring om det inte går att mäta? Målet är att gå ifrån det traditionella mer hantverksmässiga arbetet och närma sig en mer industriliknande produktion. Genom att använda inarbetade standardlösningar på detta sätt behöver inte hjulet uppfinnas för varje projekt. Finns en bättre lösning än standardlösningen ska denna dokumenteras och ersätta den befintliga standardlösningen. Om den föreslagna förbättringen skulle visa sig vara sämre än den befintliga standardlösningen ska även detta dokumenteras.

De produktionstekniker som man vill använda sig av som standardlösningar samlas i en "verktyglåda". Vid projektering av framtida projekt används sedan de standardlösningar som passar bäst ur "verktyglådan" för det aktuella projektet.

Kartläggningen av verksamheten har ytterligare fördelar. I dagsläget hamnar problemen som uppstår med att välja produktionsmetod egentligen inte hos konstruktörer och produktionspersonal. Istället faller problemet på kalkylatorer och

planerare som har svårt att sätta siffror på alla nya metodval. (Mörnstad, 2007), (Hyll, 2007) och (Liker, 2004)

### **3.2.3 Företagskultur, enighet i tankesätt**

I dagsläget krävs eget initiativ för att få information om nya tekniker och för att få tillgång till andras erfarenheter. Detta medför en stor begränsning i spridandet av nya tekniker. Det är av yttersta vikt att erfarenheter inom företaget dokumenteras och sprids för att få en industrialisering att fungera. För att få ett helt företag att jobba mot ett gemensamt mål krävs det att alla är införstådda med vad som ska uppnås och hur det ska uppnås. Ett gemensamt sätt att tänka på, eller företagskultur, kan vara vägen till att uppnå detta. Att genomföra en sådan förändring i ett stort företag är svårt att lyckas med. Det finns alltid folk på olika positioner som anser sig ha ett eget sätt som är bättre att arbeta på eller att det gamla sättet var bättre. (Liker, 2004)

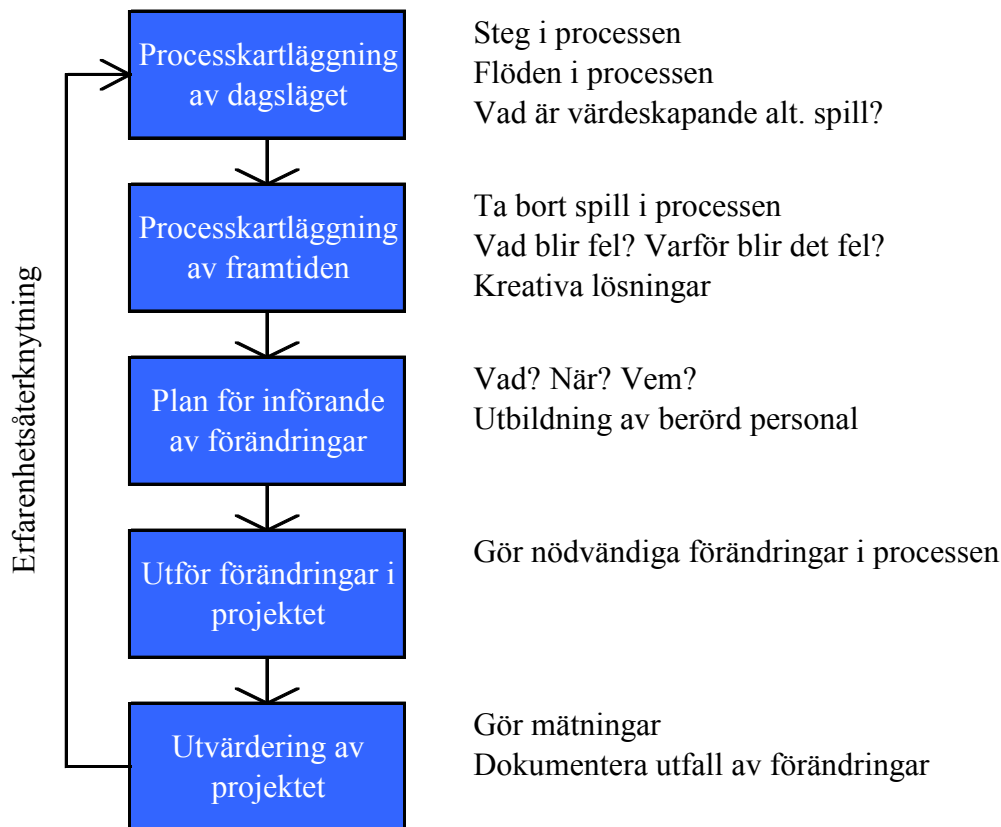
Idag kan det på vissa håll finnas konkurrens inom företaget, både mellan kontoren och inom avdelningar. Det kan då vara så att folk håller inne med sina kunskaper för att kunna prestera bättre resultat än sina ”konkurrenter” inom samma företag. Detta är ett önskat beteende som missgynnar företaget och därmed även de anställda.

För att lyckas med att öka graden av industrialisering i ett byggföretag kan det vara nödvändigt att ha personal som aktivt arbetar med erfarenhetsåterföring. I byggföretag saknas idag detta vilket antagligen beror på att företagen hittills har klarat sig ändå. Skulle ett byggföretag börja med att aktivt arbeta med erfarenhetsåterknytning och utveckling av byggprocessen kan det ge stora fördelar gentemot konkurrenterna. (Gabrielii, 2007)

I byggbranschen idag finns det även ett par saker som direkt motarbetar en ökad grad av industrialisering. Användandet av ackord för byggarbetare och de bonussystem som konsulter upphandlas på är två exempel på detta. Byggarbetare som arbetar på ackord har inget som helst intresse av att ta sig tid till att utvärdera sitt eget arbete och se om det kan förbättras. I längden skulle det kunna leda till snabbare produktion, vilket med säkerhet skulle gynna både arbetaren och företaget i längden. Sett ur arbetarens perspektiv skulle det på kort sikt leda till en minskning av produktionen och därmed lägre lön. Bonussystemet för konstruktörer som upphandlas är ofta baserat på att de ska minimera mängden material i projektet. Detta arbete kan senare få konsekvensen att produktionen blir svårare och dyrare, något som dock inte påverkar bonusen. (Alfredsson, 2007), (Hyll, 2007) och (Wally, 2007)

## **3.3 Hur en industrialisering ska ske**

Att de problem som uppstår ute på byggarbetsplatserna löses på plats är i sig inget problem. Men i en industrialiserad byggprocess förutsätts att det frågas varför problemet uppstått. De som varit inblandade i att skapa problemet kontaktas sedan för att gemensamt ta fram en lösning för att undvika att samma fel uppstår igen. Även detta är viktigt att dokumentera och sprida. Det som är viktigt att komma ifrån är tankesättet som idag ibland finns under projekteringen att det inte alltid behövs fullständiga arbetsbeskrivningar då det löser sig på plats. Figur 3.1 visar ett schema över en industrialiserad process och hur ständiga förbättringar ska uppnås. Detta kapitel beskriver hur en industrialisering bör ske.



Figur 3.1 Schema över en industrialiserad byggprocess med grundtanke från Liker (2004).

### 3.3.1 Hitta möjligheter till förbättringar

Innan en industrialiserande åtgärd kan introduceras ska en kartläggning av traditionella projekt göras. Ur kartläggningen ska det kunna gå att utläsa var det finns möjligheter till förbättringar. Spill och onödiga steg i produktionen ska på detta sätt åskådliggöras. Meningen är inte att det ska kunna påvisas vem som gör fel utan vad det är som görs fel och sedan rätta till detta. Att skylla felen på någon är onödigt då det är tidskrävande och anses vara en handling som endast resulterar i slöseri. (Liker, 2004)

Att kartlägga ett projekt i detalj kan leda till att allt blir en enda röra, därför bör man i början se till projektet i stort. Förändringar bör först utföras på de ställen som det finns uppenbara problem. I fortsättningen kan sedan processen brytas ner ytterliggare för att åskådliggöra problem som behövs åtgärdas även på en lägre nivå. Enklast är det att börja med de steg i processen som inte skiljer sig eller bara har små avvikelser från projekt till projekt.

### 3.3.2 Preciserat problem och hitta kreativ lösning

När kartläggningen av hur processen ser ut i dagsläget har gjorts ska tydliga mål på förbättringar utformas. Målen får gärna vara högt satta för att utmana de inblandade deltagarna som driver denna utveckling. För att nå målen ska nu lösningar arbetas fram till de problem som tidigare identifierats. Man kartlägger parallellt hur den

framtida processen skulle se ut med dessa lösningar och bestämmer sig så småningom för det mest lovande alternativet.

### **3.3.3 Inför förändring i processen**

Nu när det finns en känd, ny process som ska användas är det dags att planera för införandet av den. Man vet vad som ska göras, nu gäller det att specificera hur det ska göras, när det ska göras och vem som ska göra det.

När införseln av en förändrad process sedan sker bör det först införas i liten skala på enskilda projekt. Om införseln sker i för stor utsträckning finns det stor risk för att överskådligheten försvinner och därmed även mätbarheten. Förslaget är att det arbetas fram ett eller ett par pilotprojekt där ett antal nya metoder prövas. Exempel på saker som bör tas i beaktning i ett sådant projekt listas nedan:

- Alla inblandade i projektet deltar även under projekteringen
- Standardiserad produktion av armering
- Fel som uppstår i produktionen förmedlas till projekteringsgruppen som analyserar vad som gick fel och varför och därefter kommer upp med lösning till nästkommande projekt
- Vid avslutat projekt analyseras projekten och en utvärdering görs av vad som kan förbättras till kommande projekt
- Avstå från kortsiktiga vinster/besparingar till förmån för långsiktig ekonomisk vinning
- Få en företagskultur som uppmuntrar till ständiga förbättringar
- Ändra bonussystemen för konsulterna (sträva inte efter minsta möjliga armeringsmängd utan se till helheten)

Under tiden som ett projekt pågår finns det även utrymme för förbättringar. Byggarbetarna kan komma med egna förslag på förbättringar i sitt eget arbete och införa dem under projektets gång.

### **3.3.4 Utvärdera förändring**

Alla förändringar ska dokumenteras och erfarenheterna ska spridas. Först när de införda ändringarna har utvärderats blir det tydligt om önskat resultat uppnåddes. Utifrån detta kan beslut tas om det är värt att använda sig av de nya metoderna även i andra projekt. Om så är fallet ska dessa erfarenheter spridas och kommer då att hamna som ingående data när kartläggning av processen i dagsläget sker. Det ges då möjlighet att ytterliggare förbättra metoderna när sedan kartläggningen av den framtida processen görs för det nya projektet. På detta sätt uppstår en ständig utveckling av byggprocessen om arbetet utförs som det ska. (Liker, 2004)

### 3.3.5 Sprid erfarenheter

Erfarenhetsåterknytning är en mycket viktig del i ett projekt. Framförallt vid införande av nya tekniker då erfarenheter från ett enskilt projekt kan ligga som grund för flertalet andra projekt. Eventuella ”barnsjukdomar” som uppstod i tidigare projekt kan på så sätt även undvikas. Det är viktigt att erfarenhetsåterknytningen tas på allvar och utförs grundligt, det är även av yttersta vikt att även de negativa erfarenheterna dokumenteras. Annars, om fel byggs in i systemet, leder detta till att samma fel sker överallt där systemet används.

När en metod för hur ett projekt ska utföras har arbetats fram ska metoden spridas inom företaget. Då en spridning i stor skala ska ske kan det vara nödvändigt med utbildning av personalen. Utbildningen bör ske i närhet med produktionen rent tidsmässigt för bästa resultat. En idé är att de båda sker parallellt genom att en person som varit inblandad i tidigare projekt där metoden har använts går med i det nystartade projektet där metoden ska tillämpas. (Liker, 2004)

Då förändring av processen sker under ett pågående projekt utan att ha varit en standardiserad förbättring ska även denna utvärderas. Erfarenheterna, positiva som negativa, ska givetvis också spridas för att den önskade effekten med industrialisering ska uppnås.

## 3.4 Nya tekniker

En industrialisering syftar som sagt till en standardiserad produktionsprocess under ständig utveckling. Industrialisering av byggprocessen kan exempelvis ske i form av standardiserade inköpsavtal eller användning av en viss gipsskiva. Inte sällan innebär en industrialisering också satsning och användning av nya produktionstekniker. Som beskrivs i kapitel 3.3.2 och 3.3.3 ska nya processer och produktionstekniker till en början introduceras i mindre skala. Det är viktigt att rätt teknik väljs och att den introduceras på ett lyckat sätt.

### 3.4.1 Projektering

För att ett projekt ska kunna bli så lönsamt som möjligt är det viktigt att projekteringen sker på ett sådant sätt att produktionen anpassas till projektets förutsättningar. Erfarenheter från tidigare projekt inom hela företaget bör, då sådana finns, inhämtas som underlag vid projektering. Det har under intervjuer påpekats att det är av yttersta vikt att goda kunskaper om olika tekniker finns inom projekteringsgruppen.

Valet av teknik är ofta långt ifrån entydigt. Sex stycken erfarna produktionsledare har under intervjuer varit överrens om att den tekniskt enklaste tekniken alltid bör väljas. Om så görs uppnås, enligt de intervjuade, per automatik en god ekonomi i projektet samtidigt som kvaliteten säkras. Detta bottnar i att få arbetstimmar krävs för en teknik som är enkel i sitt utförande samtidigt som garantikostnaderna är låga för en konstruktion med hög kvalitet. (Claeson-Jonsson et al. 2005)

Fortsatt projektering bör sedan anpassas efter valt produktionsteknik. Till exempel om förtillverkade armeringskorgar har beslutats att användas ska konstruktören i samarbete med produktionsledningen anpassa konstruktionen för att underlätta

tillverkningen i fabrik och armeringsstation. Det är lämpligt att konstruktionen delas in i sektioner som lämpar sig väl för förtillverkning. Begränsningar i storlek och vikt måste beaktas med hänsyn till hantering och transporter. För att underlätta vid produktionen bör även arbetsritningar, och inte bara konstruktionsritningar, tas fram. Enkelhet och repetition i konstruktionens utformning är något som bör eftersträvas.

### 3.4.2 Produktion

Nya produktionstekniker kräver givetvis omstruktureringar och innebär nya arbetssätt på byggarbetsplatsen. Då mer industrialiserade metoder utvecklas går arbetet från att vara hantverksmässigt till mer fabrikslik produktion. De nya arbetsvillkoren ställer nya krav på yrkesarbetarna och för att framgång enklare ska kunna nås med teknikerna behövs utbildning. Byggnationen av bron över Innanbäcken i Kalix var pilotprojekt för användning av rullarmering vid brobygge i Sverige. Metoden mottogs väl av yrkesarbetarna och blev en framgång. Dock hade större vinster kunnat uppnås och färre problem uppstått om yrkesarbetarna fått information om arbetsmetoden. Vid det aktuella projektet hade ingen information om arbetsmetoder delgetts yrkesarbetarna. (Kjellström, Nordmark, 2007)

Huruvida arbetsmetoderna som blir aktuella vid införandet av en ny teknik påverkar arbetsmiljön positivt eller negativt är dock inte entydigt utan kan skilja sig mellan olika tekniker. Vad gäller nya tekniker inom arbetet med armering så är det svårt att helt komma undan de belastande moment som karakteriserar traditionellt armeringsarbete. Framförallt gäller detta arbetet i formen när kompletterande järn ska läggas in och vid sammanfogning av armeringskorgarna. Exempelvis så krävs det kompletterande armeringsarbete vid användning av rullarmering för att fixera den samt för att ”kila in” uppstickande järn. Dock minskar dessa arbeten i omfattning i olika hög grad beroende på utformningen. Enligt Sandberg och Hjort (1998) innebär användandet av prefabricerad armering en drastisk förbättring av armerarens ergonomiska situation. Byggtiden förkortas dessutom avsevärt om tiden för efterkomplettering kan minskas.

Idag är det mer eller mindre accepterat att det uppstår fel i produktionen. För att uppnå en industriell produktion räcker det inte att felet löses på plats. Det är viktigt att den verkliga orsaken till felet hittas. Detta kan göras genom att fråga varför felet uppstod och spåra bakåt i processen. När den verkliga orsaken till felet är identifierad åtgärdas denna. Den eller de personer som orsakade felet bör få uppleva felet i produktionen. Detta ger en större förståelse av vad som var fel och varför det var fel. Det tydliggör även vilka möjligheter som finns för att lösa problemet och förebygga att det uppstår igen.



## 4 Armering som byggmaterial

Bärförmågan i betong för tryckspänningar är approximativt tio gånger större än motsvarande bärförmåga för dragspänningar. För att undvika överdimensioneringar ger detta upphov till ett behov av förstärkning av den dragna delen av betongtvärsnittet. Metoden att gjuta in stänger av stål introducerades i mitten av 1800-talet och är fortfarande den tydligt dominerande förstärkningsåtgärden även om andra alternativ numera finns. (Kjellson, Nordmark, 2007)

För att armeringen ska kunna förstärka den kringliggande betongen krävs att krafter kan överföras från betongen till armeringen. Samverkan uppnås numera genom att stängerna är räfflade, så kallade kamjärn, vilket gör att armeringen förankras i betongen. (Kjellson, Nordmark, 2007)

Detta kapitel beskriver armeringens utformning och tekniska aspekter. För att kunna se var möjligheter för förbättringar av armeringsanvändandet finns krävs kunskaper om dagens användning.

