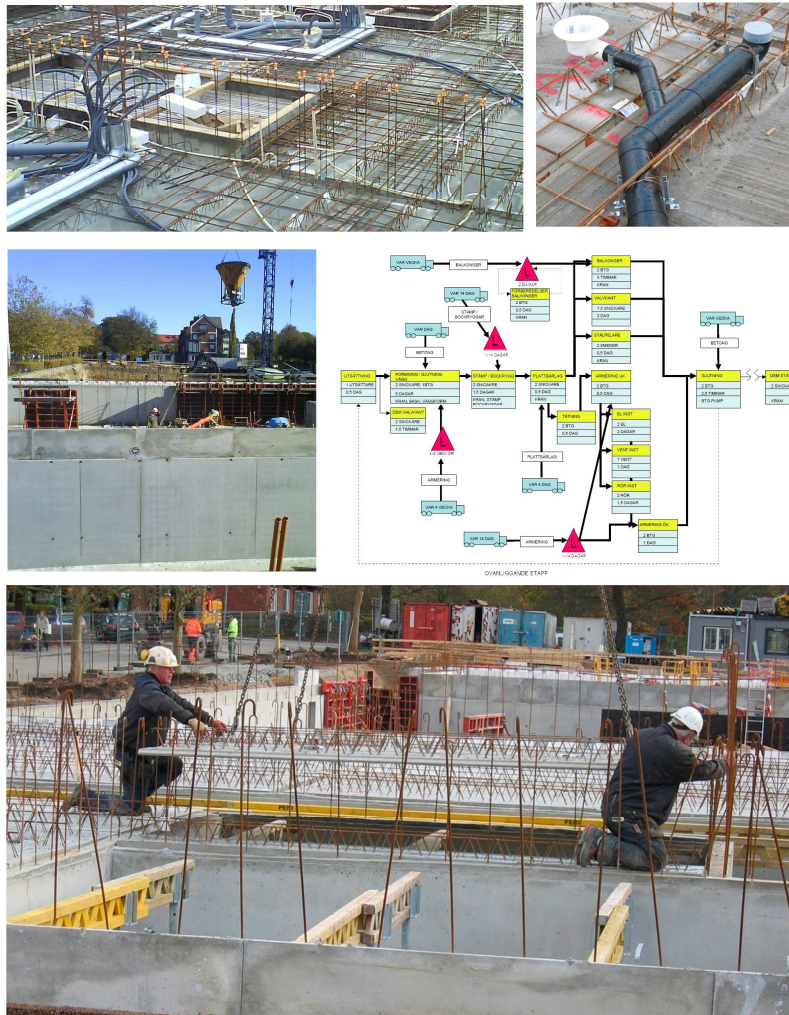


# Platsgjutna stommar för flerbostadshus

Beskrivning av stombyggnadsprocessen idag och metod för analys av effektiviseringsmöjligheter



Rapport TVBK-3057  
Avdelningen för Konstruktionsteknik  
Lunds Tekniska Högskola, Lund 2008

# Förord

Föreliggande rapport är en del av ett forskningsprojekt som bedrivs vid Lunds Tekniska Högskola. Projektet har initierats av Sveriges Byggindustrier FoU Syd tillsammans med Cementa och deltagande betongintressenter. Rapporten är ett första steg i ett arbete med att utveckla det platsgjutna stombyggandet. Innehållet i föreliggande rapport kommer att bearbetas vidare och presenteras akademiskt vid Lunds Tekniska Högskola.

Arbetet har genomförts av undertecknad vid avdelningen för konstruktionsteknik vid Lunds Tekniska Högskola. Projektet har finansierats av SBUF och Boverkets Byggekostnadsforum samt Cementa tillsammans med ett antal fabriksbetongintressenter. Jag vill passa på att rikta ett stort tack till alla finansiärer och alla personer som deltagit i projektet.

Robert Larsson

Lund, Augusti 2008

# Innehåll

Läsanvisning.....	5
1. Bakgrund .....	7
2. Syfte och mål .....	8
3. Genomförande.....	8
4. Platsgjutet stombyggande idag .....	10
4.1 Beskrivning av undersökningsmetoden.....	10
4.1.1 Allmänt .....	10
4.1.2 Beskrivning av urvalet.....	11
4.2 Byggteknik och utformning .....	13
4.3 Metoder, teknik och material .....	14
4.3.1 Formsystem.....	14
4.3.2 Armering.....	16
4.3.3 Betong och gjutmetoder.....	18
4.3.4 VVS-installationer .....	20
4.3.5 Materialleveranser .....	22
4.3.6 Yrkesarbetarnas erfarenhet .....	22
4.3.7 Planering och uppföljning.....	25
4.3.8 Upplevd produktivitetsutveckling .....	26
4.3.9 Platschefens syn på använd metod.....	27
4.4 Generella åsikter om "ny" teknik.....	28
5. Fallstudier .....	32
5.1 Fallstudie A.....	32
5.1.1 Beskrivning av projektet .....	32
5.1.2 Översiktlig produktionsmetod.....	33
5.1.3 Metod för mätning av tidsutnyttjande.....	34
5.1.4 Metod för kartläggning av värdeflöden.....	35
5.1.5 Kartlagda värdeflöden.....	35
5.1.6 Planering och styrning av resurser och arbete .....	38
5.1.7 Resultat från mätning av tidsutnyttjande.....	39
5.2 Fallstudie B.....	45
5.2.1 Beskrivning av projektet .....	45
5.2.2 Metod för mätning av tid .....	45
5.2.3 Uppföljning av stomkostnad.....	46
5.2.4 Beskrivning av stombyggnadsprocessen.....	46
5.2.5 Tidsutnyttjande vid vägg- och bjälklagsarbeten.....	47
5.2.6 Kranutnyttjande.....	50
5.2.7 Stomkostnad och nyckeltal .....	51
6. Simulering av stombyggnadsprocessen.....	54
6.1 Introduktion.....	54
6.2 Varför simulering? .....	55
6.3 Internationella erfarenheter .....	56
6.4 Modell för simulering av platsgjutet stombyggande.....	57
6.5 Indata och resultat.....	59
6.6 Implementering i simuleringsprogram .....	60
6.7 Verifiering av modell.....	61
6.8 Exempel på användning .....	62
6.9 Användning av modellen för produktionsanalys .....	63

7. Sammanfattning och slutsatser .....	65
7.1 Intervjuundersökning av användning av metoder och teknik.....	65
7.2 Fallstudier .....	66
7.3 Simulering .....	68
7.4 Återkoppling till projektmålen.....	69
Referenser .....	70
Bilaga 1: Definitioner och begrepp .....	72
Bilaga 2: Projektorganisation och finansärer .....	73
Bilaga 3: Klassificering av arbete .....	75
Bilaga 4: Värdeflödesanalys armeringstillverkning .....	79
Bilaga 5: Värdeflödesanalys betongtillverkning .....	80
Bilaga 6: Kostnadsposter för stombyggnad.....	81

# Läsanvisning

Rapporten är uppdelad i tre delar.