### 4.1 Material

Stål kan framställas och behandlas på olika sätt för att uppnå önskade fysikaliska egenskaper. Det finns en europeisk standard, EN 10 080, för armering som klargör vilka egenskaper armeringen ska besitta för att få användas i betongkonstruktioner. (Sandberg, Hjort, 1998)

Råvaran till armeringsstål består till 98 % av stålskrot. Tillverkningen kan ske på olika sätt. Seghårdning via en vattenkylningsprocess samt kalldragning är de vanligaste metoderna. En äldre metod är att stålets egenskaper uppnås genom tillsats av legeringsämnen vilket resulterar i större miljöpåverkan. Denna metod används dock i begränsad omfattning idag. (Sandberg, Hjort, 1998)

En egenskap som är viktig att beakta är stålets svetsbarhet. Med rätt utrustning, kunskap och vid korrekt utförande kan i princip allt stål svetsas med tillfredställande resultat. Då dessa förutsättningar kan vara svåra att uppnå vill man använda stålsorter som är lättsvetsade istället och har därför definierat krav på den kemiska sammansättningen av stålet. Lättsvetsat stål har enligt den europeiska standarden definierats genom krav på en högsta tillåtna kolhalt, C, samt en högsta kolekvivalent hos stålet, CEV. Armeringsstål B500B uppfyller dessa krav samt de kompletterande svenska kraven på seghet och dominerar svenska marknaden. (Sandberg, Hjort, 1998)

### 4.2 Användning

Armeringen ska vara inplacerad i formen innan gjutning sker. Många parametrar ska tas hänsyn till vid dimensionering av betongkonstruktionen. Erforderlig styvhet och bärförmåga måste uppnås samtidigt som tillräckligt betongtäcksikt, inbördes avstånd mellan stänger, krökningsradier med mera beaktas. Utöver den kraftupptagande armeringen så måste även tillräckligt med monteringsarmering inplaceras. Denna armering, vars syfte är att fixera den kraftupptagande armeringen, måste klara av de påfrestningar som sker under armeringsarbetet men också vid eventuella lyft samt under gjutning. Organiseringen av alla stängerna enligt dessa krav kan bli

komplexerad och resultera i svårigheter vid anpassning, inplacering och sammanfogning. (Sandberg, Hjort, 1998)

### 4.3 Armeringsprodukter

Då armeringsbehovet vad gäller kvantitet och utformning skiljer sig mellan olika byggprojekt skiljer sig också metoderna som används under armeringsarbetet mellan olika projekt. Att på traditionellt vis lägga in en stång i taget är ofördelaktigt ur flera synpunkter och en högre grad av prefabricering kan vara att föredra. Detta delkapitel är avsett att visa exempel på de olika produkter som finns tillgängliga idag.

#### 4.3.1 Lagerlängder, LL

Från armeringstillverkaren levereras armeringsstångerna i standardiserade längder (vanligtvis 12 m), så kallade lagerlängder, till byggarbetsplatsen för att senare klippas och bockas av armeringsarbetarna på plats, se Figur 4.1. Leveransen sker i märkta buntar. Märkningen anger specifikationer på stålqualität, dimensioner etcetera. Det ses som en förutsättning att en väl anpassad och lämpligt utrustad armeringsstation används om klippning och bockning av armeringen ska utföras på plats samt att erforderlig krankapacitet finns tillgänglig. Armeringsarbetarna ska inte behöva bära armeringen vare sig från upplaget till stationen eller från stationen till mellanlagring. Vid kontakt med den svenska armeringsleverantören Celsa Steel Service påpekas att även om efterfrågan ökar av mer prefabricerade produkter är lagerlängder fortfarande den absolut största produkten. År 2006 bestod 44 % av Celsa Steel Services armeringsförsäljning av LL. Då produktvolymen är så stor sker kontinuerlig produktion vilket gör att leveranstiden för lagerlängder är kort.



Figur 4.1 Leverans av armering i lagerlängder till byggarbetsplats.

#### 4.3.2 Inläggningsfärdig armering, ILF

Vid användning av inläggningsfärdig armering levereras armeringen klippt och bockad och är färdig för montering i gjutformen, se Figur 4.2. Leverans sker i sorterade och märkta buntar. Märkningens utformning ska underlätta arbetet på plats

och ge tydliga besked om var armeringen ska användas. Märkningssystemet ska bestämmas utav de som hanterar armeringen, det vill säga leverantören och armerarna, och ska anpassas för det specifika projektet. Denna prefabricering minskar behovet av klippning, bockning och intertransporter som annars är nödvändiga på byggarbetsplatsen. Användning av ILF medför därmed att armeringsarbetet sliter mindre på yrkesarbetarna. De tunga momenten kan ytterligare reduceras om montering av armering sker innan placering i form. Den monterade armeringen lyfts sedan med hjälp av kran till sin slutliga position. Inläggningsfärdig armering ger betydande rationaliseringar vad gäller hanteringen på byggarbetsplatsen. Detta kräver dock viss planering och framförhållning då leveranstiden är ca tio arbetsdagar. Den automatiserade prefabriceringen ökar även måttnoggrannheten och kvaliteten i utförandet. (Sandberg, Hjort, 1998), (Ström, 1993) och (Lundgren, 2007)



Figur 4.2 Buntad och märkt inläggningsfärdig armering, ILF.

### 4.3.3 Coils

Armering kan levereras på rullar och benämns då ofta coils. Innan klippning och bockning sker måste armeringen från coils riktas. Detta kan ske i samma maskin som klippning och bockning. Ett krav för att kunna använda sig av coils är att fabriken eller armeringsstationen där riktning av armeringen sker är godkänd av Svensk Byggstålskontroll (SBS). Armering på coils levereras i Sverige med en diameter upp till 16 millimeter vilket begränsar användningsområdet. Anledningen till att inte grövre dimensioner används beror enligt leverantör på att det inte efterfrågas. Användning av grövre dimensioner medför även behov av väldigt stora och kraftiga maskiner för att rikta armeringen. I andra länder i Europa finns coils med diameter upp till 25 mm att köpa. Figur 4.3 visar coils i NCCs armeringsfabrik i Malmö. (Nordcert, 2007) och (Lundgren, 2007)



Figur 4.3 Coils i armeringsfabriken i Malmö.

Armeringen som levereras på coils finns i två varianter, B500BTR och B500BKR. För coils med beteckningen B500BKR är stålet både varmvalsat och kallbearbetat. Kallbearbetningen gör att armeringen kan rullas mer kompakt vilket ger en högre maxvikt på rullen. Maxvikten för coils med kallbearbetat stål är 2,5 ton medan maxvikten för coils med varmvalsat stål, B500BTR, är 1,8 ton. (Celsa Steel Service, 2007) och (Lundgren, 2007)

#### 4.3.4 Armeringsnät

Den vanligaste användningen av fabriksmonterad armering sker i dag i form av armeringsnät. Metoden är väl beprövad och förankrad inom branschen. I Sverige har armeringsnät använts sedan 1950-talet och står idag för ungefär 20 % av det totala armeringsanvändandet. Det bör dock nämnas att motsvarande andel i Tyskland är 45 % och att det därmed eventuellt finns möjligheter för ökad användning i Sverige. Det främsta användningsområdet för armeringsnät är vid gjutning av betongplattor. Framförallt fördelaktigt är det använda armeringsnät vid mindre dimensioner, upp till 8 mm, jämfört med lösa armeringsjärn. Metoden kan även användas vid armering av vertikala element såsom väggar förutsatt att tillräcklig lyftkapacitet för inplacering av armeringsnäten finns tillgänglig. Ofta är tillgång till lyftkran begränsad och armeringsmetoden ger då upphov till tunga arbetsmoment för armeringsarbetarna. (Sandberg, Hjort, 1998)

Armeringsnät består av sammanfogade armeringsstänger i två riktningar. Den vanligaste metoden vid sammanfogning av stängerna är motståndssvetsning. På marknaden finns många standarddimensioner på nät, så kallade lagernät, med samma armeringsinnehåll i båda riktningarna. Möjligheten finns även att måttbeställa specialnät. Stängdimensioner och centrumavstånd kan då anpassas för att optimera materialåtgången. Även bockade nät kan beställas. Lagernät lastas redan dagen efter

beställning medan specialnät har en leveranstid på 10 - 15 arbetsdagar. (Sandberg, Hjort, 1998) och (Lundgren, 2007)

Fördelarna vid användning av armeringsnät är främst att tidsåtgången på byggplatsen reduceras då armeringsarbetarna inte behöver placera in och därefter naja ihop varje armeringsjärn för sig. Genom noggrann anpassning av näten med hänsyn till de armeringsareor som krävs i vardera riktning kan armeringsmängden och därmed materialkostnaden minskas med 10 - 15 % i jämförelse med användning av lagernät. (Sandberg, Hjort, 1998)

### 4.3.5 Rullarmering

Rullarmering är en relativt ny armeringsteknik med potential att ersätta tidigare tekniker vid vissa konstruktioner. Tekniken har provats vid flera husbyggen och vid enstaka fall inom brokonstruktioner. Tekniken präglas av en hög prefabriceringsgrad där rullar av armering förtillverkas i fabriksmiljö. Rullarna transporteras sedan med lastbil ut till byggarbetsplatsen och placeras direkt i form alternativt för lagring.

Olika tillverkningstekniker används beroende på val av tillverkare men grundprincipen är densamma. Armeringsstängerna läggs ut på tunna stålband med hjälp av robot. Precisionen är hög och avstånd, dimension och stålsort kan anpassas och varieras enligt beställarens önskemål. Stängerna fixeras sedan till stålbanden och rullas sedan upp på cirkulära stöd för att forma en lätthanterlig rulle som hålls samman med ett yttre stålband. Se Figur 4.4. Främst används svetsning för att fixera armeringen till stålbanden men det finns även andra metoder.



Figur 4.4 Fixering av armering till stålband. Bild från Kjellström & Nordmark.

Maximal vikt per rulle kan uppgå till 1,5 - 2 ton beroende på tillverkare. På byggplatsen måste sedan rullen passas in till dess startposition varefter de yttre stålbanden klipps upp och utrullning sker manuellt, se Figur 4.5. Det är väldigt viktigt att inpassningen sker med stor precision för att undvika efterjusteringar. Vid användning av tunga rullar blir dessa justeringar tunga och innebär en belastning för armeringsarbetarna. (Kjellström, Nordmark, 2007)





Figur 4.5 Utrullning av rullarmering. Bild från Celsa Steel Service.

Vid lyft med lyftkran av armeringsrullar med hög egenvikt kan stålbanden som fixerar stängernas läge deformeras på grund av rullens egenvikt. Detta kan medföra att rullen, efter att den rullats ut, behöver eftersträckas för att stängerna ska placeras i rätt läge. Precis som vid efterjustering av inpassningen innebär även denna justering en belastning för armeringsarbetarna. För att användandet av rullarmering ska vara så effektivt som möjligt bör underlaget vara relativt plant för att underlätta inpassningen. Uppstickande järn från till exempel pelare och grundplintar försvårar inläggningen och kan innebära tunga lyft för armeringsarbetarna. Ett sätt att undvika detta är att använda gängade kopplingar. Gängade kopplingar benämns ofta som mekaniska skarvar. Istället för att armeringsjärnen sticker upp har de avkortats och försetts med gängor. Efter utrullning av armeringsrullarna skruvas sedan återstående armering fast med hjälp av en mutter. Mekaniska skarvar kan vara utformade på olika sätt, Figur 4.6 visar ett exempel på utformning. En stor fördel med användandet av mekaniskt skarvad armering i samband med rullarmering är den förbättrade arbetsmiljön. En nackdel är dock de ökade materialkostnaderna för kopplingen. (Henningsson, 2007)



Figur 4.6 Mekanisk skarv med självlåsand konisk gänga. Bild från Celsa Steel Service.

Användandet av rullarmering kan erbjuda stora tidsbesparingar för armeringsarbetet. Allra bäst är produkten vid stora, tjocka och dubbelarmerade plattor med högt armeringsinnehåll utan störande uppstick. Ju mer armering och ju större ytor desto

mer rationellt är det med rullarmering. Armeringsarbetarna får en ergonomisk arbetsmiljö då de i stor grad slipper najningsarbete med krökta ryggar samtidigt som man inte behöver bära fram all armering. En stor fördel med användningen av rullarmering är att det går att gå och arbeta på de utlagda järnen direkt efter utrullning med liten risk för att halka eller trilla igenom. Leveranstiden är 10 - 15 arbetsdagar. Detta förutsätter en del planering och ställer till problem vid sena ändringar. (Lundgren, 2007)

#### 4.3.6 Förtillverkade armeringskorgar

För att minimera det påfrestande arbetet med att montera armering i gjutform kan förtillverkade armeringskorgar användas, se Figur 4.7. Armeringen sammanfogas då till större armeringskorgar i ett tidigare skede där arbetsförhållandena kan anpassas för att passa den aktuella produktionen och förbättra arbetsmiljön för armeringsarbetarna. Med hjälp av kran lyfts sedan de sammanfogade armeringskorgarna på plats i gjutformen. Figur 4.7 visar en förtillverkad armeringskorg som är färdig att levereras till byggarbetsplatsen. Måttoleranserna för förtillverkade armeringskorgar är mycket snäva. Framförallt gäller detta uppåt då en för stor armeringskorg eventuellt inte får plats i formen utan att minska betongtäcksjiktet. En nackdel med att använda förtillverkade armeringskorgar är att det ger en ökad risk för klämskador när armeringskorgarna ska lyftas på plats inför gjutning. Risken ökar med ökad vikt hos armeringskorgen. (Hyll, 2007), (Wally, 2007) och (Henningsson, 2007)



Figur 4.7 Förtillverkad armeringskorg lyfts ut ur fabrik för vidare transport.

Användningen av förtillverkade armeringskorgar kan reducera tidsåtgången och antalet arbetstimmar på byggplatsen avsevärt. Produktionen av armeringskorgar gynnas om upprepningseffekter finns i projektet. Det är dock ett krav att erforderlig lyftkapacitet finns tillgänglig. Vid tidigare användning av förtillverkade armeringskorgar, till exempel vid uppförandet av Högakustenbron 1993 – 1997 där nära 300 fabrikstillverkade armeringskorgar till pylonerna användes, minskade monterings tiden uppe i pylonerna avsevärt. Den genomsnittliga leveranstiden av förtillverkade armeringskorgar från armeringstillverkare är ungefär 15 arbetsdagar. (Sandberg, Hjort, 1998), (Lundgren, 2007) och (Högakustenbron, 2007)

### **4.3.7 Sammanfattning av armeringsprodukter**

Utbudet av armeringsprodukter från de svenska leverantörerna ökar. Deras målsättning är att styra sina kunder så långt som möjligt mot prefabricerade armeringslösningar. De anser att servicen och prefabriceringen är deras främsta konkurrensmedel mot utländska leverantörer. Än så länge, i och med att konjunkturen är stark, är den gällande trenden att prefabricerade armeringslösningar ökar. (Lundgren, 2007)

Det valda produktionsförfarandet på byggarbetsplatsen är styrande för vilka armeringsprodukter som bör beställas. Detta då armeringen numera kan levereras anpassad för produktionen på byggarbetsplatsen. Valet av produktionsteknik beror i sin tur bland annat på konjunkturläget. Då entreprenörföretagen har lite att göra väljer de ofta att lägga så mycket arbete som möjligt på byggarbetsplatsen. Det vill säga att främst lagerlängder används. (Lundgren, 2007)

## **4.4 Svetsning av armering**

Ett led i den ökade industrialiseringen kan vara en ökad användning av svetsad armering vid till exempel förtillverkning av armeringskorgar. Svetsade fogar är starkare än najade och ger armeringskorgarna tillräcklig styvhet för att klara av att lyftas vid inplacering i gjutform. Möjligheten att använda svetsrobotar gör även att svetsning är lämpligt vid industriellt bruk. Delkapitlet beskriver de restriktioner och problem som måste beaktas då svetsning av armering sker. I Bilaga 1 behandlas svetsmetoder och dess utförande mer ingående.

### **4.4.1 Seghetsproblem hos svetsad armering**

Till följd av den höga värmen som bildas vid svetsning så smälts närliggande stål för att sedan åter stelna då värmen leds bort. Denna naturliga avkylning sker med förändrade egenskaper som följd. Stålet i värmepåverkade zoner, heat affected zones (HAZ), får en förändrad materialstruktur och blir sprödare än omkringliggande stål. Detta bidrar till ett sprödare beteende hos armeringen och kan ge upphov till seghetsproblem.

### **4.4.2 Utmattning hos svetsad armering**

Utmattning är ett fenomen som uppkommer i bruksstadiet då lastens storlek varierar cykliskt. Exempelvis belastas en järnvägsbro varje gång ett vagnsekipage passerar vilket skulle kunna representera en spänningscykel. Andra exempel på lastvariation kan vara kranlasten på en travers eller vindlasten på ett hus. Varje lastcykel ger upphov till en förändring av materialpåkänningarna, spänningarna, hos den bärande konstruktionen. Spänningarnas variation, spänningsvidden  $\Delta\sigma$ , ger vid tillräckligt många repetitioner upphov till att mikrosprickor i materialet initieras. Dessa initiala sprickor fortsätter att utvecklas då lastcyklerna fortsätter och leder slutligen till en genomgående spricka med brott i den aktuella delen som följd, så kallat utmattningsbrott. Detta kan leda till kollaps av hela byggnaden om det är en kritisk del som utmattats.

Problem med utmattning uppstår i kritiska snitt där det finns en förhöjd spänningskoncentration. Detta beror i regel på två orsaker, lokala förändringar av



geometriska förhållanden samt diskontinuitet i materialet. Figur 4.8 visar exempel på diskontinuitet och geometrisk spänningshöjare vid svetsning. Andra exempel på diskontinuiteter kan vara porer och ofullständig svetsgenomträngning. Det spröda stålet i HAZ påverkar inte direkt stångens utmattningsegenskaper.



Figur 4.8 Diskontinuitet i form av svetsdike och geometrisk spänningshöjare i form av påsvetsad stång. Bild från SIS (2002).

Utmattningssprickor i armeringen uppkommer alltid i riktning vinkelrätt mot spänningsriktningen. Med detta i åtanke förstås att sprickbildningen kan initieras både i själva svetsen men också i den längsgående lastbärande stången. Beroende på om svetsen är lastbärande eller endast en fixeringssvets är betydelsen av utmattningsbrott i svetsmaterialet av varierande grad. Om utmattningsbrott däremot sker i den lastbärande armeringen leder det till allvarliga konsekvenser. Sprickbildningen i grundmaterialet initieras i regel på grund av diskontinuiteter nära svetstån där svetsdiken finns, vilka kan betraktas som initiala sprickor.

Utmattningsfenomenet i svetsområdet av armeringen är inte beroende av hur stor spänning som kommer från permanent last utan endast av spänningsvidden från variabel last. Trots att den totala spänningen av permanent last och varierande last vanligtvis väl understiger materialets flytgräns kan alltså brott uppstå. Desto större spänningsvidd desto färre lastcykler kan bäras innan brott uppstår.

#### 4.4.3 Restriktioner och normer, Sverige

Dimensioneringen, utförandet och kontrollen utav svetsad armering är karakteriserad av många anvisningar och regler. Enligt Boverkets handbok för betongkonstruktioner, BBK 04, ska svetsning av armering ske enligt ett förfarande som säkerställer att kraven på hållfasthet, seghet och utmattning inte riskeras. Detta innebär att svetsarna måste dimensioneras så att deras brotthållfasthet överstiger armeringens flytkapacitet för att erforderlig seghet ska uppnås. För att säkerställa kapaciteten med avseende på utmattning ska den karakteristiska utmattningshållfastheten för svetsad armering reduceras. Tabell 4.1 visar grundvärden för spänningsvidden,  $\Delta f_{st}$ , för kamstänger av stål B500B vid  $n$  antal spänningscykler. Reduktion av grundvärden för spänningsvidden,  $\Delta f_{st}$ , ska göras med 30 respektive 60 % beroende på om det rör sig om skarvsvetsad eller fixeringssvetsad armering. Enligt Boverkets anvisningar behöver inte utmattning beaktas om antalet lastcykler,  $n$ , understiger  $10^3$ .