Den första delen (kapitel 4) syftar till att ge **en aktuell bild av det platsgjutna stombyggandet avseende faktiskt användning av teknik, material och metoder**. Informationen baserar sig på intervjuer av 38 platschefer. Undersökningen genomfördes i slutet av 2006 och syftar till att ge en nulägesbild av dagens platsgjutna byggande samt även en bild av platschefers syn på använda metoder. Resultatet av denna undersökning beskrivs i kapitlet "*Platsgjutet stombyggande idag*".

Den andra delen (kapitel 5) **beskriver stombyggnadsprocessen mera i detalj och baseras på uppföljning av två pågående byggprojekt**. Avsnittet behandlar speciellt tidsutnyttjandet i olika stomrelaterade arbeten vilket ger en indikation på effektiviteten i stombyggnadsprocessen. Genomförande och resultat från dessa arbeten sammanfattas i kapitlet "*Fallstudier*".

Den tredje och sista delen (kapitel 6) beskriver **en ny metod för att analytiskt utvärdera platsgjutet stombyggande som produktionssystem**. Metoden som har utvecklats inom ramen för projektet bygger på simulering av stombyggnadsprocessen genom att beskriva ingående aktiviteter och resursflöden. Simuleringen kan användas för att utvärdera en produktionsmetod utifrån resultatparametrarna tid – kostnad – resursutnyttjande och stilleståndstid. Simuleringsmodellen beskrivs i kapitlet "*Simulering av stombyggnadsprocessen*".

I bilaga 1 förklaras centrala och återkommande begrepp i rapporten. I bilaga 2 redovisas vilka personer som deltagit och projektets finansiärer.

# 1. Bakgrund

Under senare år har stark kritik riktats mot byggsektorn för bland annat bristande effektivitet och kvalitet, *SOU (2002)*. Detta har varit en väckarklocka för branschen som tagit till sig kritiken och idag satsas det stora resurser på att både förbättra befintliga processer och på att utveckla nya som ska leda till ökad effektivitet, minskade kostnader och bättre kvalitet genom hela värdekedjan. Speciellt fokus har riktats mot att förbättra processen för byggandet av flerbostadshus.

Stommen i flerbostadshus är i detta sammanhang ett viktigt delsystem som påverkar den färdiga byggnaden ekonomiskt, funktions- och kvalitetsmässigt.

Den dominerande stombyggnadsmetoden för flerbostadshus baseras helt eller delvis på platsgjuten betong. Metoden består till stor del av manuellt arbete där arbetskraft, material och utrustning ska samordnas. Faktorer som väderförhållanden, materialflöden och samordning med underentreprenörer har en stor påverkan på stomdriftens genomförande. Att planera och samordna dessa flöden av arbetskraft och material kräver god kunskap och erfarenhet. Bristande planering och styrning är en vanlig orsak till uppkomsten av störningar under produktionen som resulterar i ineffektivitet eller till och med stillestånd. Tidigare studier av effektiviteten på arbetsplatsen bekräftar problembilden där t ex en byggnadsarbetare endast använder 15-20% av sin tid på direkt arbete, *Josephson & Saukkoriipi (2005)*.

All form av förbättringsarbete kräver dock kunskap om nuläget för en specifik byggmetod. Det omfattar beskrivning av vilka metoder som faktiskt används, hur användningen av dessa uppfattas samt identifiera genom objektiva data inom vilka delar som har störst förbättringspotential. Den naturliga frågan är således: Hur ser

situationen för platsgjutet stombyggande ut idag och vilken förbättringspotential finns?

## 2. Syfte och mål

Syftet med projektet har varit att beskriva nuläget för platsgjutet stombyggande avseende teknik, metoder och process. Vidare har syftet varit att undersöka hur simulering kan användas för att skapa en metod för att mera systematiskt analysera stombyggnadsprocessen och dess effektiviseringspotential.

Målet har varit att;

- *sammanställa kunskap om nuläget beträffande produktion av platsbyggda betongstommar,*
- *utveckla en metod baserad på simuleringsteknik för att analysera stombyggnadsprocessen och möjlig effektiviseringspotential,*
- *sprida framtiden kunskap till berörda aktörer.*

## 3. Genomförande

Arbetet har genomförts som en del i ett forskningsprojekt vid Lunds Tekniska Högskola. Projektet har pågått under tiden april 2006 till april 2008. Projektet har i princip bestått av följande delar;

### *Litteraturstudier*

Kunskapsuppbyggnaden har skett via litteraturstudier, utbildningar och deltagande på seminarier. Exempel på områden som studerats är Metoder för platsgjuten stomproduktion, Lean Construction, Byggprocessen, Industriella Tillverkningsystem och simuleringsteknik. Denna del har genomförts kontinuerligt under projektet då behov har uppstått.

### *Kartläggning av dagens byggmetoder*

Denna del bestod i att genomföra en större undersökning där platschefer intervjuades avseende vilka metoder och tekniker som användes i pågående projekt samt deras syn på använd metod. Resultatet av denna undersökning beskrivs i kapitel 4.



### *Fallstudier*

Fallstudierna hade i princip två syften. Det ena syftet var att mera i detalj undersöka effektiviteten i stombyggnadsskedet genom faktiska mätningar. Det andra syftet var att använda kunskapen från fallstudierna för att utveckla och testa en simuleringsmodell för stombyggnadsskedet. Två examensarbeten, *Lundström & Runquist (2008)* och *Lindén & Wahlström (2008)*, har genomförts inom ramen för projektet där bl.a. omfattande mätningar av tidsutnyttjande i stomaktiviteter genomförts. Genomförande och resultat från dessa arbeten sammanfattas i kapitel 5.

### *Simulering (utveckling, verifiering och experiment)*

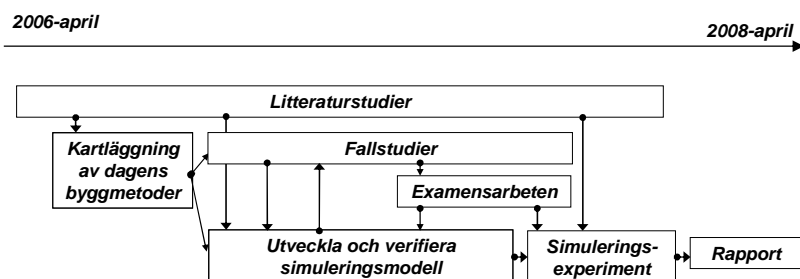
Baserat på litteraturstudier utvecklades kunskap inom området simuleringsteknik. Dessutom studerades stombyggnadsprocessen i fyra byggprojekt. Den erhållna kunskapen användes sedan för att utveckla och testa en modell för simulering av stombyggnadsprocessen. Simuleringsmodellen beskrivs i kapitel 6.

### *Rapport*

Föreliggande rapport är det översiktliga resultatet av dessa delar. Utöver detta har även vetenskapliga artiklar författats som beskriver simuleringsmodellen:

- *Nordic Concrete Research 2008, 9-11 juni, Bålsta.*
- *16th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 14-16 juli 2008, Manchester.*
- *European conferences on product and process modelling in the building industry (ECPM), 10-12 september 2008, Nice.*

I figur 1 redovisas schematiskt ingående delar och i vilken ordning som de har genomförts.



Figur 1: Projektets ingående delar.

## 4. Platsgjutet stombyggande idag

*Detta kapitel beskriver dagens situation gällande användning av teknik, material och metoder för att producera platsgjutna betongstommar. Informationen grundar sig på intervjuer av ansvariga platschefer i pågående nybyggnation av flerbostadshusprojekt med platsgjutna betongstommar.*

### 4.1 Beskrivning av undersökningsmetoden

#### 4.1.1 Allmänt

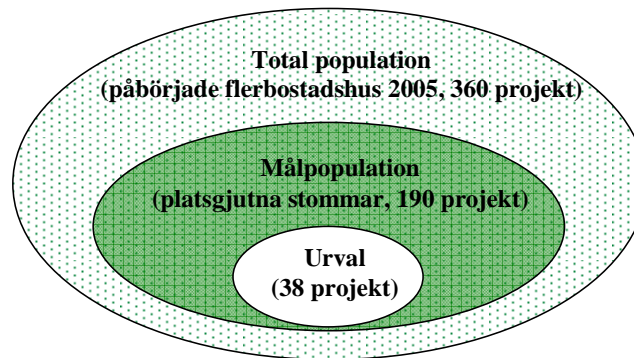
Syftet med undersökningen var att kartlägga användning av metoder och teknik för platsgjuten stombyggnad i flerbostadshus. Ett delsyfte var även att undersöka hur använda metoder upplevs avseende produktivitetsspekter samt användning och tilltro till ny teknik.

Målgruppen för undersökningen var platschefer i entreprenadföretag. Undersökningen baserades på telefonintervjuer som genomfördes i slutet av 2006. En ambition med undersökningen var att respondenterna skulle svara på frågorna utifrån ett pågående projekt som uppfyllde vissa kriterier.

Planering av intervjuerna genomfördes i ett antal steg. Inledningsvis identifierades alla flerbostadshus som påbörjades under 2005 vilka fördelades på 360 projekt, total population i figur 2. Mer information om detta urval finns redovisat i rapporten "Förstudie flerbostadshus 2005", Andersson & Larsson, (2007). Detta urval representerade ca 18 900 lägenheter vilket stämmer väl överens med officiell statistik från SCB. Utifrån det större urvalet identifierades alla projekt som i huvudsak hade en stomme bestående av traditionellt platsgjuten betong eller plattbärlag och skalväggar. Det totala urvalet kunde då reduceras till 190 projekt vilket också utgjorde målpopulationen för undersökningen. Urvalet bestämdes

därefter genom en slumpmässig urvalsdragning. Vid urvalsdragningen beaktades ett antal variabler för att säkerställa att de utvalda projekten var representativa med målpopulationen. De variabler som beaktades var stomtyp (rent platsgjuten eller av plattbärlag/skalväggar), projektets storlek, entreprenadform och geografisk placering.

Totalt genomfördes 38 intervjuer med platschefer vilket får anses säkerställa undersökningens tillförlitlighet. Ett frågeformulär utarbetades innehållande både fördefinierade svarsalternativ och öppna frågor. Innan undersökningen påbörjades testades frågorna på en erfaren platschef för att verifiera att frågeställningarna var tydligt formulerade.



Figur 2: Schematisk bild över urvalet av de projekt som ingick i undersökningen.

#### 4.1.2 Beskrivning av urvalet

De 38 projekt som ingick i undersökningen hade i medeltal 51 st lägenheter. I tabell 1 redovisas projektstorleken för de 38 projekten uttryckt som kvadratmeter BTA. En tredjedel av projekten var mindre än 3 000 m<sup>2</sup> och en fjärdedel var större än 7 000 m<sup>2</sup>.

Tabell 1: Sammanställning av de 38 projekten uppdelat i storleksklasser uttryckt som m<sup>2</sup> BTA.

Projektstorlek, m <sup>2</sup> BTA	Andel i % av 38
< 2 999	34
3 000 – 6 999	39
> 7 000	26

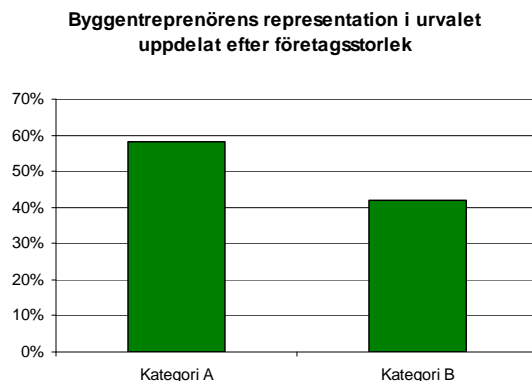
I tabell 2 redovisas projektens geografiska placering. Knappt hälften av projekten (45%) är belägna i storstadsregionerna Stockholm,

Göteborg, Malmö/Lund. Fördelningen stämmer relativt väl med situationen i det större urvalet. Göteborg och Malmö/Lund är något underrepresenterat i urvalet jämfört med målpopulationen.

*Tabell 2: De 38 projektens geografiska placering.*

Geografisk placering	Andel i % av 38
Stockholm	32
Göteborg	8
Malmö/Lund	5
Övriga riket	55

Figur 3 redovisar i vilken utsträckning olika byggföretag ingått i undersökningen. Kategori A representerar byggföretagen Skanska, NCC, Peab och JM. Kategori B representerar övriga byggföretag. Som framgår av figuren utgör de fyra stora byggföretagen nästan 60% av de studerade projekten. Denna fördelning stämmer också väl vid jämförelse med målpopulationen.