Tabell 4.1 Grundvärden för spänningsvidden  $\Delta f_{st}$  (MPa) för kamstänger i stål B500B vid  $n$  spänningscykler enligt BBK 04.

<b>n</b>	$10^4$	$10^5$	$6 \cdot 10^5$	$10^6$	$2 \cdot 10^6$
<b><math>\Delta f_{st}</math></b>	400	270	200	180	150

Dimensionerande spänningsvidd,  $\Delta\sigma$ , beräknas utifrån ovanstående grundvärden med hänsyn till aktuell säkerhetsklass.

Ytterligare nationella begränsningar för svetsad armering inom Sverige kommer från Vägverket och Banverket. Dessa myndigheter har i Bro 2004, en kravspecifikation vid brobyggnation, specificerat kravet på att svetsad armering ej får användas då spänningsvidder över 60 MPa förekommer. Väg- och Banverket ger ingen motivering för detta krav. Däremot så påvisar tyska studier inom området på att den dimensionerande utmattningshållfastheten för punktsvetsad armering är 56,7 MPa. I denna studie har man motiverat valet av partialfaktorn vid utmattning  $\gamma_{fat}$  till 1,5 vilket gett ovanstående resultat. (Schwarzkopf, 1995)

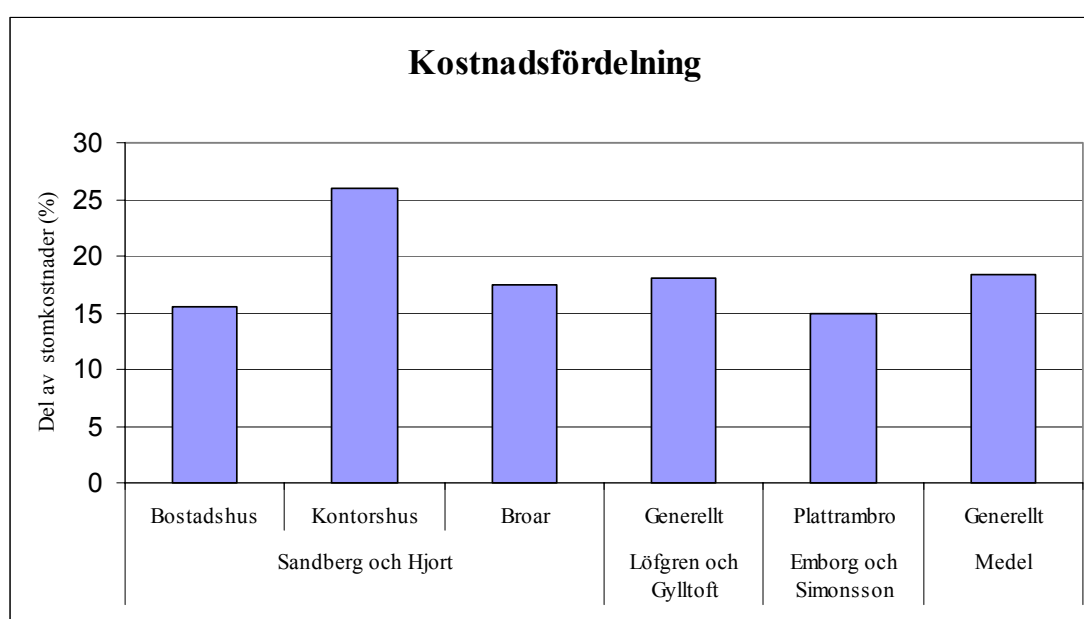
## 5 Armering på byggarbetsplatsen

Hur arbetet med armering sker på byggarbetsplatsen skiljer sig stort från projekt till projekt. Kapitlet avser att beskriva de olika produktionsmetoder som finns tillgängliga samt hur de kan påverka ekonomin, arbetsmiljön och kvaliteten för ett projekt. Dessa tre parametrar, ekonomi, arbetsmiljö och kvalitet står ofta i positiv relation till varandra. Detta innebär att om en insats görs för att öka en utav dessa faktorer så försämras inte en annan. Exempelvis kan det sägas att en armering som är anpassad för god arbetsmiljö sannolikt leder till ett gott arbetsutförande med bättre ekonomi och ökad kvalitet som följd.

### 5.1 Ekonomi

För att se potentialen hos en ökad grad av industrialisering och hur stora finansiella besparingar som kan uppnås är det nödvändigt att få kännedom om de kostnader som finns i dagens läge. Tidigare studier har undersökt aktiviteterna på olika byggprojekt där platsgjuten betongkonstruktion använts. Även om spridningen i resultaten är stor mellan projekten så har man kunnat sammanställa en gemensam kostnadsbild.

Enligt Löfgren och Gylltoft (2001) uppgår kostnaden för aktiviteter och material kopplade till armeringsarbetet till 18 % av stommens totala kostnad. Motsvarande siffror från Sandberg och Hjort (1998) visar på variationer mellan 11 % och 41 % beroende på typ av projekt. I dessa två studier har författarna valt att inte inkludera kostnaden för underbyggnaden, det vill säga grundläggning och bottenplatta. Enligt Emborg och Simonsson (2005) står armeringen för 15 % av totala kostnaden vid byggnation av plattrambroar. Här har man tagit hänsyn till kostnaden för underbyggnaden men inte till de armeringsarbeten som utförs i denna. En sammanställning av medelvärden över armeringskostnaderna kan ses i Figur 5.1.



Figur 5.1 Kostnadsandel (medelvärden) för armering vid platsgjutna stommar.

Vid indelning av kostnaden för armeringen vid platsgjutna konstruktioner i kostnader för material samt kostnader för arbetskraft syns en relativt jämn fördelning. En lätt övervikt för material finns dock. Kostnadsfördelningen är 55 och 45 % för material respektive mantimmar enligt Löfgren och Gylltoft (2001). Sandberg och Hjort (1998) menar på att motsvarande fördelning är 55 - 60 % respektive 40 - 45 %.

Kostnaden för material och arbetskraft är beroende på marknaden. Behovet av material är svårt att påverka i någon större utsträckning. Däremot är behovet av arbetskraft möjligt att påverka. Antalet mantimmar som krävs är beroende på metoden som används vid produktion samt vilka verktyg och resurser som finns tillgängliga. Produktionsindustrialiseringar bör därför utvecklas med målet att minska byggtiden och mantimmarna på byggarbetsplatsen. (Löfgren, Gylltoft, 2001)

Som tidigare nämnts är armeringsarbetet ett tidskrävande moment vid resning av platsbyggda betongkonstruktioner. Vid sidan av formarbeten, som upptar nästan hälften av arbetstimmarna, är armeringsarbetet den mest tidskrävande aktiviteten på byggarbetsplatsen och upptar enligt tidigare studier ca 22 % av mantimmarna. Produktionseffektiviseringar inom området kan härmed få stor inverkan på produktionskostnaden. (Löfgren, Gylltoft, 2001)

## 5.2 Arbetsmiljö

Arbetsmiljöverket arbetar för att minska risken för olycksfall och ohälsa på arbetsplatsen. Man arbetar då för att uppnå en bättre arbetsmiljö vilken ska främja arbetstagarens situation på arbetsplatsen med avseende på fysiskt, psykiskt, socialt och arbetsorganisatoriskt välmående. Arbetsgivaren är ansvarig för att de regler som finns gällande arbetsmiljö upprätthålls. Dock så är även arbetstagaren skyldig att följa de regler som arbetsgivaren ger för att upprätthålla arbetsmiljön. Exempelvis är det arbetstagarens ansvar att använda den av arbetsgivaren angivna skyddsutrustningen. (Arbetsmiljöverket, 2007)

Armeringshanteringen i ett projekt består som tidigare nämnts av flera moment och kan uppdelas enligt Tabell 5.1. För att beskriva arbetsmiljön vid arbete med armering har Sandberg och Hjort valt att belysa de belastningsfaktorer som särskiljer armeringsarbete från övrigt arbete på byggarbetsplatsen. Man pekar då på dessa fem kategorier av belastningsfaktorer:

- Fysiologisk belastning – tunga arbetsmoment
- Arbetsställningar
- Olycksrisker
- Stress
- Trivsselfaktorer

De tunga arbetsmomenten består utav att lyfta och bära armeringen mellan de olika produktionsstegen. Omfattningen av dessa moment är stor då armeringen klipps och bockas på plats vilket kan ses i Tabell 5.1. Klippningen och bockningen i sig innehåller också tyngre arbetsmoment.

Tabell 5.1 Moment vid armeringshantering. (Sandberg, Hjort, 1998)

Skede	Moment	Nr
Mottagning	Avlastning	1
Beredning	Sortering, uppläggnig	2
	Transport till klippmaskin	3
	Klippning	4
	Transport till bockmaskin	5
	Bockning	6
	Buntning, märkning	7
	Transport till mellanlager	8
Montering	Förtillverkning av armeringskorgar på byggplats	9
	Internttransport	10
	Inläggning	11

Under arbetet med armering sker mycket arbete i olämpliga arbetsställningar. Framförallt är detta vanligt vid montering av armering i gjutformen. Speciellt anmärkningsvärt är att mycket arbete sker i framåt-nedåtböjda ställningar vilka är mest skadliga för armerarna, se Figur 5.2. Denna ställning är vanligast förekommande vid armering av horisontella konstruktioner såsom platta på mark.



Figur 5.2 Framåt-nedåtböjd arbetsställning är mycket påfrestande.

Den dominerande olycksrisken vid armeringsarbete är risken att snubbla och halka under monteringskedet. Vanligt är att man snubblar över redan utlagda järn samt att det är lätt att halka på de ibland väldigt glatta formarna. Även om armeringsarbetarna inte trillar som följd av detta kan den hastiga rörelsen som krävs för att förhindra fallet ge upphov till skador. Andra olycksrisker är skärskador från avklippta najtrådar, uppstickande järn etc. (Sandberg, Hjort, 1998)

Inte sällan blir formsättningen försenad på byggarbetsplatser. Då gjutningen ofta är inplanerad sedan lång tid tillbaka finns således mindre tid att tillgå för det arbete som föregår gjutning. Armeringen är ett utav de arbeten som då hamnar under tidspress med en stressad arbetsmiljö för armerarna som följd. Denna situation kan även uppkomma ur andra förseningar då armeringsarbetet ska ske synkroniserat med andra aktiviteter såsom VVS- och el-installationer. (Sandberg, Hjort, 1998)

För att armeringsarbetarna ska känna sig motiverade till att utföra ett gott arbete är det viktigt att ett antal krav är uppfyllda. Det är viktigt att arbetarna har möjlighet att kunna fatta egna beslut över sitt arbete och att det innefattar fler moment än rent kroppsliga. Vidare är det även viktigt att de upplever att deras yrkeskunnande kommer till användning och att det kan påverka det slutliga resultatet. (Sandberg, Hjort, 1998)

### **5.3 Kvalitet**

Armeringskvaliteten består dels i kvaliteten hos materialet och dels i kvaliteten i det utförda arbetet. Brister i armeringens kvalitet kan ge stora konsekvenser då betongkonstruktionens bärförmåga, verkningsätt och beständighet är starkt kopplad till armeringsutformningen. Om bristande armeringskvalitet upptäcks efter byggnation är denna svår att återställa och kräver stora och kostsamma ingrepp i den befintliga konstruktionen. Upptäcks inte kvalitetsbrister i tid, det vill säga att kollaps inträffar alternativt att reparation inte är möjlig/motiverbar, kan detta leda till allvarliga olyckor eller stora ekonomiska förluster då byggnaden måste tas ur bruk.

För att säkerställa en hög kvalitet hos det utförda armeringsarbetet är det viktigt att inläggningen sker enligt konstruktörens ritningar med tanke på inbördes placering av armeringen och betongtäcksikt. Det är därför viktigt att ritningarna är utförda med tanke på vilket sätt armeringen ska monteras och tillgänglig utrustning. Det är också viktigt att det finns tillräckligt med utrymme för monteringsarmering och eventuella installationer. Kvaliteten i hela byggprocessen ska beaktas under projekteringen, planeringen, produktionen och kontrollen för att säkerställa byggnadens funktion. (Sandberg, Hjort, 1998)

### **5.4 Produktionsanpassad armeringsutformning**

Det har i både detta och tidigare kapitel påvisats att en god lönsamhet kan kopplas till en väl fungerande produktion som inte tar onödigt lång tid. Att krångla till saker mer än nödvändigt leder bara till komplikationer. Utformningen av armeringen bör vara gjord så att armeringsarbetet underlättas samtidigt som kvaliteten i arbetet inte äventyras. Informationen som kapitlet grundar sig på har inhämtats dels från hänvisad litteratur men även från intervjuer och studiebesök.

#### **5.4.1 Enkelhet och repetition**

Kvaliteten är kopplad till hur väl arbetet utförts vilket påpekats tidigare i rapporten. För att säkerställa ett väl utfört arbete är det lämpligt att minimera svårare moment i arbetet. Vid projektering av byggnader strävar konsulter ofta efter att minimera mängden armering som kommer att behövas för en byggnad. Resultatet av detta kan bli att flera dimensioner av armering ska användas samt att centrumavstånden mellan stängerna har många olika variationer. Ritningarna blir då ofta komplicerade och

invecklade vilket kan få som följd att mycket tid på arbetsplatsen går åt till att tolka dessa. Fokus skulle eventuellt riktas på att underlätta produktionen istället, dock med ekonomiska aspekter beaktade. Enkelhet ska eftersträvas i lösningar och repetitiva arbetsmoment ska användas för att öka produktiviteten. Några exempel på vad enkelhet och repetition kan innebära är listade nedan:

- Användning av standardlösningar
- Ingen/standardiserad avkortning av armering
- Använda samma armeringsdimension över ett helt bjälklag
- Använda samma armeringsmängd i alla bjälklag i en byggnad

Genom att göra armeringsutformningen enklare kan eventuella komplikationer undvikas. Detta medför att arbetet för armeringsarbetarna också blir enklare vilket ger minskad risk för misstag på byggplatsen. Även om materialanvändningen inte är minimerad kan totalkostnaden för armeringen minska tack vare den höga produktiviteten i produktionen.

#### **5.4.2 Reducera antalet arbetssteg**

Ytterligare ett steg i att förenkla arbetet med armeringen är att helt ta bort ett eller flera arbetssteg. Viktigast är att få bort de påfrestande och de tidskrävande momenten. Det kan i Tabell 5.1 ses att om armeringen kommer i färdigsvetsade armeringskorgar, rullarmering eller armeringsnät så kan steg 2 till 9 undvikas. Platsarbetet har därmed reducerats mycket kraftigt. Endast transport med kran av armeringskorgen till dess plats i formen samt arbetet med att fixera den behöver nu utföras. Används istället ILF kan steg 3 till 8 undvikas. Genom att reducera antalet arbetssteg reduceras även risken för att fel på grund av den mänskliga faktorn ska uppstå på byggplatsen.

#### **5.4.3 Åtgärder för en produktionseffektiv armeringsutformning**

Under intervjuer med produktionsledare har tydliga åsikter och önskemål gällande armeringsutformning kommit fram. Den generella meningen är att enkelhet i armeringens utformning gynnar byggproduktionen som helhet och armeringsproduktionen i synnerhet. De två tillfrågade hänvisar direkt till Fundia Armering AB (2002) som man menar preciserar synen på en god armeringsutformning. Fundia Armering AB (2002) listar tio punkter som bör beaktas för att underlätta armeringsarbetet. Publikationen riktar sig till både armeringsleverantörer och konstruktörer för att deras arbete ska gynna entreprenören och i sin tur främja produktionen. De intervjuade menar att om dessa tio punkter följdes skulle deras arbete bli mycket lättare och produktiviteten öka avsevärt:

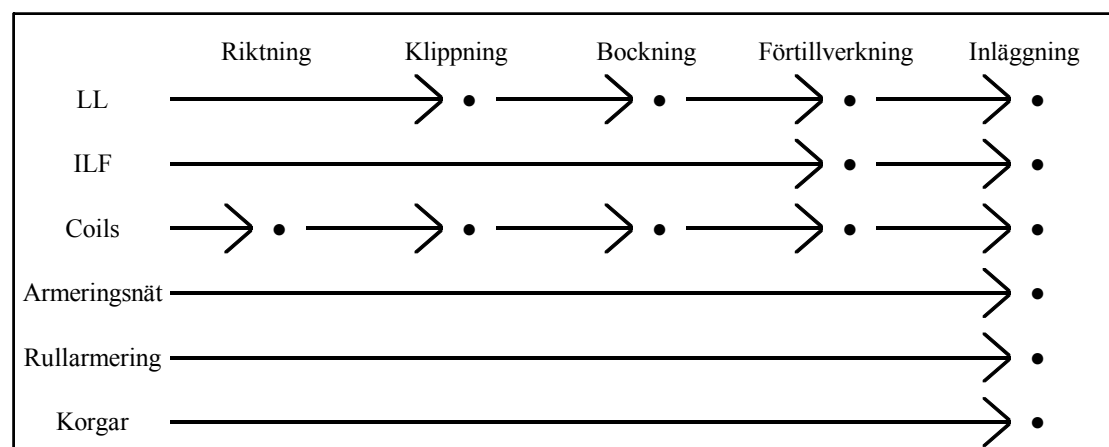
- Den som utför förteckningen är en viktig person i byggandet. En genomtänkt förteckning ger lägre kostnader för såväl material som för utförandet.
- Om entreprenör är utsedd före förtecknandet, kontakta denne för uppdelning av etapper, färgmärkning, gjutskarvar, buntning och ibland utbyte av produkter och stålsorter.

- En förteckningssida ska omfatta enbart stänger som ingår i en gjutetapp och använd ej mer än en färgkombination per förteckningssida.
- Begränsa antalet varianter av raka järn, inspänningsjärn och inte minst variationer. Många varianter ger onödigt letande på arbetsplatsen med ökade kostnader för armeringsarbetet.
- Begränsa även varianter av dimensioner. Till exempel om du endast har något 100-tal kilo av en diameter – välj närmaste större diameter som är dominerande på just detta bygge. Materialkostnaden för järnen ökar något, men besparingen på grund av variantbegränsningen är oftast större.
- Kombinera hellre två standardtyper än att skapa en komplicerad specialtyp.
- Använd, om möjligt, samma radie på bockar i en figur.
- Ett objekt ska endast ha en nummerserie för bockade figurer och en nummerserie för förteckningssidor.
- Vid manuell förteckning får inga delmått utelämnas.
- Tänk på att bockade järn ska rymmas på lastbilen.