*Figur 3: Fördelning av entreprenörsföretag involverade i projekten. Kategori A utgörs av de fyra största byggarna av flerbostadshus, dvs Skanska, NCC, Peab och JM. Kategori B representerar övriga byggföretag.*

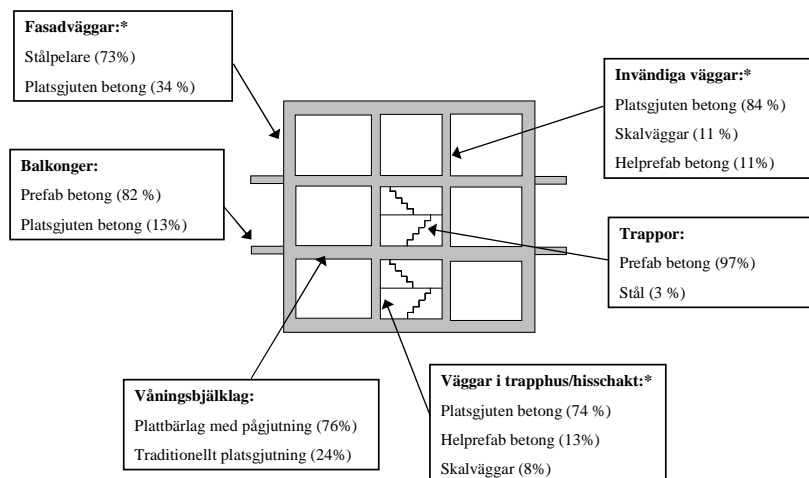
De personer som intervjuades var alltså ansvariga platschefer i studerade projekt. Tabell 3 redovisar dels de svarandes erfarenhet som ansvarig platschef dels deras erfarenhet av platsgjutet stombyggnande. En majoritet av de svarande hade mer än 5 års erfarenhet både som platschef och av platsgjutet byggande som produktionsmetod.

Tabell 3: De svarandes erfarenhet som produktionsansvarig respektive erfarenhet av platsgjutet stombyggande.

	< 1 år	1-5 år	> 5 år
Som ansvarig platschef	0%	21%	79%
Av platsgjutet stombyggande	3%	16%	82%

## 4.2 Byggteknik och utformning

Den typiska byggtekniska utformningen av stommen i undersökta projekt utgörs vertikalt av bärande innerväggar som gjuts på plats. Även väggar i trapphus och hisschakt formas och gjuts på plats. De bärande elementen i fasad utgörs av stålpelare som kompletteras med utfackningsväggar. Platsgjutna väggar i fasad förekommer främst vid gavelväggar. Bjälklagen platsgjuts av betong. Den vanligaste metoden är användning av kvarsittande form som pågjuts. I stort sett alla trappor och balkonger består av prefabricerad betong. Figur 4 visar en schematisk bild av bärande element i stommen.



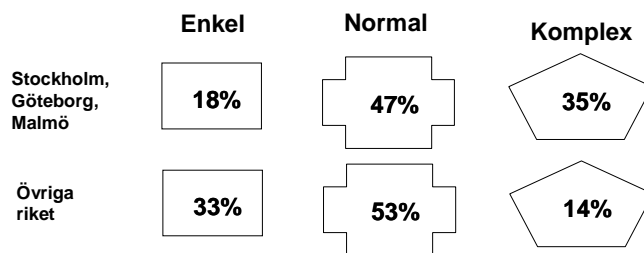
\* Flera svarsalternativ möjliga, dvs summan kan vara större än 100%

Figur 4: Sammanställning av byggteknik för de 38 projekten.

Platscheferna ombads att bedöma komplexiteten hos byggnaden i aktuellt projekt utifrån ett produktionsmässigt perspektiv. Nivåerna enkel, normal och komplex användes för bedömningen. Med enkel

menades att byggnaden hade en hög repeterbarhet gällande planmässig utformning och förekomst av tekniska lösningar inom och mellan våningsplan. Med komplex menades att byggnaden hade en stor variation i utformning och stor variation i de tekniska lösningarna. Normal är således allt som kan bedömas ligga mellan enkel och komplex och som anses vara normalt för dagens byggande.

Figur 5 visar en sammanställning av hur byggnaderna i de 38 projekten bedömdes uppdelat på geografisk placering. Som framgår av figuren så är tendensen att i storstadsområdena är det mer vanligt med komplexa byggnader jämfört med övriga riket. Samtidigt är det betydligt vanligare med enklare byggnader i övriga riket jämfört med storstadsregionerna.



*Figur 5: Klassificering av bedömd komplexitet i byggnadsutformning uppdelat på geografisk placering.*

Resultatet är inte överraskande men intressant eftersom det med stor sannolikhet finns ett direkt samband mellan komplexiteten hos byggnaden, använt byggsystem och byggkostnaden.

## 4.3 Metoder, teknik och material

### 4.3.1 Formsystem

Val av formsystem har oftast en stor betydelse för projektets kostnad och möjlighet till en rationell stomdrift. Det finns ett antal aspekter som är viktiga att beakta vid val av formsystem. Exempel på sådana är utformning och komplexitet hos bjälklag och väggar, tillgänglig arbetskraft, utrymme på arbetsplatsen, krav på täthet och ytjämnhet.

Det finns olika formtyper som kan användas för gjutning av väggar och valv i flerbostadshus.

Traditionell väggform (lösvirkesform) består av formyta av plywood och en bärande struktur av stående och liggande träreglar. Fördelarna är god flexibilitet och att få hjälpmedel behövs. Nackdelarna är att metoden är arbetskrävande och resulterar i ett stort materialbehov och mycket spill. Luckform är en typ av systemform

som består av förtillverkade mindre formelement bestående av en ram i stål eller aluminium och en ytform i stål eller plywood. Formluckorna finns i ett antal standardiserade storlekar vilka kan sammanfogas i olika kombinationer. Storflaksformar är en större formtyp bestående av rumsstora formelement med en yta av plåt som uppstyvas av stålprofiler. Det finns även specialanpassade formsystem med höjd anpassad för bostadsproduktion. Dessa formsystem bygger ofta på enstagsprincipen med ett stag (svärd) i bekväm arbetshöjd istället för ett i botten och ett toppen. Fördelen med förtillverkade systemformar (luckform, formflak, bostadsform) är att de bidrar till en mer rationell formhantering och till ett mindre formbehov. Nackdelarna kan vara en minskad flexibilitet.

Traditionell bärlagsform (lösvirkesform) består av en formyta av plywood eller lösvirke med en bärande konstruktion av regler, bockryggar och stämp. Det finns även luckformsystem för valv. Denna formtyp består av förtillverkade ramluckor vilka monteras på bockryggar och stämp eller så kallade nollbalkssystem där luckorna monteras direkt på stämp. Luckformen har en något sämre flexibilitet jämfört med traditionell bärlagsform men möjliggör å andra sidan en mera rationell formsättning. Formbord är en beprövad metod som består av rumsstora förtillverkade element med en formyta av plywood eller stål. Formbord möjliggör en mycket rationell formsättning.

En annan formtyp är kvarsittande formsystem som innebär att formen utgör en integrerad del av den bärande konstruktionen. De vanligaste exemplen på kvarsittande form är plattbärlag och skalväggar. Plattbärlag består av förtillverkade betongelement som innehåller huvuddelen av bjälklagets underkantsarmering och förbereds vanligen med ingjutningsgods, eldosor och håltagning för rörgenomföringar. Fördelen med plattbärlag är inte bara att formarbetet minskar betydligt utan även att behovet av efterarbete av betongytan minskar väsentligt. Skalväggar är en kvarsittande form för väggjutning som under senare tid börjat användas i allt större utsträckning. Skalväggar består av två armerade betongskivor sammanbundna av ingjutna armeringsstegar. Fördelen med skalväggar är att de möjliggör en snabb formsättning och ger även fina ytor som kräver minimalt efterarbete.

Tabell 4 redovisar en sammanställning av de formsystem som användes för gjutning av väggar i de 38 projekten. Tabellen redovisar bara de fall där platsgjutning av väggar förekom eller då skalväggar användes. För ytterväggar var det i 15 av 38 projekt och för innerväggar var det i 36 av 38 projekt. Det var möjligt att ange att flera formtyper användes varför summan i de båda kolumnerna är större än 100%. Som framgår av tabellen är systemform den vanligaste formtypen både för inner- och ytterväggar. I systemform

inkluderas här luckform, storflak och bostadsform. Traditionell väggform förekommer också. Användning av lösvirkesform förekommer främst vid komplicerade och trånga utrymmen samt för att komplettera och täta annan systemform eller kring hål och trapphus. Kategorin ”annan typ” innehåller svar där det inte gick att klargöra vilken formtyp som användes.

*Tabell 4: Använt formsystem för platsgjutning av väggar redovisat som procentuell andel.*

Form för platsgjutna väggar	Yttervägg Andel i % av 15	Innerväggar Andel i % av 36
Systemform (luckform, storflak mm)	80	64
Traditionell väggform (lösvirke)	33	22
Kvarsittande form (skalvägg)	13	11
Annan typ	20	11

I tabell 5 redovisas en sammanställning av de formsystem som användes för formsättning av bjälklagen i de 38 projekten. Som framgår av tabellen är användning av slakarmerade plattbärlag vanligast (68%). Men även förspända plattbärlag förekommer men i en betydligt mindre omfattning. Traditionell bärlagsform förekom i vart sjätte projekt medan formbord användes i 8% av fallen.

*Tabell 5: Använt formsystem för bjälklag redovisat som procentuell förekomst i totalt 38 projekt.*

Bjälklagsform	Andel i % av 38
Plattbärlag (slakarmerad)	68
Plattbärlag (förspänd)	8
Traditionell bärlagsform (lösvirke)	16
Formbord	8

Bärande pelare i de studerade projekten består till största delen av prefabricerade stålpelare. Platsgjutna betongpelare förekom endast i enstaka fall. Den formmetod som då användes var pelarform eller lösvirke.

När det gäller balkar så var det inte aktuellt att platsgjuta dessa i merparten av de studerade projekten. I de enstaka fall där detta ändå förekom, användes lösvirke eller luckform.

#### **4.3.2 Armering**

Armering av väggar och bjälklag består till stor del av manuellt arbete. Arbetet omfattar ett antal arbetsmoment som t ex transport, utläggning och fixering av järn. Om dessutom armeringen klipps och bockas på arbetsplatsen tillkommer ytterligare ett antal



arbetsmoment. Ett sätt att minska antalet moment på arbetsplatsen är därför att använda inläggningsfärdig armering som innebär att armeringen levereras färdig att monteras i gjutformen. Att förtillverka armeringsenheter innebär dessutom att slitsamt arbete i obekväma ställningar vid utläggning och najning kan reduceras.

Armering kan fås levererad i olika förtillverkningsgrad. Den lägsta graden av förtillverkning innebär att armeringsjärn levereras i standardlängder, oftast 12 meter, till byggarbetsplatsen. Denna metod kräver stora lagringsutrymmen samt utrustning för klippning och bockning. Inläggningsfärdig armering är nästa prefabriceringsgrad som innebär att armeringen levereras färdig att monteras i gjutform. Armeringen är buntad och märkt för att underlätta en snabb hantering på arbetsplatsen.

Armeringsnät är den vanligaste typen av prefabricerad armering. Metoden innebär att armeringsarbetet på plats kan minskas avsevärt. Nät förekommer både som standardnät och specialnät.

Prefabricerade svetsade enheter är den högsta graden av förtillverkning. Exempel på prefabricerade enheter är armeringskorgar för påplintar eller färdiga enheter för pelare och balkar.

Rullarmering är en förhållandevis ny metod som innebär att armeringsjärn svetsas på tunna plåtband som sedan rullas ihop på cirkulära stöd. Armeringsrullarna placeras och rullas därefter ut på en bottenplatta eller valv. Fördelen med rullarmering är att armeringsarbetet rationaliseras avsevärt. Tunga lyft och arbete i obekväma ställningar minskas betydligt. Metoden används idag mest på bottenplattor. Uppstickande rör och armering i valv gör det svårare att utnyttja rullarmering.

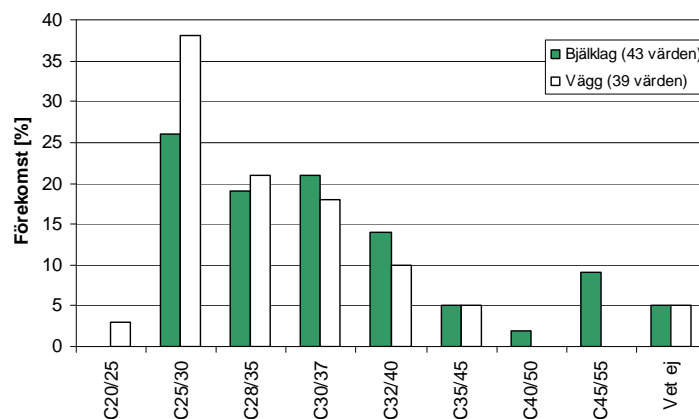
I tabell 6 redovisas en sammanställning över de olika armeringsmetoder som använts för bjälklag och väggar i de studerade projekten. För bjälklag används en större mix av olika metoder, t ex lösjärn i lagerlängd som klipps och bockas på plats i kombination med inläggningsfärdig eller nät. För armering av väggar är användningen av nät vanligast där en viss komplettering sker med armering i lagerlängd eller inläggningsfärdig armering.