Sammanfattningsvis kan man säga att publikationen avser att strukturera hanteringen med målet om att minska möjligheterna att göra misstag, enkelheten står i fokus. Betydelsen av en projektanpassad märkning ska ej underskattas, i kombination med en genomtänkt och enkel utformning kan denna ge stora besparingar.

## 5.5 Produktionsmetoder

Nedan följer en beskrivning av de idag tillgängliga produktionsmetoder för armering som tillämpas på byggarbetsplatsen. Med produktionsmetod menas det arbete som sker från att leverans av armeringen sker till byggarbetsplatsen till det att armeringen är placerad på sin slutliga position i gjutformen. Beroende på vilken armeringsprodukt som används ser processen annorlunda ut enligt Figur 5.3. Förtillverkning av armering är dock ett steg som bara används vid vissa projekt.



Figur 5.3 Process för olika armeringsprodukter.



### 5.5.1 Montering i form

Den traditionella produktionsmetoden vid armeringsarbete är montering av armering direkt i gjutformen. Innan monteringen sker krävs att armeringen är klippt och bockad enligt ritning vilket medför att både LL och ILF går att använda. Metoden har en hög anpassningsgrad vilket innebär att det är möjligt att göra sena ändringar i konstruktionen. Problem kan lösas på plats. Det krävs att man har någon form av upplagsplats för armeringen samt utrustning för klippning och bockning om LL används. Om ILF istället används minskar behovet av utrustning men däremot så ökar behovet av planering av leveranser. Detta framförallt om avståndet till leverantören är stort.

Tidsmässigt är montering i form inte att föredra då det är tidskrävande och därför utgör ett kritiskt moment före det att gjutning kan ske. Den extra tid som tas i anspråk ökar givetvis med mängden armering som ska monteras och bör beaktas vid större projekt eller projekt med högt armeringsinnehåll. Användningen av alternativa metoder kan ofta innebära kortare tidsåtgång för monteringsarbetet vilket även resulterar i kortare total byggtid på byggplatsen. Å andra sidan kräver produktionsmetoden inte alltid tillgång till lyftkran och kan därför lämpa sig väl vid mindre projekt där ingen kran finns tillgänglig. Produktionsmetoden medför även svårigheter när det kommer till att kvalitetssäkra inplaceringen av armeringsjärnen. Även skydd mot väderpåverkan kan vara svårt att garantera. (Sandberg, Hjort, 1998)

Det tunga och påfrestande arbetet vid montering i form består främst av najningsarbetet. Detta medför ergonomiska arbetsställningar men även inplaceringen av järnen innebär en del tunga lyft vilket medför belastningar. För att minska belastningen på armeringsarbetarna kan najningsmaskiner användas vilka i flera fall kan erbjuda bättre arbetsställningar samt tidsbesparingar. (Sandberg, Hjort, 1998) och (Söderholm, Österberg, 1999)

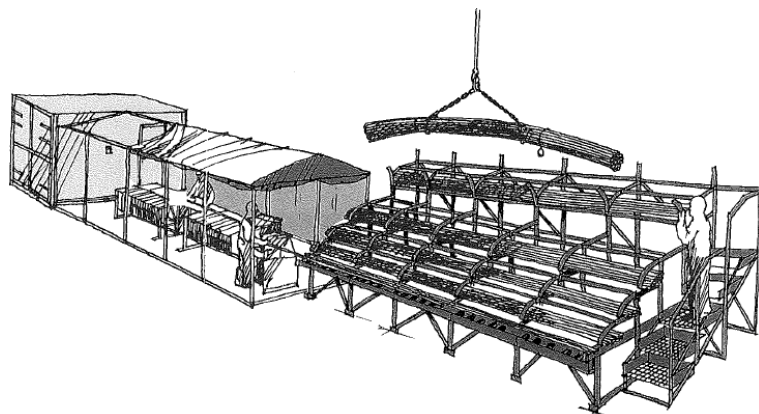
### 5.5.2 Förtillverkning i armeringsstation

För att effektivisera armeringsarbetet kan förtillverkning av armeringen ske i en armeringsstation på byggarbetsplatsen. Produkten som kommer till byggarbetsplatsen är då LL eller ILF. Armeringen monteras där ihop till armeringskorgar som sedan placeras i gjutformen innan gjutning. Detta innebär att man prefabricerar, det vill säga monterar ihop, armeringskorgarna på byggarbetsplatsen innan de lyfts i formen. Det är då viktigt att armeringskorgarna även är dimensionerade för att klara själva lyftet utan att få bestående deformationer. För att kunna säkerställa detta kan det bli aktuellt att lägga till extra monteringsarmering och/eller svetsa ihop armeringskorgarna för att öka styvheten. (Sandberg, Hjort, 1998) och (Söderholm, Österberg, 1999)

Ett krav för att en armeringsstation ska kunna upprättas på byggplatsen är att det finns tillräckligt med utrymme. Stationen i sig samt upplagsplats för obearbetad, bearbetad och förtillverkad armering måste få plats. Om upplagsplatsens storlek är begränsad blir beroendet av välplanerade leveranser påtagligt.

Arbetsbelastningen för armeringsarbetarna påverkas i hög grad av armeringsstationens utformning. Det är följaktligen av yttersta vikt att stationens uppbyggnad och utrustning är anpassad till den aktuella byggarbetsplatsens produktionsbehov. Arbetsförhållandena påverkar i sin tur även kvaliteten i det utförda

arbetet. I Figur 5.4 ses exempel på en väl utformad armeringsstation för klippning och bockning av armering. Observera att stationen är utrustad med väderskydd. Armeringsstationen har förlager för obearbetade armeringsjärn, bock- och klippmaskin samt rullbänkar. Observera även att tillgången till lyftanordning förutsätts vid en god utformning. (Sandberg, Hjort, 1998)



Figur 5.4 Exempel på väl utformad armeringsstation. Bild från Celsa Steel Service, redigerad bild.

Då förtillverkning av armeringskorgarna sker ska även detta ske under så goda förhållanden som möjligt och i så nära anslutning som möjligt till klipp- och bockstationen. Armeringsstationen är då lämplig utrustad med jigggar för att underlätta produktionen. Det är bra om även denna station är utrustad med väderskydd. Det kan vara svårt att uppnå dock eftersom de färdigtillverkade korgarna måste lyftas ut med kran eller motsvarande. I Figur 5.5 ges exempel på hur en armeringsstation för förtillverkning av armeringskorgar kan se ut.



Figur 5.5 Exempel på armeringsstation för montering utrustad med jigg. Bild från NCC (2007).

Genom att använda sig av armeringskorgar reduceras både arbetet med najning i form vid inläggning och andelen armeringsjärn som manuellt behöver lyftas på plats i gjutformen. Detta innebär alltså att inläggningstiden minskar. Fördelarna hos metoden blir tydligast då en kontinuerlig produktion kan uppnås. Det vill säga i större projekt

som sträcker sig under ansenlig tid och där repetition i produktionen finns. Desto högre armeringsinnehåll, det vill säga desto tyngre armeringskorgar som förtillverkas, desto effektivare är metoden.

Tiden är ofta styrande för hur mycket förmontering som görs på byggarbetsplatsen. För att använda sig av jigggar vid förtillverkningen krävs tillräckligt stora volymer för att nå lönsamhet. Produktionen måste också ha repetitiva inslag för att användningen av jigggar ska kunna motiveras. För att produktionsmetoden ska fungera som tänkt krävs viss framförhållning och planering. Finns tid nog att planera förtillverkningen så att den hinner ske i tid minskar byggtiden i och med att inläggningstiden reduceras. God framförhållning i förtillverkningen omöjliggör dock sena ändringar i ritningar. Det är numera vanligt förekommande i Sverige att vissa väl lämpade armeringskorgar prefabriceras på byggarbetsplatserna medan resten av armeringen monteras i formen. Dock sker denna tillverkning inte alltid i anpassade armeringsstationer. (Ahlstedt, 2007)

### **5.5.3 Förtillverkning i fabrik, egen regi**

Istället för att förtillverka armeringskorgar i en armeringsstation kan det ibland vara fördelaktigt att förtillverka i en egen fabrik. Det som kännetecknar en sådan fabrik (till skillnad mot en armeringsstation) är, enligt rapportförfattarna, att produktionen sker under tak i en utpräglad produktionslinje samt att produktionen sker kontinuerligt under en längre tid.

Vid platsbyggnationer med begränsade utrymmen för montering av armering på byggarbetsplatsen kan förmontering i fabrik vara fördelaktigt. Att driva en armeringsfabrik i egen regi är endast aktuellt då stora mängder armering ska förtillverkas. Följaktligen endast vid riktigt stora projekt alternativt då fabriken kan serva flera projekt. Avståndet och transportmöjligheten behöver då beaktas för de aktuella projekten men även att produktionen kan anpassas till fabriken. Produktionen kan ske på liknande sätt som vid förmontering i armeringsstation och ställer liknande krav på utrustning. Fördelarna vid tillverkning i fabrik är, förutom det minskade platsbehovet, en förbättrad arbetsmiljö. I Figur 5. kan förtillverkning av armeringskorgar i jigggar ses.



Figur 5.6 Förtillverkning i jiggar på armeringsfabrik i Malmö. Montering sker här med najning och manuell svetsning.

Fabriken kräver någon form av lokal. Att bygga en lokal skulle kunna vara ett alternativ, ännu bättre skulle vara att hitta en befintlig lokal i närområdet. Logistikmöjligheterna är viktiga i båda fallen, avståndet får inte vara långt och förhållandena måste vara sådana att armeringskorgarna kan transporteras på de tillgängliga vägarna.

#### 5.5.4 Förtillverkning i fabrik, armeringsleverantör

Även denna produktionsmetod lämpar sig bra vid projekt med högt armeringsinnehåll. Beroende på armeringsutformningen är dock metoden direkt olämplig vid lågt armeringsinnehåll. Dels för att man då transporterar armeringskorgar med ”mycket luft”, vilket kan ge stora transportkostnader. Men även för att inläggningstiden för viss fabrikstillverkad armering är oberoende av armeringskorgens tyngd. Enhetstiden blir exempelvis väldigt hög för rullarmering med låg vikt. (Kjellström, Nordmark, 2007)

Vid förtillverkningen i fabriken sammanfogas armeringskorgarna antingen med najning, manuell svetsning eller med hjälp av svetsrobot, se Figur 5.. De verkstadsliknande förhållandena som finns gör att svetsning kan ske mycket rationellt för vissa typer av armeringskorgar, exempelvis för motståndssvetsade armeringsnät. Armeringskorgarna transporteras därefter till byggarbetsplatsen. Detta ställer som krav på armeringskorgarna att de inte överskrider den storlek som är möjlig att transportera. För att användningen av förmontering ska vara ekonomisk försvarbar krävs även att armeringsfabriken är placerad inom rimligt avstånd från byggarbetsplatsen. I de fall då Just In Time, JIT, leveranser används lyfts armeringen direkt av transporten in i formen och kräver inget upplag alls.



Figur 5.7 Svetsning i armeringsfabrik med svetsrobot. Bild från Celsa Steel Service.

### 5.5.5 Sammanfattning av produktionsmetoder

Oavsett vilken utav ovanstående produktionsmetoder som används är det i princip samma arbete som ska utföras. Armeringen måste alltid klippas, bockas och monteras. Skillnaden ligger i var, hur och av vem detta arbete utförs. Generellt går inte att säga den ena metoden är bättre än någon annan. Det finns inget enkelt sätt att gradera de olika metoderna mot varandra. Små förändringar av förutsättningarna, vilka är svåra att utvärdera, kan påverka en metods lämplighet radikalt.

Det rådande konjunkturläget kan påverka valet av produktionsmetod. Vid lågkonjunktur har företagen i regel lite att göra vilket ger ett överskott av arbetskraft. För att sysselsätta arbetarna väljs det då oftast att utföra allt armeringsarbete ute på byggarbetsplatsen. När det istället är högkonjunktur kan det vara brist på personal vilket tvingar företaget till att använda sig av armeringsprodukter och produktionsmetoder som inte kräver lika mycket arbetskraft på byggarbetsplatsen.

Det finns väldigt många parametrar att ta hänsyn till vid val av produktionsmetod för armering. En överskådlig framställning av dessa visas i Tabell 5.2. Parametrarna saknar ofta definition och blir därmed svåra att bedöma. Hur högt är exempelvis ett högt armeringsinnehåll och hur litet är ett litet projekt. Dessutom kan kombination av vissa förutsättningar främja eller missgynna en viss metod. Exempelvis är kombinationen av stora projekt med hög repetitionsfaktor väldigt gynnsamt för användning av förmonterade korgar.



Tabell 5.2 Utvärdering av produktionsmetoder. Plus/minus betyder att påståendet är sant/falskt för metoden. 0 betyder att metoden är oberoende av påståendet. Skuggade fält markerar entydiga svar.

Montering i form	1	-	0	-	0	-	0	+	0	-	0	+
Förtillverkning i armeringsstation	2	+	5	-	+	7	+	+	9	0	+	+
Förtillverkning i fabrik, egen regi	3	+	5	-	+	7	+	+	9	0	+	+
Förtillverkning i fabrik, armeringsleverantör	4	+	5	0	+	7	+	+	8	+	+	+
Bra vid stora projekt												
Bra vid små projekt												
Bra vid högt armeringsinnehåll												
Bra vid lågt armeringsinnehåll												
Bra vid behov av sena ändringar												
Bra då kort inläggningsstid önskas												
Bra då hög kvalitet önskas												
Bra då god arbetsmiljö önskas												
Bra då upplagsplats saknas												
Bra vid långa transport avstånd												
Bra vid behov av kort leveranstid												
Bra då volymbegränsning finns vid transport												
Bra då viktbegränsning finns pga lyft												
Bra då få antal lyft önskas												
Bra då upprepning finns i produktion												
Bra då begränsning av svetsning finns												

<sup>1</sup> LL eller ILF levereras till bygge och monteras i form

<sup>2</sup> LL eller ILF monteras samman i armeringsstation på bygget

<sup>3</sup> LL/ILF monteras samman inomhus i kontinuerlig produktion

<sup>4</sup> Armeringskorgar, rullarmering, armeringsnät etc levereras färdiga

<sup>5</sup> Förutsätter god planering. Repetition är önskvärt

<sup>6</sup> Armeringsnät är fördelaktiga även vid lågt armeringsinnehåll

<sup>7</sup> Kräver väl utformad och utrustad armeringsstation eller fabrik

<sup>8</sup> Upplagsplats är ej nödvändig om just in time används

<sup>9</sup> Blir beroende av leveranstid om ILF används

<sup>10</sup> Produkter som lagerförs har kort leveranstid

<sup>11</sup> Begränsningar på grund av transport till bygge och i tillverkningslokal

<sup>12</sup> Att erforderlig lyftkapacitet finns tillgänglig måste säkerställas

<sup>13</sup> Uppprepning medför massstillverkning vilket är fördelaktigt vid tillverkning i jigger

Graderingen är ett försök av rapportförfattarna till att ge en överblick över de olika produktionsmetodernas preferenser. Utseendet på denna skulle troligen variera beroende på vem som fyller i den. De skuggade fälten bedöms dock som entydiga oavsett vem som tillfrågas.

Tabellen är inte enkel att tolka. Att montering i form fått ett entydigt positivt svar då sena ändringar krävs innebär inte att det alltid är att föredra. Det innebär bland annat oftast höga kostnader, förlängd byggtid och sämre arbetsmiljö. Vad som är ännu viktigare är att sena ändringar, eller ändringar över huvud taget, inte hör hemma i en industrialiserad process.

Sena ändringar innebär att det skett ett fel tidigare i processen. Vid en industrialiserad byggprocess är inte målsättningen att planera för att fel ska gå att lösa, processen bör skapas för att undvika uppkomsten av fel. Om målsättningen är att hitta en produktionsmetod för att främja industrialisering bör det istället ses som negativt att sena ändringar möjliggörs vid montering i form. De andra metoderna tvingar i högre grad fram en bättre projektering. Självklart är det bra att kunna ändra i en konstruktion när det verkligen krävs, men behovet av ändringen i sig är dåligt. Sammanfattningsvis kan sägas att det är mycket komplext att utforma en utvärdering av ovanstående slag.





## 6 Fallstudier

För att undersöka hur väl införande och användning av nya metoder inom armeringsarbetet fungerar har ett antal byggprojekt studerats närmare. Projekten är alla platsgjutna betongkonstruktioner där slakarmering använts. Fallstudierna omfattar totalt fyra byggprojekt. Platsbesök och intervjuer har skett på två utav dessa projekt, Citytunneln och Lillesjöverket. De andra två projekten, Turning Torso och Ångströmlaboratoriet, slutfördes innan examensarbetet påbörjades och har därför studerats enbart via litteratur och intervjuer. Studierna av Citytunneln har varit mer omfattande än för de andra projekten och har haft mycket stort inflytande på examensarbetets utformning och slutsatser.

Erfarenheterna från projekten anses viktiga för att kunna visa vad som är bra respektive mindre bra med de olika metoderna. För framtida projekt där teknikerna kan komma att användas är det bra att kunna ta tillvara på de erfarenheter som finns inom området. Resultaten från projekten redovisas inte med fokus på arbetstimmar och kronor. Istället har det undersökts hur införelse och användande av metoderna har fungerat samt hur byggprocessen i projekten har sett ut. Fokus ligger på vilka metoder som har använts och hur de har utförts. Intryck från personal som intervjuats vid respektive projekt ligger till grund för studierna som har gjorts.

### 6.1 Citytunneln Centralstation, Malmö

Tågtrafiken i Skåne och Öresundsregionen i dess helhet ökar och Malmö station är en av trafikens huvudknutpunkter. I dagsläget är Malmö centralstation en säckstation. Huvuddelen av den inkommande trafiken kommer norrifrån och måste sedan åter åka norrut för att byta spår och vända söderut. Bygget av Citytunneln under Malmö stad har för avsikt att bygga bort denna logistiska flaskhals. Som en del i projektet Citytunneln byggs Malmö Centralstation ut med en underjordisk stationsdel anknuten till den nuvarande stationsbyggnaden. Denna nya stationsdel har två spår i vardera riktningen samt två perronger. Då bygget är klart kommer perrongernas nivå ligga tio meter under dagens marknivå och ha en längd av 340 meter. Urschaktning sker därför ner till uppemot 20 meters djup i den 900 meter långa och upp till 50 meter breda schaktgropen. När bygget av stationen står färdigt beräknas 120 000 m<sup>3</sup> betong samt 15 000 ton armering ha använts. Så pass stora kvantiteter är sällsynta inom ett och samma projekt. För att få en uppfattning om kvantiteternas storlek kan nämnas att årsförbrukningen av armeringsstål för hela NCCs verksamhet i Sverige normalt uppgår till ungefär 20 000 ton. Byggarbetsplatsen är väldigt stor och omfattande arbete sker för att minimera störningarna hos omkringliggande verksamhet och logistik. Detta är en stor utmaning då byggarbetsplatsen ligger mitt i centrala Malmö. NCC, som är totalentreprenör i projektet, har valt att använda sig av förtillverkade armeringskorgar. (Citytunneln, 2007)

#### 6.1.1 Bakgrund till teknikval

NCC har i detta projekt deltagit i både detaljprojektering och produktion. Under detaljprojekteringen har företagens egna konstruktörer varit med och utformat konstruktionen men även konstruktörer från andra firmor var delaktiga. I produktionen har produktionsledare, platschefer och arbetsledare utgjorts av svensk personal medan yrkesarbetarna på byggarbetsplatsen såväl som i armeringsfabriken

hyrts in från Polen. Kommunikationen har fungerat genom att varje lagbas kan engelska.

Utformningen av stationen är av boxliknande typ enligt Figur 6.1. Då schakt gjorts gjuts ett lager skyddsbetong direkt på marken. Ovanpå detta lager ska sedan gjutning ske av bottenplatta och väggelement. Till sist gjuts ett tak över konstruktionen.



*Figur 6.1 Konstruktionens utformning. Foto: Perry Nordeng, redigerad bild.*

Den färdiga konstruktionen kommer att bestå av två centerade spår skiljda av en rad pelare. På andra sidan av respektive spår finns en perrong vilken följs av ytterligare ett spår innan den yttre väggen enligt Figur 6.2. Bottenplatta och vägg ska gjutas som en enhet. Då konstruktionen är färdig kommer biltrafiken åter dirigeras till sitt gamla stråk ovan den nedgrävda stationen.



*Figur 6.2 Vy över tillbyggnad av Malmö Central. Skiss: Petter Löndegård*

Vid utbyggnaden av Malmö Centralstation har NCC valt att primärt använda sig av förtillverkade armeringskorgar. Det beräknas att 70 - 80 % utav projektets totala armeringsmängd kommer bestå utav dessa korgar.

Initiativet till användandet av förtillverkade armeringskorgar kom från produktionsledningen som var ansvarig för armeringsarbetet. Beslutet att använda sig av tekniken fattades vid detta projekt efter samarbete mellan konstruktör och produktionsledning.

Två faktorer som var viktiga vid valet av denna teknik var tidsfaktorn och platsbristen. Det var viktigt att minimera den påverkan som byggandet har på biltrafiken i centrala Malmö. Störningarna ska vara så små som möjligt och verka under så kort tid som möjligt. Detta ger upphov till ett pressat tidsschema för bygget samtidigt som byggarbetsplatsens yta ska minimeras.

Centralstationen i Malmö är ett väldigt stort projekt. Detta ger möjlighet till långvarig kontinuerlig produktion av armeringskorgarna förutsatt att avvikelserna hos dessa inte är stor. Konstruktören pekar dock på att projektet inte är optimalt för användning av förtillverkade armeringskorgar då de fyra järnvägsspåren har olika krökningar. Detta leder till att varje armeringskorg är unik. Den mest fördelaktiga situationen hade varit om tunneln hade samma tvärsnitt längs hela sträckningen.

### **6.1.2 Process**

I närhet till schaktgropen har NCC byggt upp en egen, för projektet uppstartad, armeringsfabrik i några av Kockums gamla industrilokaler. Armeringsfabriken i sin helhet är utformad för att passa stora anläggningsprojekt. Det som kännetecknar armeringen inom dessa projekt är en stor användning av grova armeringsdimensioner och högt armeringsinnehåll. I armeringsfabriken är både armeringsarbetare och arbetsledning rekryterade från anläggningssidan. Fabriken är uppdelad i två separerade lokaler. I den första, armeringsfabriken, sker klippning och böckning av armeringsjärnen. I den andra lokalen, monteringsfabriken, sker förtillverkning av armeringskorgarna.

Här används två olika produktionslinjer. En för armering levererad i lagerlängder och en för armering som levererats på coils.

#### **Armeringsfabriken**

Armeringsjärnen som levererats via lastbil till armeringsfabriken lagras i direkt närhet till fabrikslokalen. Enligt produktionsledningens tillverkningsordning lyfts sedan de aktuella dimensionerna in i lokalen. Här används två olika produktionslinjer. En för armering levererad i lagerlängder och en för armering som levererats på coils. Arbetet med armeringen utgår från en noggrant utförd armeringsförteckning, se Figur 6.3. Armeringsförteckningen innehåller all information gällande de enskilda armeringsjärnen för en etapp.





*Figur 6.5 Maskin för riktning, klippning och bockning av armering levererad på coils. Observera kontrollpanelen var strekkodsavläsningen sker.*

Grövre dimensioner tillverkas av lagerlängder. Ett flertal armeringsjärn klipps då i samma rörelse för att tillsammans via produktionsbandet transporteras vidare. Armeringsarbetaren som styr klippmaskinen styr armeringsjärnens transport. Ska järnen bockas åker de vidare till bockningsmaskin där de bockas tillsammans. Om de inte ska bockas åker de åt ett annat håll för buntning. Klippmaskin och bockmaskin handhas av varsin operatör. Bockningsmaskinen är begränsad till bockningsradier under 64 mm. I de fall då större radier ska användas så klipps armeringsjärnen i produktionslinjen för lagerlängder varefter de tas ur produktionslinjen och bockas vid en manuellt styrd maskin. Buntning med tillhörande märkning sker manuellt även för grövre dimensioner.

Då en bunt lastas på trailer för vidare transport till montagehallen rivs den högra delen av märkningslappen av och sparas som kvittens på att enheten lastats för leverans. Transporten vidare till monteringsfabriken sker med lastbilssläp som dras av en hjullastare.



### Monteringsfabriken

Buntarna lossas i monteringsfabriken på anvisad plats i väntan på att montering av den specifika armeringskorgen ska ske, se Figur 6.6.



*Figur 6.6 Upplag i monteringsfabriken för klippt och färdigbockad armering.*

När monteringen tar vid najas och svetsas armeringsjärnen samman manuellt till stora armeringskorgar om flera ton styck. Najning används primärt och eventuellt hade najningsmaskiner varit att föredra ur arbetsmiljösynpunkt. Svetsning utförs på den monteringsarmering som krävs för att ge armeringskorgen tillräcklig styvhet då den lyfts. Svetsarna har högre hållfasthet än de najade fogarna och kan bära moment vilket är anledningen till att monteringsarmering inte najas. Enligt produktionsledningen skulle annars najning ha föredragits då detta går snabbare. Monteringsarmeringen tillverkas som stabiliserande enheter av grövre dimensioner, se Figur 6.7 Värt att notera är att det endast är monteringsarmering som svetsas. På grund av svetsarna tillgodoräknas inte denna armering som lastbärande varken för statiska eller dynamiska laster.



*Figur 6.7 Svetsade monteringsenheter för stabilisering.*

Produktionen av armeringskorgarna sker i jiggarna vilket är en mall för armeringskorgen där inplaceringen av armeringen är utmärkt på förhand. Jiggarna är tillverkade på armeringsfabriken för att passa den aktuella produktionen. De är gjorda av träreglar där frästa spår finns som armeringsjärnen ska sitta i. Armeringsjärnen inplaceras och najas samman i jiggen. De svetsade delarna lyfts också in i jiggen och fästs i övrig armering. I Figur 6.8 visas en armeringskorg, med både svetsad monteringsarmering och najad armering, under produktion i jiggen. All monteringsarmering som ingår i korgarna är inte projekterad och viss egentillverkning sker i lokalen. Därför finns tillgång till både klipp- och bockmaskin.



*Figur 6.8 Svetsad monteringsarmering och najad armering vid montering i jiggen.*

Då armeringskorgarna är färdiga lyfts de med en traverskran upp på en trailer för vidare transport antingen till schaktgropen eller till ett mellanlager i närheten av fabriken. Traverskranen som finns tillgänglig i monteringslokalen är dimensionerande för armeringskorgarnas vikt. Fem ton är maximala lasten som fick lyftas. För övrigt är traversen konstant sysselsatt och det anses att ytterligare lyftkapacitet hade behövts för att öka produktiviteten.

### **Byggarbetsplatsen**

Efter att armeringskorgen, med lyftkran, sänkts ner i schaktgropen, och passats in på plats, sker kompletterande armeringsarbete för att sammanfoga korgen med de andra korgarna. Detta arbete utförs manuellt enligt traditionella metoder med najning för hand och man har i detta syfte tillgång till både klipp- och bockmaskin även här.

## **6.2 Turning Torso, Malmö**

När detaljplanen till Bo01 i Malmö gjordes planerades det att byggas ett 25 våningshus på platsen där Turning Torso står idag. När sedan arkitekten Santiago Calatrava kontaktades och anlätades som arkitekt resulterade det till slut i att byggnaden skulle bli 54 våningar och 190 meter hög. När bygget stod klart år 2005 var det därmed Europas näst högsta bostadshus och ett välkänt landmärke i Malmö. Byggnaden vrider sig 90 grader från botten till toppen, se Figur 6.9. Som förebild till Turning Torso står en skulptur som Calatrava skapat. Byggnaden består av fem kuber med vardera nio våningar, mellan alla kuber finns även mellanliggande våningar. I de två nedersta kuberna är kontorslokalerna placerade och de översta tre består av bostäder. (Turning Torso, 2007)



*Figur 6.9 Turning Torso*



För att vara ett bostadsprojekt användes stora mängder material. Totalt användes ca 25 000 m<sup>3</sup> betong och 4 400 ton armeringsstål. Dessa kvantiteter är väldigt stora, speciellt för att vara ett husprojekt. Det höga armeringsinnehållet, ca 180 kg per m<sup>3</sup> betong, är också högst ovanligt vid husbyggnationer och finns normalt endast i anläggningskonstruktioner. Produktionsledningen ansvarig för armeringsarbetet kom från anläggningssidan och var följaktligen van vid förutsättningarna som kännetecknade projektet. Produktionsledningen för armeringsarbetet var för övrigt delvis den samma som vid det pågående bygget av Malmö Centralstation.

### **6.2.1 Bakgrund till teknikval**

NCC har deltagit vid projekteringen av Turning Torso men även varit inblandande som entreprenör. Själva armeringsritningarna har gjorts av Sweco. Som entreprenör hade NCC kontrakt på stombyggnationen samt stomkomplettering. Produktionsledningen såväl som yrkesarbetarna från NCC bestod av svensk arbetskraft. Inom NCCs produktionsledning fanns mycket hög kompetens gällande armeringstekniker. Tidigare erfarenheter från användande av industrialiserade armeringsutformningar hade produktionsledning fått bland annat från byggandet av Öresundsförbindelsen.

Stommen består av en armerad betongkärna som kompletteras av ett utvändigt stålskelett. Betongkärnan har en innerdiameter på 10,6 meter och en maximal vägg tjocklek om 2,5 meter i botten. Våningsplanen vilar på kärnan som bjälklag utan avväxlingsbalkar. Bjälklagen är gjorda av armerad betong och har en tjocklek av 270 mm. Utformningen av bjälklagen var för övrigt identisk för alla våningar inom samma kub. Däremot så skilde sig utformningen kuberna sinsemellan.

Vid byggstarten var det tänkt att armeringen för varje våningsplan delvis skulle förtillverkas. Tanken var att underkantsarmeringen skulle monteras samman på marken till armeringskorgar för att sedan kompletteras med överkantsarmering när korgen ligger i formen. Under byggets gång upptäcktes nackdelar med detta. Den höga höjden kombinerat med det kustnära läget gjorde att det blåste mycket. Då man skulle lyfta material upp till arbetsplatsen var detta ett problem då kranen var känslig för högre vindhastigheter. Antalet nödvändiga lyft var därmed tvungna att minimeras så att de kunde hinnas med under de, stundtals få, tillfällen man hade tillräcklig stiltje. Produktionsledningens ansvarige för armeringsarbetet granskade då armeringsritningarna och såg då möjligheten att förbättra produktionen och minska antalet lyft genom att utöka användningen av förtillverkade armeringskorgar.

### **6.2.2 Processen**

NCC bytte produktionsmetod under byggets gång. Produktionsledningen för armeringsarbetet föreslog att man även skulle montera in överkantsarmeringen och installationer i de förtillverkade armeringskorgarna. Förslaget mottogs positivt från många håll. Entreprenörerna som hade hand om rördragningarna protesterade dock mot förslaget vilket de ansåg skulle försvåra deras arbete. Förslaget genomfördes ändå och det visade sig fungera bra för alla berörda parter. Produktionen utfördes i egentillverkade jigger, se Figur 6.10. Tolv yrkesarbetare arbetade i lokalen. Åtta armeringsarbetare, två snickare, en smed samt en hjullastarförare. Mellan dessa förekom ingen arbetsrotation. Lokalerna som användes för monteringen av

armeringen är för övrigt samma som idag används för klippning och bockning av armeringen till Citytunneln.



Figur 6.10 Förtillverkning av bjälklagsarmering i jigg. Foto: Tommy Wally.

Armeringen till armeringskorgarna köptes av Tibnor och levererades klippt och bockad. I de fall leveranserna uteblev eller armeringen inte höll angivna toleranser fick kompletterande armering klippas och bockas i lokalen. Klipp och bockmaskin var därför nödvändig utrustning i lokalen. Korgarna förtillverkades sedan av NCCs egen personal i lokaler med direkt anknytning till byggarbetsplatsen. Najningsmaskiner fanns tillgängliga under monteringen. Armeringskorgarna kördes sedan ut till byggarbetsplatsen och lyftes upp med byggkran. Armeringskorgarna till bjälklagen gjordes med indelning i tårtbitar. Tårtbitarnas storlek begränsades av porten till förtillverkningslokalen. Det göts ett nytt bjälklag var tionde dag. Under tiden som byggnationen pågick förfinades metoden med att förtillverka armeringskorgar. När bygget startades behövdes nästan 50 lyft per våningsplan för att få upp all armering. I och med de utförda rationaliseringarna kunde antalet lyft reduceras sedan till 14 - 15 stycken per våningsplan. På de övre våningarna tog ett lyft inklusive lastning och lossning ca 5 - 6 minuter plus att kroken ska firas ned igen. Stora tidsbesparingar uppnåddes härmed och kranen kunde istället användas till annat arbete.

### 6.3 Ångströmlaboratoriet, Uppsala

I Ångströmlaboratoriet som är beläget vid Polacksbacken i Uppsala bedriver Uppsala Universitet verksamhet inom områdena fysik, materialkemi, teknik och rymdfysik. Byggnaden som har en total area på 64 000 m<sup>2</sup> innehåller laboratorier, kontor samt undervisningslokaler. Under uppförandet delades byggnaden upp i två etapper. Etapp två, vilken kommer att behandlas i denna rapport, är på 26 500 m<sup>2</sup>. Byggnationen påbörjades i september år 1998 och stod klart år 2000 då byggnaden invigdes. (Ångströmlaboratoriet, 2007)

Vid byggandet av Ångströmlaboratoriet användes förtillverkade armeringskorgar till pelare, balkar och väggar. Förtillverkningen skedde i en armeringsstation på byggarbetsplatsen. Tillverkningen skedde i jiggar som var speciellt tillverkade för

projektet. Information till fallstudien har till stor del hämtats från den erfarenhetsrapport som skrevs av Söderholm och Österberg (1999) efter avslutad stombyggnad.

### 6.3.1 Bakgrund till teknikval

Resningen av stommen utfördes som delad entreprenad. Det fanns inga föreskrifter från projektledningen huruvida en viss armeringsteknik skulle användas utan NCC hade full frihet vad gällde teknikvalet.

Beslutet att använda förtillverkade armeringskorgar togs av arbetslaget tidigt under byggstartskedet. Motiveringen var målsättningen att minimera behovet av enklingsform vilken måste finnas då montering av armering sker direkt i form. Valet stod mellan att producera armeringskorgarna själva eller att köpa in delvis färdig armering. Trots viss tveksamhet kring huruvida armeringsproduktionen skulle hinna med formsättningstakten togs ändå beslut om att tillverka armeringskorgarna själva. Då det var arbetslaget som tog beslutet kan det antas att stor praktisk erfarenhet fanns tillgänglig.

### 6.3.2 Process

På byggarbetsplatsen byggdes en ordentlig armeringsstation upp där all förtillverkningen av armeringskorgar till pelare, balkar och väggar gjordes. För att klara denna produktion användes det under en kortare tid ytterliggare en armeringsstation. Övrig armering monterades direkt i formen. Ordentliga och noggrant genomtänkta jigggar byggdes upp för att snabba på monteringsarbetet. Armeringsstationen var bemannad av tre stycken armeringsarbetare. På byggarbetsplatsen förekom viss arbetsrotation vilket innebar att det inte hela tiden var samma personer som arbetade vid stationen.

Armeringsarbetarna ansåg att det är värt att lägga lite extra tid på tillverkningen av jiggarna då detta underlättade det följande arbetet med att förtillverka armeringen. Produktionsmetoden med armeringsmontering i jigg mottogs mycket väl av armeringsarbetarna. Arbetet gick fortare, enklare och gav bättre arbetsställningar jämfört till traditionellt armeringsarbete. Arbetslaget pekar dock på att användandet av jigggar inte ensamt hade klarat av att höja produktionstakten till den nivå som krävdes. De menar att najningsmaskiner var en nödvändighet för att klara av att hålla den avsedda produktionstakten på detta projekt.

Armeringskorgarna till pelarna svetsades samman i stående jigggar. Den totala vikten för en sådan armeringskorg var 220 kg. Att använda svetsning var nödvändigt för att undvika kollaps av pelarna under lyft in i formen.

Väggarmeringen anpassades till armeringsstänger av lagerlängder om 12 meter. På detta sätt skulle onödigt klippning undvikas vilket skulle vara en besparing. Den liggande jiggen som användes blev då givetvis väldigt stor och najning var tvungen att ske i marknivå. De färdiga armeringskorgarna vägde ca 550 kg och najades med najningsmaskin, se Figur 6.11. Användandet av najningsmaskiner, vilka i detta fall gav svagare najningar än vid handnajning, möjliggjordes av att ett krysstag handnajades till armeringskorgen. Krysstaget såg då istället till att armeringskorgen kunde hålla ihop under lyftet. Armeringsarbetarna tyckte det var positivt att inte

använda avkortade armeringsjärn. Det går enligt deras mening alltid åt extra tid till att leta efter rätt armeringsjärn i sådana fall.



*Figur 6.11 Montering av väggarmering med najningsmaskin i liggande jigg. Bild från NCC (2007).*

Vid montering av armeringen till balkarna användes handnajning. Monteringens skedde i stående jigg och lyftes på plats med hjälp av ett speciellt lyftok. Vikten för en armeringskorg till balkar var 395 kg.