*Tabell 6: Använd armeringsmetod för bjälklag och väggar redovisat som procentuell andel.*

Armering	Bjälklag Andel i % av 38	Vägg Andel i % av 38
Lösjärn i lagerlängd	39	39
Inläggningsfärdig (ILF)	58	11
Nät	39	74

### 4.3.3 Betong och gjutmetoder

I figur 6 redovisas användning av olika betongkvaliteter för väggar och bjälklag i de studerade projekten. Som framgår av figuren är C25/30 den mest frekvent använda betongkvaliteten för gjutning av både väggar och bjälklag. Av antalet svar att döma är det ovanligt att olika betongkvaliteter används för gjutning av de olika bjälklagen i ett och samma projekt. Av figuren framgår också att generellt sett används en något högre betongkvalitet för gjutning av bjälklag jämfört med väggar.



Figur 6: Förekomst av olika betongkvaliteter för väggar och bjälklag i studerade projekt.

Vidare undersöktes användningen av självkompakterande betong (SKB) i projekten. Självkompakterande betong kräver ingen vibrering för att omsluta armeringen och fylla ut i formen. Detta innebär en rad fördelar på arbetsplatsen, t ex bättre arbetsmiljö, en snabbare gjutprocess och ett bättre gjutresultat vilket minskar behovet av efterarbeten.

Tabell 7 redovisar användningen av självkompakterande betong vid gjutning av bjälklag och väggar. Sammanställningen visar att SKB användes i nästan vart femte projekt och var lika vanligt förekommande vid gjutning av bjälklag som väggar.

Tabell 7: Användning av självkompakterande betong.

	Andel i % av 38
Bjälklag	16
Väggar	16

De metoder som idag används för att transportera betong vid gjutning av flerbostadshus är med hjälp av kran och bask eller genom att betongen pumpas. I allmänhet försöker man utnyttja redan befintlig kran på arbetsplatsen. Teoretisk kapacitet för gjutning med kran och bask är ca 30-40 m<sup>3</sup>/h medan vid betongpumpning är den 150-180 m<sup>3</sup>/h. Normalt är dock kapaciteten begränsad av andra faktorer som innebär att den verkliga gjutkapaciteten blir betydligt lägre. För att kunna utföra större gjutningar under ordinarie arbetstid är dock pump generellt sett en lämplig metod.

Sammanställning av olika gjutmetoder redovisas i tabell 8. Kran och bask är den vanligaste gjutmetoden för väggar medan betongpump är vanlig för att gjuta bjälklag.

*Tabell 8: Användning av gjutmetod i studerade projekt.*

	Bjälklag Andel i % av 38	Väggar Andel i % av 38
Kran och bask	13	66
Pump	79	21
Både pump och bask	8	13

Vidare ställdes frågan om några särskilda åtgärder vidtagits vid gjutning i kall väderlek. Resultatet var att i nio fall av tio vidtogs särskilda åtgärder vid gjutning av bjälklag och motsvarande siffra vid vägggjutning var cirka två tredjedelar.

I tabell 9 redovisas de åtgärder som vidtogs vid bjälklagsgjutning respektive vägggjutning. Vanligast förekommande åtgärd var uppvärmning, isolering av form eller en kombination av båda dessa. Ökad betongkvalitet eller varmbetong var relativt ovanligt. Snabbhårdnande cement som en åtgärd nämndes inte av någon.

*Tabell 9: Redovisning av vidtagna åtgärder vid gjutning i kall väderlek.*

	Bjälklag Andel i % av 34	Vägg Andel i % av 25
Uppvärmning (gasol, elslingor)	44	13
Isolering av form + uppvärmning	38	46
Isolering av form	9	29
Ökad betongkvalitet	6	-
Uppvärmning + ”varmbetong”	-	13
Varmbetong	3	-

Vidare ställdes frågan om några speciella åtgärder hade vidtagits för att påskynda uttorkningen av betong. Svaret blev att i hälften av projekten hade särskilda åtgärder vidtagits. I tabell 10 redovisas de

åtgärder som vidtogs i studerade projekt. Uppvärmning med antingen gasol, elslingor eller infravärme är den vanligaste metoden. Näst vanligast är öka betongkvaliteten eller att använda avfuktare eller en kombination av ökad betongkvalitet och uppvärmning.

*Tabell 10: Redovisning av vidtagna åtgärder för att påskynda uttorkning av betong.*

	Andel i % av 19
Uppvärmning (gasol, elslingor, infravärme)	37
Ökad betongkvalitet	16
Avfuktare	16
Ökad betongkvalitet + uppvärmning	16
Uppvärmning + isolering	5
Ökad kvalitet + isolering + uppvärmning	5
Betong med silikatillsats	5

En särskild utredning av uttorkning av betong gjordes i 75% av de studerade projekten. Datorprogrammet TorkaS användes i nästan vart tredje av dessa projekt för att beräkna den teoretiska uttorkningstiden. I de fall där ingen särskild utredning gjordes var skälet att man ansåg att vald betongkvalitet säkerställde kravet på fuktnivåer eller att tiden fram till start av golvläggning inte var kritisk ur uttorkningssynpunkt.

#### **4.3.4 VVS-installationer**

I takt med att mängden installationer ökar i bostäder får de allt större betydelse vid planering av produktionen. Det finns i princip två sätt att placera installationer i en byggnad, antingen utanpåliggande eller ingjutna i stommen.

I tabell 11 redovisas en sammanställning av hur de horisontella VVS-installationerna placerats. Redovisningen avser huvudsaklig placering av installationer. Det vanligast förekommande sättet är att gjuta in värme, sanitet och ventilation i bjälklaget. En alternativ lösning som också används är att låta rören vara synliga. Denna lösning är vanligast för värmerör. För dragning av ventilationskanaler är ett alternativ till ingjutning att placera dessa inklätt i undertak.

Fördelen med att gjuta in installationer är dels att installationerna kan samordnas på plats dels att metoden är mera utrymmeseffektiv. Nackdelarna är en sämre flexibilitet vid förändring av verksamheten och en försämrad åtkomlighet vid reparation och underhåll.

Tabell 11: Placering av horisontella VVS-installationer.

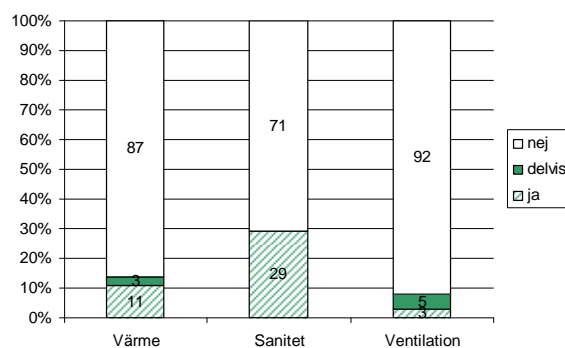
	Värme Andel i % av 38	Sanitet Andel i % av 38	Vent Andel i % av 38
Ingjutna i bjälklag	60	82	60
Synliga rör	26	10	13
Placerade i innerväggar	8	5	3
Placerade i installationsgolv	3	-	-
Placerade i undertak (inklätt)	-	3	24
Ej aktuellt	3	-	-

I tabell 12 redovisas en sammanställning över hur vertikala installationer i huvudsak placeras i de 38 projekten. Den vanligast förekommande principen är att förlägga värme, sanitet och vent i schakt. Schakten är ofta lokaliserade så att de ligger i direkt anslutning till våtrum vilket är fördelaktigt för att minimera dragning av rör horisontellt. Speciellt tydligt är det för sanitet och ventilation. Värmerör kan också placeras synligt längs med ytterväggens insida.

Tabell 12: Placering av vertikala VVS-installationer.

	Värme Andel i % av 38	Sanitet Andel i % av 38	Vent Andel i % av 38
Placerade i schakt i direkt anslutning till våtrum	47	79	74
Placerade i schakt ej i direkt anslutning till våtrum	11	11	10
Innanför yttervägg (synliga)	34	-	-
Placerade i innervägg	5	10	8
Ej aktuellt	3	-	8

I figur 7 redovisas graden av förtillverkade installationsenheter för värme, sanitet och ventilation. Som framgår av figuren är graden av förtillverkade enheter relativt liten. För sanitet förekommer en del förtillverkning i form av sammansatta avloppsmoduler (avloppsgrador). Sammanställningen visar att det är ovanligt med förtillverkade enheter för ventilation. Ventilationskanaler är relativt skrymmande och en prefabricering av dessa till större enheter innebär att de blir både svårare att transportera och montera.



Figur 7: Förekomst av förtillverkade VVS-installationer.

#### 4.3.5 Materialleveranser

Ett materialflöde som är väl samordnat med stomcykel är ur flera aspekter viktig för att uppnå god effektivitet. Förbrukningsstyrda leveranser (just-in-time) innebär att material levereras i efterfrågad mängd och önskad kvalitet vid exakt rätt tillfälle, varken för tidigt eller för sent. På så vis undviks onödig mellanlagring med risk för skador eller stöld samt att en effektivare hantering av material uppnås genom att onödiga mellanförflyttningar elimineras. Tillverkning och leverans av fabriktillverkad betong är ett bra exempel inom byggbranschen där materialet tillverkas och levereras enligt just-in-time-principen.

I de studerade projekten svarade platscheferna att leverans enligt just-in-time tillämpades för fabriksbetong men även i vissa fall även för plattbärlag, balkonger, trappor och armering. Plattbärlag är ett annat exempel där produkten levereras till arbetsplatsen och lyfts direkt från lastbil till montagestället för slutlig inpassning. Eftersom ordningen på lastbilen är noga planerad för att överensstämja med montageordningen på arbetsplatsen skulle en tillfällig mellanlagring stöka till hela montageplaneringen. Det kan dock diskuteras om detta verkligen är just-in-time då dessa produkter normalt lagras hos leverantören innan avrop sker.

#### 4.3.6 Yrkesarbetarnas erfarenhet

Yrkesarbetarnas<sup>1</sup> kompetens och erfarenhet av en viss produktionsmetod har en stor betydelse för produktiviteten i det arbete som utförs på byggarbetsplatsen. Väl sammansatta arbetslag med hög motivation som ges möjlighet att bli samkörda kan medföra avsevärda tidsvinster och kostnadsbesparingar. Omvänt kan tillfälligt

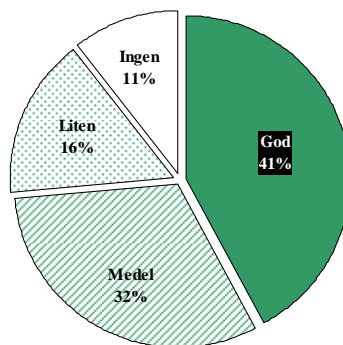
<sup>1</sup> Betongarbetare och snickare

sammansatta arbetslag bestående av oerfarna yrkesarbetare bidra till försenade delleranser.

Rådande situation avseende yrkesarbetarnas erfarenhet undersöktes därför i de 38 projekten. Både yrkesarbetarnas vana att arbeta tillsammans samt vana av platsgjuten stombyggnad undersöktes. Fyra kategorier användes för att definiera arbetarnas erfarenhet (se nedanstående ruta). Definitionen gör inte anspråk på att vara allmängiltig utan användes för att tydliggöra frågan och undvika att respondenterna tolkade frågan på olika sätt. Frågan gäller entreprenörens egna yrkesarbetare och omfattar inte underentreprenörer.

I figur 8 redovisas resultatet av yrkesarbetarnas erfarenhet av att arbeta tillsammans.

<i>God:</i>	Mer än hälften av yrkesarbetarna har arbetat tillsammans i mer än 5 tidigare projekt
<i>Medel:</i>	Mer än hälften av yrkesarbetarna har arbetat tillsammans i 2-5 tidigare projekt
<i>Liten:</i>	Mer än hälften av yrkesarbetarna har arbetat tillsammans i mer än 1 tidigare projekt
<i>Ingen:</i>	Mer än hälften har aldrig arbetat tillsammans tidigare.



Figur 8: Yrkesarbetarnas erfarenhet av att arbeta tillsammans.

Som framgår av figur 6 har yrkesarbetarna *god* erfarenhet av att arbeta tillsammans i 41% av de studerade projekten. I vart fjärde av de studerade projekten har yrkesarbetarna en *liten* eller *ingen* erfarenhet av att arbeta tillsammans.