Armeringsstationen och dess jigg kunde nås av en utav de två kranar som fanns på byggarbetsplatsen. Totalt förtillverkades 900 ton armering i armeringsstationens jigg. Den begränsade tillgången på lyftkapacitet upplevdes ibland som ett problem i detta projekt. Kranen lyfte sedan armeringskorgarna direkt in i formen eller till en uppställningsplats för förvaring av färdigtillverkad armering i väntan på senare inplacering i form.

## **6.4 Lillesjöverket, Uddevalla**

Behovet av utökad fjärrvärmeproduktion i Uddevalla regionen uppstod i och med att det gamla fjärrvärmeverket på Hovhult började bli uttjänt. Beslut togs om att nybyggnation av en ny anläggning skulle ske. Utanför Uddevalla, i industriområdet Lillesjö, påbörjades 2006 bygget av ett nytt värmeverk. Verket är planerat att tas i drift under 2009. Figur 6.12 visar Lillesjöverket under pågående uppbyggnad.



Figur 6.12 Lillesjöverket

Bränslet i den framtida produktionen av fjärrvärme kommer huvudsakligen från hushållsavfall. Man beräknar elda avfall från 20 till 30 lastbilar per dag och verket beräknas då kunna förse 16 000 villor med värme och varmvatten.

#### 6.4.1 Bakgrund till teknikval

Bygget utförs som en delad entreprenad. Upphandlingen för byggarbetet har skett i etapper. Utav totalt sex etapper har NCC fått kontrakt på fyra och utför byggarbetet enligt byggherrens ritningar. Utöver de sex byggetapperna finns även ett antal installationsrelaterade etapper. Det arbete som NCC ska utföra innefattar betongentreprenad, tätt hus, stomkomplettering och kompletteringsbyggnader. Då projektering och byggnation inte sköts av samma företag ger det ett begränsat inflytande över byggnadens utformning för entreprenörerna.

#### 6.4.2 Processen

Armeringsarbetet sker till största del med traditionella metoder med bockning och klippning på plats samt montering i form. Även ILF-armering från armeringsfabriken i Malmö användes i viss, om än mycket begränsad, utsträckning. Utökad användning av ILF-armering som skulle levereras färdig till bygget försvåras av bristande projektering i projektet. En annan entreprenör som har kontrakt på processen är försenade i sitt arbete vilket ibland ger upphov till sena ändringar även för NCC. Ändringar på ritningarna leder oftast till ändringar i produktionen. Tiden från det att de nya ritningarna är färdigställda till den planerade gjutningen blir då så knapp att leverans av ILF-armering inte kan säkerställas.

På byggarbetsplatsen finns en armeringsstation dit leveranser av armering i lagerlängder samt ILF sker. Armeringsstationen har upplag för obearbetad armering, ILF och armering som har klippts och bockats på plats. Vidare finns även bock- och klippmaskin för bearbetning på plats samt en lyftkran avsedd att serva stationen. Placeringen av bock- och klippmaskin var med ett avstånd på cirka fem meter och det saknades en naturlig produktionslinje mellan dessa. Lyft av armeringsjärn mellan

maskinerna var därför nödvändig. Figur 6.13 visar del av armeringsstationen. På bilden kan även ses att armeringsstationen saknar väderskydd.



*Figur 6.13 Del av armeringsstation vid Lillesjöverket med förlager och klippbänk.*

Under vissa gjutetapper användes förtillverkade armeringskorgar. Tillverkning utav dessa skedde enligt traditionella metoder på arbetsplatsens armeringsstation. Användning av denna metod var särskilt vanlig vid gjutning av balkar. Detta ansågs vara tidsbesparande och bättre för armeringsarbetarna sett ur arbetsmiljösynpunkt. Bristande projektering anges även i detta fall som anledning till att inte fler byggnadsdelar armeras med denna metod. De förtillverkade korgarna var relativt små och svetsning var därför inte nödvändig för att stabilisera korgarna vid lyft. Enligt platsledningen förekom inte förtillverkade armeringskorgar med vikter över ett ton i detta projekt. De grova stångdimensioner som användes i de förtillverkade armeringskorgarna gav så pass hög styvhet att extra monteringsarmering inte var nödvändig.

Vid både förtillverkning och montering i form användes najningsmaskiner i stor utsträckning då det går snabbare. Platschefen uppskattade att 90 – 95 % av allt najningsarbete utfördes med najningsmaskiner. I de fall då najningen skedde för hand berodde det på att arbetet var otillgängligt för najningsmaskin. Nackdelarna med najningsmaskinerna var de ökade kostnaderna för hyra och material i form av najtråd. Figur 6.14 visar najning som är utförd för hand respektive med najningsmaskin. Det framgår tydligt att användningen av najtråd ökar vid användning av najningsmaskiner vilket även leder till ökade kostnader.





*Figur 6.14 Vänster: Najning utförd manuellt.  
Höger: Najning utförd med najningsmaskin.*

## **6.5 Utvärdering av fallstudier**

I detta delkapitel har viktiga intryck från respektive fallstudie samlats. Det har även gjorts en kartläggning av processerna för de olika projekten enligt kap. 3.3. I samband med kartläggningen har det identifierats steg i processen där det finns möjligheter till förbättringar. Kartläggningen av de processteg vi lagt märke till redovisas i tabellform. Den vänstra kolumnen beskriver processen för det aktuella projektet. I den högra kolumnen beskrivs hur en process borde se ut för ett liknande framtida projekt. Fallstudierna har även använts för att pröva utvärderingen av produktionsmetoder enligt Tabell 5.2.

I slutet av utvärderingen jämförs fallstudierna med varandra för att identifiera vilka punkter i processerna som är gemensamma för alla projekt och därför extra viktiga att beakta när platsbyggandet ska effektiviseras.

## 6.5.1 Citytunneln Centralstation, Malmö

Entreprenadform: Totalentreprenad

Produktionsmetod: Förtillverkning av armeringskorgar i fabrik

Armeringstyper: LL och coils

Processkartläggning		
Projektering	<b>Aktuellt projekt</b>	<b>Framtida projekt</b>
	1. Samarbete mellan egna konstruktörer och produktionsledning.	
	Egna konstruktörer och inhyrda konstruktörer använder olika lösningar och använder sig av standardlängder i för liten utsträckning. Ofullständiga armeringsritningar försvårar förtillverkning.	Utökat samarbete mellan alla inblandade aktörer, eftersträva partneringliknande arbetsformer. Definiera vilka standardlängder, bockningsradier mm. som ska användas i projektet.
	2. Framtagning av armeringsritningar i samråd mellan konstruktörer och produktionsledning.	
	Arbetsritningar görs av produktionsledning anpassade efter konstruktionsritningar.	Använd 3D-modeller. Även framtagning av individuella ritningar för varje enskild armeringskorg.
	3. Specificering av armering.	
Specificering sker manuellt, ej direkt från Cad-modellen	Armeringsspecifikation, om möjligt automatisk generering från 3D-modell.	
Produktion	<b>Aktuellt projekt</b>	<b>Framtida projekt</b>
	4. Leverans av material.	
	5. Skapande av tillverkningsorder/märklapp utifrån armeringsspecifikation.	
	Skapandet av tillverkningsordern sker inte automatiskt utifrån armeringsspecifikationen. Kan leda till fel som inte upptäcks vilket leder till felproduktion.	Tillverkningsordern skapas helt automatiskt vilket eliminerar risken för fel.
	6. Riktning, klippning och bockning.	
	Det används endast coils med diameter upp till 16 mm.	Efterfråga coils med grövre dimensioner för effektivare produktion.
	7. Buntning och märkning.	
	8. Leverans till monteringshall.	
	9. Montering av armeringskorgar i jigggar.	
	10. Leverans till byggarbetsplatsen.	

Produktionsledningen som är ansvarig för armeringen besatt kunskaper som var en förutsättning för användningen av förtillverkade armeringskorgar i detta projekt. Denna kunskap har fått genom flera års erfarenhet inom armeringsarbete och senare även produktionsledning av armeringsarbete. Dessa erfarenheter har tagits tillvara under steg 1 i projekteringen enligt processkartläggningen ovan. En sådan helhetsbild som produktionsledningen besitter är svår att överföra till andra personer. För att lyckas är det nödvändigt att erfarenheterna omarbetas till riktlinjer för hur arbetet ska utföras.



En viktig punkt vid förtillverkning av armeringskorgar, enligt produktionsledningen i Malmö, är uppdelning i gjutetapper. Uppdelningen bör ske så att dessa påminner om varandra i utformning och utförande. Detta arbete sker under steg 2 i projekteringen enligt processkartläggningen. Utöver detta så bör armeringen i gjutetapperna delas in i sektioner som motsvarar en armeringskorg som sedan kan massproduceras. På detta vis nås vinningen av att arbeta i repetitivt mönster i produktionen med en produkt som känns igen. Produktionsledningen har arbetat mot att påverka armeringsutformningen till att bli så enkel som möjlig. Produktionen ska underlättas för att spara tid.

Det är enligt produktionsledningen i dagsläget inte möjligt att projektera vartenda armeringsjärn som kommer användas. Totalt räknar man med att 3 - 4 % av projektets totala armeringsmängd inte projekterats. Detta gäller då givetvis endast monteringsarmering. Då järnen inte finns med i projekteringen finns de inte specade heller och kan därmed inte klippas och bockas systematiskt i fabriken vilket kräver märkningslapp med streckkod. Klippning och bockning sker då istället med manuellt styrda maskiner i monteringshallen alternativt på byggarbetsplatsen. Detta har under processkartläggningen påpekats som en brist i steg 2. Produktionsledningen menar att ca 10 % av armeringen för projektet bestod av monteringsarmering. Normalt är andelen ungefär 5 %. Om delar av monteringsarmeringen hade kunnat tillgodoräknas som lastbärande hade man kunnat minska mängden konstruktionsarmering.

Enligt en av konstruktörerna för Centralstationen ökar behovet av ritningsarbete vid användande av förtillverkade armeringskorgar. Det optimala vore om ritningarna togs fram i två steg. I det första steget tas ritningar fram som för ett normalt projekt. I det andra steget tas individuella ritningar fram för varje enskild armeringskorg. De individuella ritningarna ska utformas på sådant sätt att de passar produktionen, till exempel genom användning av lagerlängder vilket undviker klippning av armeringen. I det andra steget är det viktigt med ett samarbete mellan konstruktör och produktionsledning. Detta för att uppnå en god lösning som är produktionsvänlig men också fungerar konstruktionsmässigt. Konstruktören för Centralstationen anser även att 3D-modellering skulle kunna vara användbart när individuella ritningar tas fram men menar att detta även ställer krav på att yrkesarbetarna kan hantera dessa. Även produktionsledningen framhåller 3D-modeller som ett bra sätt att minska fel i projektering och produktion. 3D-modellering skulle på detta sätt tvinga konstruktören att tänka mer ”produktionsmässigt” om vilken lösning som passar. Produktionsledningen menar dessutom att konstruktörerna borde specifiera armeringsjärnen då armeringen ritas vilket skulle minska antalet arbetssteg och därmed spara ytterligare tid. Steg 3 i processkartläggningen skulle därmed eventuellt kunna tas bort. Produktionsledningen omarbetar i dagsläget konstruktionsritningar till arbetsritningar för armeringskorgarna som ska förtillverkas. Många konstruktionsritningar är idag utformade med ett koordinatsystem som produktionsledningen anser försvårar detta arbete.

Ett generellt intryck från produktionsledningen är att arbetstiden i steg 6 och 9, det vill säga enhetstiden per ton färdigmonterad armering, minskar markant med förtillverkad armering. De är dock medvetna om att investeringskostnaderna för fabriken är stora och att tekniken därför lämpar sig bäst för projekt med stora armeringsvolymmer.

När förtillverkad armering används är armeringsarbetet mindre eller inte alls beroende av tidigare steg i produktionen, exempelvis formsättning, vilket gör att tidspressen och stressen minskar. Arbetarna anser att detta sätt att arbeta på är positivt. Ordning och

reda råder i produktionen och alla vet vad de ska göra. Detta har upplevts positivt bland armeringsarbetarna då det leder till att produktionen sker strukturerat. Arbetet skedde i stora lokaler med god ventilation och belysning. Dock så utfördes arbetet till viss mån i ergonomiskt dåliga ställningar och i vissa fall i riskfyllda positioner. Produktionsledningen var medveten om att det fanns utrymme för ytterligare förbättringar av arbetsmiljön. Produktionsledningen var dock samtidigt ense om att man i jämförelse med traditionellt utförande uppnådde en förbättrad arbetsmiljö redan i dagsläget.

Vid användning av prefabricering anser konstruktören att alla avvikelser från ritningen i produktionen leder till problem. Detta skiljer sig från traditionell platsbyggnation då de flesta problem som uppstår går att lösa på plats. Användningen av förtillverkade armeringskorgar är inget förlåtande system, då det ställer höga krav på måttnoggrannheten. Det är viktigt att alla som är inblandade i projektet är väl medvetna om detta för att minimera risken för att fel uppstår.

Fallstudien har påvisat bristen på kunskapsåterföring. NCC har tidigare inte bedrivit förtillverkning av armering i de kvantiteter eller med den utrustning som i dagsläget sker i Malmö. Förutsatt att konceptet med förtillverkad armering med egen armeringsfabrik inte visar sig vara ett misslyckande, vilket inte verkar vara fallet, kan motsvarande koncept bli aktuellt vid liknande projekt. Produktionsledningen tycker därför att det är konstigt att större intresse för deras verksamhet inte finns i dagsläget. Borde det inte vara så att fler eventuella framtida användare av konceptet kommer och besöker för att se hur produktionen fungerar? Snart upphör produktionen i Malmö, borde inte inskolning och förankring av produktionstekniken ske medan chansen finns? I dagsläget finns, såvitt produktionsledningen i Malmö vet, inget projekt inom NCC som skulle kunna använda samma koncept. Detta tros vara anledningen till att inte fler platschefer kommit och besökt fabriken. ”Innan ett uttalat behov finns så är det ingen som har tid”.

Enligt utvärderingen av produktionsmetoden i Tabell 6.1 lämpar sig projektet väl för förtillverkning av armeringskorgar i egen fabrik. Enda alternativet skulle ha varit förtillverkning hos armeringsleverantör då bristen på upplagsplats var påtaglig. Jämförelse av dessa två alternativ, armeringsfabrik i egen - eller leverantörs regi, ger samma resultat räknat i plus- och minustecken. Citytunneln är dock ett projekt av extrem storlek där ytterligare fördel nås av produktion i egen regi. Detta eftersom fabrikskostnaden blir liten per ton armering. Desto större armeringsvolym desto billigare blir produktionen i egen regi. Armeringstillverkarens vinstmarginal är dock oberoende av projektets storlek. Ytterligare en fördel är att transportavståndet från armeringsleverantörens fabrik i Halmstad var mångdubbelt större än från den egna fabriken. Lokalbehovet kunde dessutom lösas på ett praktiskt sätt för NCCs del genom att använda Kockums nedlagda lokaler.

Tabell 6.1 Utvärdering av produktionsmetod för armering vid Citytunneln.

	Bra vid stora projekt		Bra vid små projekt		Bra vid högt armeringsinnehåll		Bra vid lågt armeringsinnehåll		Bra då krav av serie ändringar		Bra då hög kvalitet önskas		Bra då god arbetsmiljö önskas		Bra vid långa transport avstånd		Bra då viktbegränsning finns i produktion		Bra då begränsning av svefning finns		
Montering i form	-	0	-	+	+	-	0	-	0	-	0	0	+	+	-	0	+	+	-	0	+
Förtillverkning i armeringsstation	+	-	+	0	-	+	+	+	-	0	0	+	-	+	+	0	+	+	+	0	0
Förtillverkning i fabrik, egen regi	+	-	+	-	-	+	+	+	+	0	-	-	+	+	+	0	-	-	+	+	-
Förtillverkning i fabrik, armeringsleverantör	+	0	+	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-

### 6.5.2 Turning Torso, Malmö

Entreprenadform: Delad entreprenad

Produktionsmetod: Förtillverkning av armeringskorgar i fabrik

Armeringstyper: LL och ILF

Processkartläggning		
Projektering	<b>Aktuellt projekt</b>	<b>Framtida projekt</b>
	1. Väl utvecklat samarbete mellan externa konsulter och NCCs produktionsledning vid utformningen av armeringen. Produktionsmetod bestämdes tidigt och låg som grund för fortsatt projektering.	
	Personlig erfarenhet hos produktionsledning gjorde valet av produktionsmetod möjligt.	Teknikval skall inte vara beroende av enskilda personers medverkan i projektet.
2. Samarbete med VVS installatör för att möjliggöra förtillverkning i den utsträckning som önskades.		
Produktion	<b>Aktuellt projekt</b>	<b>Framtida projekt</b>
	3. Leverans av material.	
	Levererad ILF armering var av dålig kvalitet.	Leverans av ILF sker från beprövad och pålitligt leverantör.
	4. Förtillverkning av armeringskorgar i närliggande fabrikslokal.	
	5. Leverans till byggarbetsplatsen	

Användandet av förtillverkade armeringskorgar visade sig vara väldigt lämpligt i detta projekt. Med denna metod kunde antalet lyft minskas med 65 – 70 %. Byggnadens storlek och det höga armeringsinnehållet möjliggjorde även en långvarig kontinuerlig produktion. En annan stor fördel var den repetition som kunde användas i produktionen tack vare att många våningsplan var likadant utformade.

Genom att flytta montering av armeringen till lokaler på marknivå uppnåddes stora tidsvinster i produktionen samt en bättre arbetsmiljö. Dock så uppfattades arbetet som mer monotont och lite tråkigare av yrkesarbetarna.

Det var enligt produktionsledningen tveksam kvaliteten på Tibnors leveranser. Ofta överskreds toleranserna, då leveranstiden var 2 - 3 veckor blev egen tillverkning ofta nödvändig. Problemen uppstod under steg 3 i processkartläggningen ovan.

Tillverkningen av armeringskorgar i NCCs monteringsfabrik utvecklades under tiden som bygget pågick och förbättrades under hela byggtiden. Denna utveckling skedde på initiativ från produktionsledningen. Produktionsledningen har i detta fall tidigare erfarenheter från användning av förtillverkade armeringskorgar vilket med största sannolikhet var en avgörande faktor vid beslut om teknikval. Erfarenheterna var även bidragande till att tekniken kunde utvecklas under projektets gång. Utan erfarenheterna produktionsledningen hade skulle steg 1 i processkartläggningen behöva göras om.

Även i detta fall uppnådde flera alternativ samma resultat räknat i plus- och minustecken, se Tabell 6.2. Enligt denna räkning hade både egen förtillverkning av armeringskorgar i armeringsstation alternativt i annans fabrik varit aktuell. Skillnader som inte syns i tabellens gradering finns dock. Avståndet och transportmöjligheterna av de skrymmande elementen gör produktion i fabrik på annan ort omöjlig. Alternativet hade alltså varit förtillverkning i egen armeringsstation. Den enkla tillgången till lämplig lokal i Kockums gamla industrihallar är med största sannolikhet en stor anledning till att produktionsmetoden valdes. Den förbättrade arbetsmiljön som tillverkningen i fabrik erbjöd gjorde valet även mer fördelaktigt. Ytterligare en fördel med armeringskorgar var det faktum att rördragningar kunde göras i samband med förtillverkningen i egen fabrik. Hade exempelvis rullarmering från leverantör använts hade rördragningarna fått göras i formen. Det är även troligt att så även varit fallet om armeringskorgar från leverantör använts då VVS entreprenörerna i sådana fall måste in i leverantörens lokaler.

Tabell 6.2 Utvärdering av produktionsmetod för armering vid Turning Torso.

	Bra vid stora projekt	Bra vid små projekt	Bra vid högt armeringsinnehåll	Bra vid lågt armeringsinnehåll	Bra då behov av sena ändringar	Bra då kort inläggningsstid önskas	Bra då god arbetsmiljö önskas	Bra då uppställningsplats önskas	Bra vid långa transport avstånd	Bra vid behov av kort leveranstid	Bra då volymbegränsning finns vid transport	Bra då viktbegränsning finns vid transport	Bra då begränsning finns i produktion	Bra då upprepning finns i produktion	Bra då få antal lyft önskas	Bra då begränsning av svering finns
Montering i form	-	0	-	+	+	-	0	-	-	0	0	+	+	-	0	+
Förtillverkning i armeringsstation	+	-	+	0	-	+	+	+	-	0	0	+	-	+	+	0
Förtillverkning i fabrik, egen regi	+	-	+	-	-	+	+	+	+	0	-	-	-	+	+	-
Förtillverkning i fabrik, armeringsleverantör	+	0	+	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	-

### 6.5.3 Ångströmlaboratoriet, Uppsala

Entreprenadform: Delad entreprenad

Produktionsmetod: Förtillverkning på byggarbetsplatsen

Armeringstyper: LL

Processkartläggning		
	Aktuellt projekt	Framtida projekt
Projektering	1. Entreprenören ej deltagande i projektering. Projektet ej produktionsanpassat	
		Projektering bör ske med aktuell produktionsmetod i åtanke.
	2. Bygglaget beslutar vid byggstart om att använda obeprövad produktionsmetod för armering trots tvekan om metodens produktionshastighet.	
	Bra med initiativ till förbättringar inom organisationen.	Mätbara data om tekniken skall finnas tillgängliga.
	Aktuellt projekt	Framtida projekt
Produktion	3. Leverans av material.	
	4. Standardiserat armeringsarbete i armeringsstation med bockning, klippning och förtillverkning i jigger.	
	Armeringsstationen var inte utrustad med väderskydd.	Väderskyddsutrustad armeringsstation så att arbetet sker under goda förhållanden för att säkra kvaliteten.
	5. Mellanlagring av förtillverkade armeringskorgar.	
	6. Inplacering av armeringskorgar med hjälp av lyftkran.	
	Endast en av två lyftkranar användes då armeringsstationen var placerad utom räckhåll för den andra.	Få tillräckligt med lyftkapacitet genom att planera kranarnas/armeringsstationens placering.

En erfarenhetsrapport från byggnationen av Ångströmlaboratoriet har visat att det var ett bra val att förtillverka armeringen på byggarbetsplatsen. I jämförelse med traditionell armeringsteknik kunde besparingar göras på grund av den minskade produktionstiden. I jämförelse med att köpa färdiga armeringskorgar av armeringsleverantör kunde än mer påtagliga besparingar på grund av de ökade inköpskostnaderna. I erfarenhetsrapporten påpekas dock att metoden kan utvecklas och förbättras ytterligare samt att den kan anpassas för att användas under andra omständigheter.

Att använda lagerlängder vid väggarmeringen visade sig vara ett mycket gott val. Metoden gjorde arbetet enklare och minskade mängden arbete som behövde göras.

Vid utformning armeringsstation är det viktigt att planera så att produktionskedjan fungerar. Exempelvis att tillräcklig lyftkapacitet finns tillgänglig. Det är även viktigt att tänka på att det kan behövas extra armering för att göra det möjligt att lyfta korgarna med kran utan att de tar skada. Nyckeln till att ett projekt ska gå bra är enligt intervjuade på projektet att ”planering skett så att det förutsedda sker”. Vinst nås

enligt samma person också om saker, i detta fall armeringsjärnen, flyttas så få gånger som möjligt. Inga onödiga moment ska ske.

Erfarenhetsåterföring har skett från projektet. Produktionsledningen arbetade fram en slutrapport där bland annat armeringsmetoderna behandlades.

Enligt gradering i Tabell 6.3 har rätt produktionsmetod valts. Ingen förutsättning hos projektet talar mot produktionsmetoden vilket är fallet för de andra alternativen. Främsta anledningen till att inte köpa in förtillverkade korgar är åter igen avståndet och transport möjligheterna. Leverantörens vinstpåslag är givetvis också missgynnande. En armeringsfabrik av motsvarande modell som i Malmö är inte aktuell på grund av det låga armeringsinnehållet. Jämfört till Citytunneln i Malmö var mängden armering som förtillverkades vid Ångströmlaboratoriet mindre än en tiondel. Etableringskostnaderna av en egen fabrik kan därav bli svåra att motivera.

Tabell 6.3 Utvärdering av produktionsmetod för armering vid Ångströmlaboratoriet.

	Bra vid stora projekt Bra vid små projekt Bra vid högt armeringsinnehåll Bra vid lågt armeringsinnehåll Bra vid behov av sena ändringar Bra då god arbetsmiljö önskas Bra då hög kvalitet önskas Bra då uppställningsplats önskas Bra då viktbegränsning önskas Bra då viktbegränsning finns i produktion Bra då få antal lyft önskas Bra då få antal lyft finns i produktion Bra då begränsning av svetsning finns															
Montering i form	-	0	-	+	+	-	0	-	-	0	0	+	+	-	0	+
Förtillverkning i armeringsstation	+	-	+	0	-	+	+	+	-	0	0	+	-	+	+	0
Förtillverkning i fabrik, egen regi	+	-	+	-	-	+	+	+	+	0	-	-	-	+	+	-
Förtillverkning i fabrik, armeringsleverantör	+	0	+	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	-

## 6.5.4 Lillesjöverket, Uddevalla

Entreprenadform: Delad entreprenad

Produktionsmetod: Montering i form

Armeringstyper: LL och ILF

Processkartläggning		
	Aktuellt projekt	Framtida projekt
Projektering	1. Samarbete under projekteringen	
	Projekteringen utförs utan samarbete mellan alla inblandade aktörer. Ofullständig projektering gav dåligt planerat projekt med sena ändringar vilket delvis förhindrade användandet av ILF. Förseningar hos andra entreprenörer på arbetsplatsen gav upphov till sena ändringar även för NCC.	Utökat samarbete. Projektering utförs grundligare för att undvika sena ändringar. Användningen av ILF säkras, behovet av klippning och bockning av armering reduceras då vilket kortar byggtiden.
Produktion	2. Leverans av material.	
	3. Armeringsarbete i armeringsstation på byggarbetsplatsen.	
	Armeringsstationen var inte utrustad med väderskydd. Utformningen av stationen följde inte en naturlig produktionslinje vilket gav upphov till onödiga lyft.	Minskat behov av armeringsarbete med ILF. Ordentligt utrustad och utformad armeringsstation med väderskydd så att arbetet sker under goda förhållanden för att säkra kvaliteten.
	4. Montering av armering i form.	
	Viss förtillverkning i mån av tid.	Utökning av förtillverkningen för förbättrad arbetsmiljö och kortad byggtid.

Platschefen anser att tidsbesparingen tack vare användning av najningsmaskiner har varit viktig för att kunna hålla tidplanen. Utan dessa bedömer han att detta inte hade varit möjligt. Han påpekade också de stora fördelarna ur arbetsmiljösynpunkt som de medförde för armeringsarbetarna.

Platschefen menar att i de fall nyare tekniker använts så har detta fungerat mycket bra på detta projekt. Det finns önskemål om utvidgad användning av både ILF armering och förtillverkade armeringskorgar. Projektets bristande projektering försvårar tyvärr detta enligt platschefen. NCC skulle i detta fall kunna ställa krav på beställaren om bättre samordning i projektet. Problemen i steg 1 ovan skulle därmed kunna reduceras.

Räknat i plus- och minustecken visar Tabell 6.4 att en annan produktionsmetod borde ha valts. Tabellen är i detta fall något missvisande. Det enda som talar för den valda produktionsmetoden är möjligheten till sena ändringar. Det är även detta faktum som gör projektet direkt olämpligt för de andra produktionsmetoderna. Behovet av sena ändringar var påtagligt i projektet vilket tydligt påpekades av platsledningen. Utifrån projektets förutsättningar måste det sägas att rätt produktionsmetod valdes. Man har

även i viss mån, då tid för planering funnits, använt sig av förtillverkning i armeringsstation.

Tabell 6.4 Utvärdering av produktionsmetod för armering vid Lillesjöverket.

	Bra vid stora projekt	Bra vid små projekt	Bra vid högt armeringsinnehåll	Bra vid behov av armeringsinnehåll	Bra då kort inläggningstid önskas	Bra då hög kvalitet önskas	Bra då god arbetsmiljö önskas	Bra då upplagsplats saknas	Bra vid långa transport avstånd	Bra då volymbegränsning finns	Bra då viktbegränsning finns	Bra då få antal lyft önskas	Bra då begränsning av svetsning finns	Bra då begränsning av antal lyft önskas	Bra då begränsning av svetsning finns i produktion	
Montering i form	0	0	-	+	+	+	+	+	+	0	0	+	+	-	0	+
Förtillverkning i armeringsstation	+	-	+	0	-	+	+	+	+	0	0	+	-	+	+	0
Förtillverkning i fabrik, egen regi	+	-	+	-	-	+	+	+	+	0	-	-	-	+	+	-
Förtillverkning i fabrik, armeringsleverantör	+	0	+	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	-

### 6.5.5 Jämförelse av fallstudier

Alla fallstudier har berört platsgjutna betongstommar. Förutsättningarna varierar dock mellan projekten vilket har lett till att olika armeringsmetoder har valts.

Generellt kan det utifrån fallstudierna påvisas att användning av nya och mer komplicerade produktionsmetoder i dagsläget är starkt beroende av ”rätt folk”. Speciellt viktigt är detta vid projekt med försvårande förutsättningar som exempelvis en komplicerad armeringsutformning. Både Citytunneln och Turning Torso är sådana projekt och tillgången till erfaren produktionsledning har varit nödvändig vid båda dessa. Ångströmlaboratoriet klassas, till skillnad från de andra fallstudierna, som ett husbygge vilka har en mindre komplex armeringsutformning. Erfarenheterna hos produktionsledningen är därmed eventuellt inte avgörande för teknikvalet.

Samarbetet mellan produktionsledningen och konstruktörer har vid Citytunneln och Turning Torso visat vara viktigt för att underlätta förtillverkningen av armeringskorgar. Kunskapen om hur armeringsutformningen ska vara finns hos produktionsledningen och därför är det viktigt att denna deltar i projekteringen. Det visade sig även vid Ångströmlaboratoriet att produktionsledningen kunde effektivisera armeringsproduktionen. Fallstudierna visar att partnering inte är en förutsättning för att effektivisera armeringsarbetet, det är samarbetet mellan aktörerna som är viktigt. Aktörerna som berörs av ett beslut bör delta i beslutsfattandet.

Utan att ha tillgång till exakta siffror för de undersökta projekten kan slutsats dras om att en ökad grad av prefabricering av armeringen ger både ekonomiska vinster samt kortare byggtider. Åsikterna från armeringsarbetarna visar även att arbetsmiljön påverkas positivt. Arbetsuppgifterna vid tillverkning av armeringskorgar upplevdes dock vid Turning Torso som något monotona och tråkiga då det där inte förekom någon arbetsrotation.



Vid alla fyra projekten har det påvisats att det viktigaste vid användning av prefabricerade armeringsprodukter är en noggrann planering. Detta är oberoende av vilken produktionsmetod som använts. Vid Citytunneln påtalades det att alla avvikelser i produktionen av armering leder till ett verkligt problem senare. Detta visade sig även vid Turning Torso då felleveranser av ILF-armering ledde till att armeringen fick klippas och bockas på plats vilket medför ökad tidsåtgång. Vid Lillesjöverket angavs just bristen på planering som den avgörande faktorn till att ILF-armering inte kunde användas i större utsträckning än det gjordes. Även förtillverkning av armeringskorgar kunde inte användas i önskad utsträckning av samma anledning.

Vid alla projekt efterfrågas enkelhet i armeringsutformning då det anses vara nyckeln till en effektiv produktion. Vid förtillverkning är framförallt repetition önskvärt.

Armeringsmetoderna som användes och utvecklades under själva byggandet av Citytunneln, Turning Torso och Ångströmlaboratoriet likande i viss mån industrialiserad produktion. Tillverkningen av armeringskorgarna skedde i en anpassad miljö samtidigt som arbetsmomenten och utformningen upprepades. Produktionen skedde enligt standardiserade anvisningar och förbättringar skedde löpande. Byggprocesserna som helhet hos projekten kan däremot inte anses vara särskilt industrialiserad. Anledningen till detta är att de följer mer traditionella mönster där projekten har behandlats individuellt. Produktionsmetoderna är framtagna endast för de specifika projekten och baseras i liten utsträckning på tidigare erfarenheter. Det finns en vilja hos produktionsledningarna från de studerade projekten att dela med sig av sina erfarenheter. Det finns idag inget enkelt sätt att sprida erfarenheterna så att de kan komma till nytta i framtida projekt.

Utifrån utvärderingen av de använda produktionsmetoderna kan ses att montering i form är svårt att motivera för de aktuella projekten. Det enda som talar för metoden i dessa projekt är då det finns ett behov av sena ändringar. Det kan finnas andra gynnande förutsättningar för metoden som inte kommit fram i denna rapport. För projekten i fallstudierna har förtillverkade armeringskorgar visat sig effektiva. Detta gäller sannolikt även andra former av prefabricerade armeringsprodukter som rullarmering och armeringsnät.

Förmontering i armeringsfabrik driven i egen regi har i utvärderingen visat sig vara lämplig först vid väldigt stora projekt. Då metoden har använts under rätt förhållanden har den visat sig vara väldigt effektiv. Det som talar starkast för att handla förtillverkad armering från armeringsleverantör är att möjligheten att förtillverka på byggarbetsplatsen saknas.



## 7 Slutsatser

Utvärderingen av fallstudierna visar att en ökad prefabriceringsgrad av armering leder till effektivare platsbyggen då det görs på rätt sätt. Rätt sätt innebär bland annat att tillräcklig planering genomförts. Den ökade effektiviteten syns främst genom kortare byggtider och därmed lägre byggkostnader.

För att skapa rätt förutsättningar för armeringsproduktionen bör projekteringen utföras under så partneringliknande former som möjligt för att ta till vara på de ingående kompetenserna i projektet. Samarbetet mellan de ingående aktörerna måste öka. Målet under projekteringen ska vara att göra produktionen så enkel som möjligt för att gynna hela projektet rent ekonomiskt. Samarbetet måste starta tidigt så att inga beslut tas som "låser" projektet.

Att börja använda sig av prefabricering och nya produktionstekniker är ingen förutsättning för industrialisering. Att standardisera produktionen är dock ett krav för att skapa en mätbarhet. Byggprocessen i sin helhet är det som behöver förändras. Framförallt är det tankesättet och projekteringen som behöver förnyas. Detta följs av att ständigt förbättra produktion och process och först då kan nya tekniker bli aktuella. Det finns i dagsläget inte det tankesätt som krävs i en industrialiserad byggprocess.

Armeringsmetoder där en ökad grad av prefabricering används har visat sig erbjuda bättre arbetsmiljö för NCCs medarbetare än vid traditionellt armeringsarbete. Detta är oberoende av om förtillverkningen sker på byggarbetsplatsen eller i armeringsfabrik förutsatt erforderlig utrustning finns tillgänglig.

Kunskapen om hur byggnader ska konstrueras och produceras är entreprenörföretagets konkurrensmedel. Spridningen av erfarenheter inom företaget är idag begränsad. Det borde finnas en avdelning/grupp inom företaget som enbart arbetar med att förankra och sprida kunskapen som finns. Idag finns FoU avdelningar som utvecklar verksamheten men det finns inget organ som säkerställer att befintliga, eller nya, kunskaper stannar och sprids i företaget.

### 7.1 Förslag till fortsatta studier

Förutsättningarna för att införa industrialisering, enligt författarnas förslag, kräver standardisering av produktionen. Möjligheterna till sådan standardisering, som ska leda till att alla aktiviteter blir mätbara, bör utvärderas. Utvärderingen ska visa på hur arbetet med standardiseringen ska utföras.

Undersök ytterligare alternativ till traditionell armering i form av fiberförstärkt betong och användning av textilmattor vid industrialiserad platsbyggnation.

Djupare studier bör genomföras inom området svetsad armering. Reglerna kring hur svetsad armering får användas med tanke på dynamiska laster bör undersökas för att eventuellt kunna öka användningen och undvika att behöva använda sig av extra monteringsarmering. Användning av alternativ till svetsning bör också undersökas, exempelvis limning.

I vilken utsträckning och på vilka sätt kan 3D-projektering användas för att effektivisera armeringshanteringen vid platsbyggande.

## 8 Referenser

### 8.1 Tryckta böcker, publikationer och artiklar.

- Boverket, (2004): *Boverkets handbok om betongkonstruktioner - BBK 04*, Boverket, Sverige, 2004, 273 pp.
- Cigen, S. (2003): *Materialleverantören i byggprocessen*, Avdelningen för träbyggnad, Luleå Tekniska Universitet, Publikation 2003:69, Luleå, 2003, 115 pp.
- Claeson-Jonsson, C, Jirebeck, M, Larsson, B, (2005): *Räkna med ny teknik*, Teknisk rapport för NCC m.fl., Göteborg, 2005, 41 pp.
- Ekström, A. (2003): *Byggstyrning NCC*, NCC, Sverige, 2003.
- Emborg, M, Simonsson, P, (2005): Rationellt anläggningsbyggande med platsgjuten betong, *Bygg & Teknik*, Vol 97, No 7, 2005, pp. 12-14.
- Fundia Armering AB, (2002): *Svensk armering – Anvisningar för förteckning 2002*, Fundia Armering AB, Sverige, 2002, 23 pp.
- Harryson, P. (2002): *Industrial bridge construction: merging developments of process, productivity and products with technical solutions*. Avdelningen för konstruktionsteknik, Chalmers Tekniska Högskola, Publikation 02:1, Göteborg, 2002, 41 pp.
- Johansson, P, Nord, J. (2007): *Vägen till Lean Production – Historien bakom Lean och dess nutida användning*. Institutionen för Teknik och Samhälle, Högskolan Skövde, Skövde, 2007, 54 pp.
- Kjellström, R., Nordmark, L. (2007): *Effektivisering av byggprocessen med rullarmering och självkompakterande betong genom lean*. Avdelningen för Byggkonstruktion, Luleå Tekniska Universitet, Publikation 2007:092, Luleå, 2007, 74 pp.
- Liker, J.K. (2004): *The Toyota Way*, McGraw-Hill, 2004.
- Löfgren, I, Gylltoft, K, (2001): In-situ cast Concrete Building – important aspects of industrialised construction, *Nordic Concrete Research*, Vol 26, No 1, 2001, pp. 61-81.
- Löfgren, I. (2002): *In-situ concrete building systems: Developments for industrial constructions*. Avdelningen för konstruktionsteknik, Chalmers Tekniska Högskola, Publikation 02:2, Göteborg, 2002, 78 pp.
- Sandberg, J., Hjort, B. (1998): *Rationell armering: Ekonomi, ergonomi, miljö*. Tryckmedia, Halmstad, 144 pp.
- Schwarzkopf, M., (1995): Fatigue Design of Tack-Welded Mesh Reinforcing Bars, *Structural Engineering International*, Vol. 5, No. 2, Maj 1995, pp. 102-106.

Ström, B. (1993): *ILF Armering*, Notering från Siab AB, Borlänge, 1993.

Söderholm, F, Österberg, O, (1999): *Erfarenhetsåterföring – Ångström stombyggnad*, Teknisk rapport av NCC Hus Uppsala, Uppsala, 1999, 22 pp.

SIS (2002): *Armering*, SIS Förlag AB, Stockholm, 2002, 308 pp.

## 8.2 Muntliga källor

*Ahlstedt, Dennis*, NCC Construction, Platschef Lillesjöverket

Intervju i samband med platsbesök, 2007-08-30

*Alfredsson, Magnus*, NCC Construction, Affärsutveckling

Intervju, 2007-10-18

*Engström, Dan*, NCC Teknik, Teknisk specialist

Intervjuer vid upprepade tillfällen (Jul – Nov 2007)

*Gabrielii, Kristina*, NCC Construction, Plattformar

Intervjuer vid upprepade tillfällen (Jul – Okt 2007)

*Heningsson, Dennis*, Byggnadsarbetareförbundet, Arbetsmiljö

Intervju, 2007-09-12

*Hyll, Henrik*, NCC Construction, Platschef Armeringsfabrik Citytunneln

Intervjuer vid upprepade tillfällen i samband med platsbesök (Aug – Nov 2007)

*Lindström, Martin*, NCC Teknik, Konstruktör

Intervju, 2007-08-13

*Lundgren, Magnus*, Celsa Steel Service, Försäljningsingenjör

Enkätintervju, november 2007

*Mörnstad, Magnus*, NCC Teknik, Konstruktör Citytunneln

Intervju i samband med platsbesök, 2007-09-12

*Ström, Bengt*, NCC, Ångströmlaboratoriet

Intervju, telefon, 2007-11-21

*Weliaschitsch, Tommy*, NCC Construction, Platschef Monteringsfabrik Citytunneln,  
Platschef Turning Torso

Intervjuer vid upprepade tillfällen i samband med platsbesök (Aug – Nov 2007)

### 8.3 Internet

Arbetsmiljöverket (2007), [www.av.se/omoss/](http://www.av.se/omoss/) (2007-09-14)

Byggahus.se (2007), [www.byggahus.se](http://www.byggahus.se) (2007-07-16)

Byggledarna (2007), [www.byggledarna.se](http://www.byggledarna.se) (2007-07-16)

Celsa Steel Service (2007), [www.celsasteelservice.com](http://www.celsasteelservice.com) (2007-11-16)

Citytunneln (2007), [www.citytunneln.se](http://www.citytunneln.se) (2007-10-16)

HSB Turning Torso (2007), [www.turningtorso.com](http://www.turningtorso.com) (2007-10-16)

Högakustenbron (2007), [www.hogakustenbron.nu](http://www.hogakustenbron.nu) (2007-07-06)

Konsumentverket (2007), [www.konsumentverket.se](http://www.konsumentverket.se) (2007-07-13)

NCC (2007), [www.ncc.se](http://www.ncc.se) (2007-07-16)

Nordcert (2007), [www.nordcert.se](http://www.nordcert.se) (2007-10-30)

Svetskommissionen (2007), [www.svets.se](http://www.svets.se) (2007-07-17)

Uddevalla Energi (2007), [www.lillesjoverket.se](http://www.lillesjoverket.se) (2007-0906)

Ångströmlaboratoriet (2007), [www.angstrom.uu.se](http://www.angstrom.uu.se) (2007-10-16)





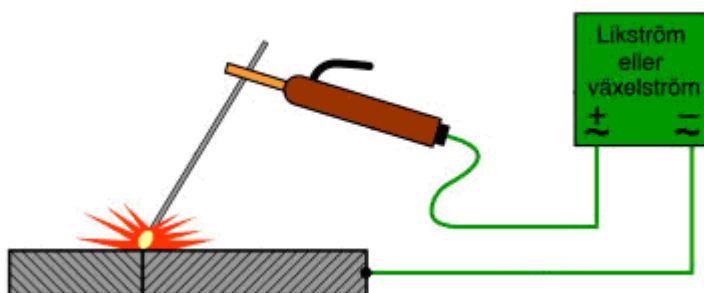
## Bilaga A: Svetsning av armering

### Svetsmetoder

Olika metoder används vid svetsning. Vilken metod som är mest lämplig skiljer sig beroende på byggnadsdelens utformning, position, användningsområde etc. Nedan följer en introduktion av de vanligast förekommande metoderna som används vid svetsning av armering. Vid svetsning skiljer man på smältsvetsning och trycksvetsning. I den förstnämnda sammanfogas delarna genom att en yttre ”smälta” tillförs medan i den senare smälts de anslutande delarna samman under mekaniskt tryck.

### Metallbågsvetsning med belagd elektrod – Bågsvetsning

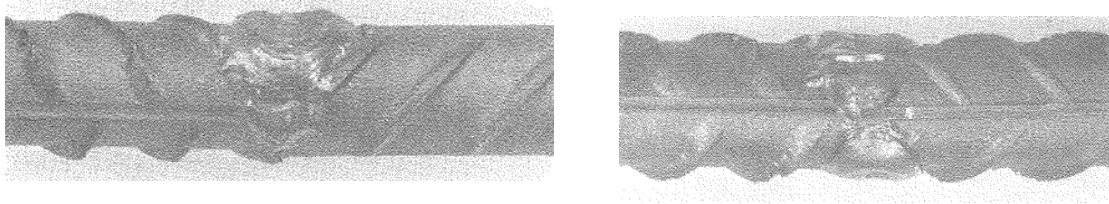
Bågsvetsning är en smältsvetsmetod, som alstrar värme genom att en ljusbåge bildas mellan armeringen och en metallektrod, se Figur A.1. Metallelektroden, och dess hölje, smälter då ned och bildar svetsmaterialet. Höljets funktion består bland annat i att skydda från luftens inverkan, tillföra legeringsämnen och öka inträngningen i grundmaterialet.



Figur A.1 Principskiss av bågsvetsning. Bild från Svetskommissionen (2007), redigerad bild.

Olika höljen kan användas vilka påverkar både svetsförloppet och de slutliga egenskaperna hos förbandet. Elektrodena kan delas in i tre huvudgrupper: (SIS, 2002) och (Svetskommissionen, 2007)

- Basiska elektroder: Vilka ger den högsta svetskvaliteten vad gäller hållfasthet och seghet men är fuktkänsliga och måste skyddas. Vid dubbelsidiga X-svetsar, se Figur A.2, samt vid svetsning av grövre dimensioner är basiska elektroder lämpliga. Det finns även specialtillverkade basiska elektroder med reducerad vätehalt som är lämpliga vid all armeringssvetsning.
- Rutila elektroder: Mycket lättsvetsade vilket ger hög kvalitet i svetsen. Används med fördel vid mindre armeringsdimensioner och vid enkelsidiga V-svetsar, se Figur A.2.
- Sura elektroder: Ger jämna och blanka svetsar men har lägre sträckgräns och brottgräns än ovanstående alternativ.



*Figur A.2 Vänster: Enkelsidig V-svets Bild från SIS (2002).  
Höger: Dubbelsidig X-svets. Bild från SIS (2002).*

Vid bågsvetsning av armering kan både basiska och rutila elektroder användas. Rekommendationer säger dock att basiska elektroder med låg vätehalt med fördel bör användas vid all bågsvetsning av armering. Gasen som bildas vid svetsning är skadlig vid inandning och ventilering eller direkt utsug av svetsröken kan vara nödvändig ur arbetsmiljösynpunkt. (SIS, 2002) samt (Svetskommissionen, 2007)

Fördelarna hos bågsvetsning är att nödvändig utrustning är relativt billig och att metoden kan användas i alla svetslägen. Metoden är vidare mycket anpassningsbar på grund av ett stort urval av elektrodtyper och kräver mindre noggrann fogberedning än andra metoder.

### **Gasmetailbågsvetsning – CO<sub>2</sub>-svetsning**

Vid denna svetsmetod matas en elektrod utan hölje kontinuerligt ner i ljusbågen. Istället för ett omslutande höljet använder man sig av skyddsgas innehållande CO<sub>2</sub>. Gasen skyddar svetsområdet från att reagera med luften. Vid höga spänningsnivåer och hög strömstyrka bildar svetsmaterialet en spraydusch av små droppar, så kallad spraybåge. Detta kan endast användas vid horisontella svetsar och är lämpligt vid svetsning av grövre dimensioner. Då lägre spännings- och strömnivåer används, vilket är fallet vid klenare dimensioner, bildas en mer droppande nedsmältning av elektroden. Metoden kallas då kortbågesvetsning. Vid svetsning av armering används vanligen ett mellanliggande alternativ. (SIS, 2002)

Stora fördelar med metoden är att man slipper elektrodbyte samt att efterarbetet reduceras. Metoden ses även som lämplig vid robotsvetsning. (Svetskommissionen, 2007)

### **Motståndssvetsning**

Motståndssvetsning är en form av trycksvetsningsmetod. Metoden går ut på att de ingående delarna trycks samman under högt tryck. Då tillräckligt högt tryck uppnåtts slås strömmen på vilket värmer upp och smälter samman svetsområdet. Strömmen slås sedan av och trycket bibehålls till dess att smältan svalnat.

Metoden används brett och finns i flera olika utföranden. Vid svetsning av armeringsnät används så kallad presssvetsning där flera punkter svetsas samtidigt. Det finns numera även handverktyg, så kallade punktsvetsstänger, som även gör metoden användbar vid svåråtkomliga förband. Punktsvetsstången innehåller en regleringsdosa där önskad svetsström, presskraft, svetsstid med mera regleras. Metoden ställer således inte höga individuella krav på den enskilde svetsaren. (SIS, 2002) och (Svetskommissionen, 2007)

## Brännsvetsning

Brännsvetsning är en motståndssvetsmetod där armeringsstängerna läggs ände mot ände med mycket lågt tryck. På grund av det låga trycket erhålls, då strömmen slås på, en hög resistans i mötespunkten. Det höga motståndet ger upphov till hög värme och när temperaturen är tillräckligt hög trycks stängerna samman. Smältan bildar vid hoptryckning en ojämn vulst kring fogen. Metoden är lämplig vid svetsning av grövre stångdimensioner och ger en mycket god svetskvalitet. (SIS, 2002) och (Svetskommissionen, 2007)

## Stuksvetsning

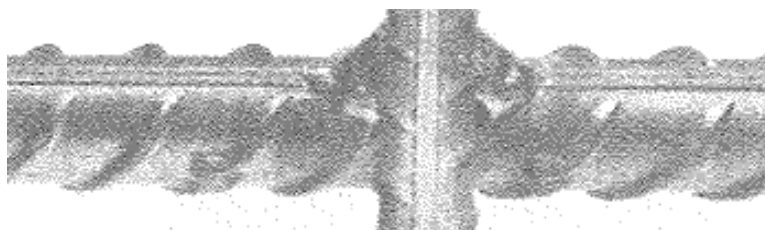
Stuksvetsning har liknande utförande som vid brännsvetsning. Skillnaden är att delarna redan från början ligger med relativt högt tryck mot varandra innan strömmen slås på. När svetsningen är avslutad har en jämn vulst bildats. Stuksvetsning lämpar sig bäst vid mindre stångdimensioner. Metoden kräver att anliggningsytorna är plana, vinkelräta mot stukriktningen samt rena och fria från rost och dylikt. (SIS, 2002) och (Svetskommissionen, 2007)

## Utförande av svetsning

Kapitlet beskriver de vanligast förekommande utförandena vid svetsning av armering.

## Häftsvetsar

Häftsvetsar kallas ibland även fixeringssvetsar och avser svetsar för fixering av stängers inbördes läge under transport, gjutning och bearbetning, se Figur A.3. Svetsen är inte avsedd att bära last i den färdiga konstruktionen. Däremot kan stängerna vara kraftupptagande och svetsen får inte reducera hållfastheten hos dessa. Kraven på utförandet av häftsvetsar kan lätt tros vara små då svetsen inte ska överföra någon last. Så är inte fallet. Häftsvetsning mot kraftupptagande armering bör aldrig ske där inte en kontinuerlig produktion sker och goda resultat alltid kan förväntas. (SIS, 2002) och (Boverket, 2004)



Figur A.3 Dubbelsidig häftsvets. Bild från SIS (2002).

Vid häftsvetsning av stål B500B, som i allmänhet används i armering, ska svetstiden vara så kort som möjligt då värmen förändrar stålets egenskaper. Detta är extra viktigt vid små dimensioner.

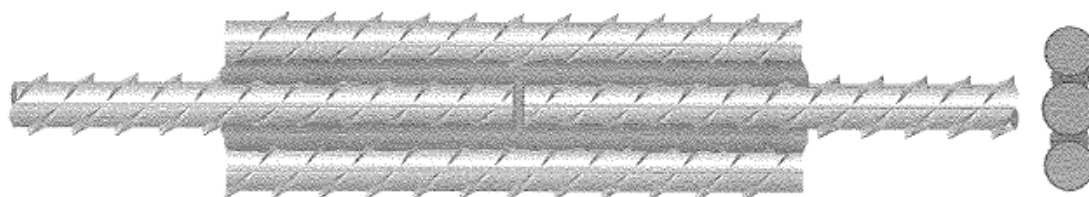
Då bågsvetsning används ska lämplig elektroddiameter användas. Vid val mellan rutil- och basisk elektrod får svetsaren välja den som han/hon känner sig mest förtrogen med. Utöver detta ska arbetet utföras med omsorg så att defekter så som tändfläckar, svetsdiken m.m. undviks. (SIS, 2002)

Om motståndssvetsning används bör ett intryckningsmått på ca 10 % av den tunnare stångens diameter eftersträvas. Det är även extra viktigt att stängernas ytor samt elektroderna är rena för att undvika brännfläckar på stängerna. Svårigheter kan uppstå om de ingående stängernas diametrar är alltför olika. Den mindre stängen hinner då bli alltför varm och deformeras varför areaförhållanden större än 3 eventuellt bör undvikas. Denna metod används idag i väldigt liten omfattning. (SIS, 2002)

## Skarvsvetsar

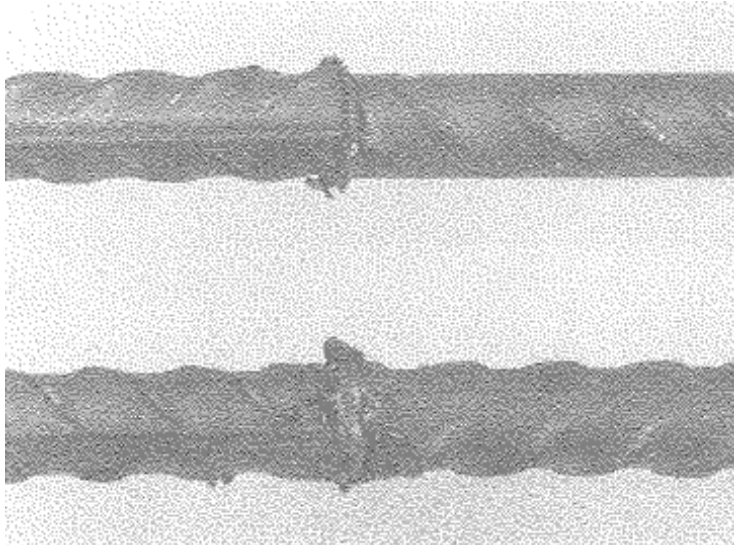
Med skarvsvetsar avses svetsar som ska överföra last från en stång till en annan. Helt enkelt att man skarvar ihop två stänger till önskad längd. Skarvsvetsar är tänkta att endast överföra normalkrafter mellan stängerna och det är därför viktigt att svetsen utförs på korrekt sätt. Noggrann kontroll av att centrumlinjerna sammanfaller ska föregå svetsningen för att undvika momentpåkänningar i svetsen.

Om bågsvetsning används ska basiska elektroder med reducerat väteinnehåll användas. Skarvsvetsen kan i detta fall bestå av antingen stumsvetsförband eller kälsvetsförband med skarvstänger, se Figur A.4. Om stumsvets väljs ska denna utföras som V-svets för diametrar 16 mm och mindre. För grövre dimensioner ska X-svets användas. I de fall där kälsvets används är det viktigt att tillse att skarvstänger av samma stålsort används.



Figur A.4 Skarvsvets utförd med kälsvets och skarvstänger. Bild från SIS (2002).

Då stuk- eller brännsvetsning, se Figur A.5, används är det som tidigare nämnts viktigt att se till att kontaktytorna är fria från smuts, rost och olja. Särskilt viktigt är detta vid stuksvetsning där även plana och parallella ytor ska säkerställas. (SIS, 2002)



*Figur A.5 Brännsvetsade armeringsjärn. Bild från SIS (2002).*

### **Bågsvetsning av armering mot annan ståldetalj**

Beräkningar, utförande och kontroll gällande svetsning mot annan ståldetalj bör ske med hänsyn till BSK 99. Vid svetsning bör basiska elektroder med reducerat väteinnehåll användas. Arbetet bör utföras på ett sätt som möjliggör kontroll av hållfastheten. I de fall där svetsning mot kallbearbetat och rostfritt stål blir aktuellt måste dessa föregås av en utredning. (SIS, 2002)