Tabell 13 redovisar samma fråga uppdelad på storstadsregion respektive övriga riket. Som kan utläsas av figuren så är det fler projekt i övriga riket där yrkesarbetarna har *god* erfarenhet av att arbeta ihop jämfört med storstadsregionerna. Samtidigt är det fler fall

av *ingen* erfarenhet för övriga riket jämfört med storstadsregionerna. Det bör noteras att om kategorierna *god* och *medel* respektive *liten* och *ingen* slås samman och jämförs, är skillnaderna däremot små.

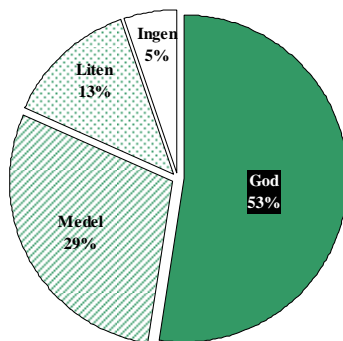
Tabell 13: Yrkesarbetarnas erfarenhet av att arbeta tillsammans: Geografiska skillnader.

	Storstad Andel i % av	Övriga riket Andel i % av
	17	21
God (mer än 5 projekt)	24	57
Medel (2-5 projekt)	47	19
Liten (1 projekt)	29	5
Ingen	0	19

Vidare undersöktes yrkesarbetarnas erfarenhet av platsgjutet stombyggnad. I rutan nedan redovisas definitionen som användes för att tydliggöra vad som menades med olika grad av erfarenhet av platsgjutet stombyggnad.

<i>God:</i>	Mer än hälften av yrkesarbetarna har erfarenhet av platsgjutet stombyggnad från mer än 5 tidigare projekt
<i>Medel:</i>	Mer än hälften av yrkesarbetarna har erfarenhet av platsgjutet stombyggnad från 2-5 tidigare projekt
<i>Liten:</i>	Mer än hälften av yrkesarbetarna har erfarenhet av platsgjutet stombyggnad från 1 tidigare projekt
<i>Ingen:</i>	Mer än hälften av yrkesarbetarna har ingen tidigare erfarenhet.

Figur 9 åskådliggör yrkesarbetarnas erfarenhet av platsgjutet stombyggnad i de 38 projekten. I mer än hälften (53%) av de studerade projekten hade yrkesarbetarna *god* erfarenhet av platsgjutet stombyggnad.



Figur 9: Yrkesarbetarnas erfarenhet av platsgjutet stombyggnad.



I nästan vart femte projekt hade yrkesarbetarna *liten* eller *ingen* erfarenhet av platsgjutet stombyggande. Noterbart är att arbetarna totalt sett har en större erfarenhet av platsgjutet stombyggande än av att arbeta tillsammans.

I tabell 14 presenteras samma fråga redovisat per storstadsregion respektive övriga riket. Som framgår av tabellen finns det fler fall i övriga riket där arbetarna anses ha *god* erfarenhet jämfört med storstadsregionerna. Samtidigt är det 10 % av projekten i övriga riket där yrkesarbetarna anses ha *ingen* erfarenhet jämfört med 0% för storstadsregionerna. Men även här blir skillnaderna små om *god* och *medel* respektive *liten* och *ingen* summeras ihop och jämförs med varandra.

*Tabell 14: Yrkesarbetarnas erfarenhet av platsgjuten stombyggnad: Geografiska skillnader.*

	Storstad Andel i % av	Övriga riket Andel i % av
	17	21
God	41	61
Medel	41	19
Liten	18	10
Ingen	0	10

#### 4.3.7 Planering och uppföljning

Bristande planering och uppföljning är en av de vanligaste orsakerna till att projekt försenas och överskrider budget. En väl upplagd och genomtänkt planering är en av de viktigaste förutsättningarna för att ett bra produktionsresultat. Bristande planering i byggprojekt är en orsak till störningar som försämrar produktivitet och kvalitet med ökade kostnader som följd. Det är viktigt att understryka att planering inte enbart handlar om att upprätta en tidplan. Tidplanen är naturligtvis ett viktigt styrinstrument men planering omfattar även metodval, resurser (personer, maskiner och utrustning), inköp och leveranser av material samt disponering av arbetsplatsen.

Undersökningen visade på att det fanns skillnader på vilka aspekter som man valde att fokusera på i planeringsskedet. I vissa projekt planerades stomdriften utifrån installationsarbetena, i andra projekt var leveranser styrande och stomdriften planerades helt utifrån dessa. Det var svårt att hitta någon gemensam praxis över hur planeringen genomfördes. Planeringen grundas ofta på tidigare erfarenhet och sker ofta i samråd mellan platsledning och lagbasar. De planeringsdokument som skapades i planeringsskedet och som utnyttjades under byggskedet var exempelvis;

- Produktionstidplan (redovisas t ex som Ganstschema)
- Varvschema som visar hur stomaktiviteter ska utföras för varje husdel och våning
- Arbetskraftdiagram
- Leveranstidplaner
- Maskinplan (t ex krananvändning)

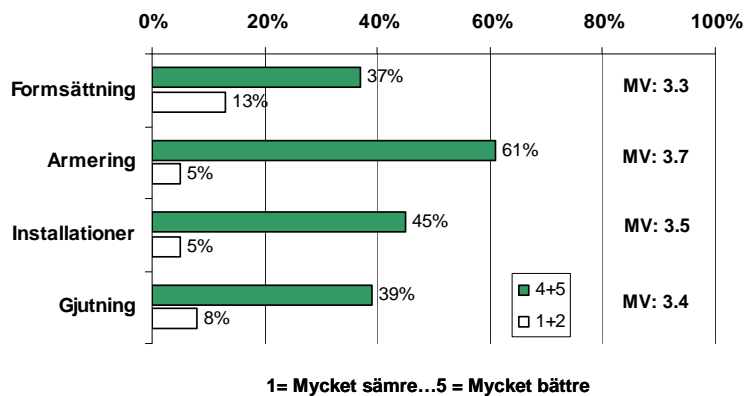
Tidsplanering av aktiviteter som underlag för stomdriften gjordes utifrån egna erfarenheter och nyckeltal eller tider definierade enligt nybyggnadslista. Uppgifter från underentreprenörer och materialleverantörer användes i vissa fall också som underlag vid produktionsplaneringen.

På frågan om uppföljning av nyckeltal för stommen gjordes i projektet svarade 39% ja. Övriga 61%, valde att inte svara på frågan.

#### 4.3.8 Upplevd produktivitet utveckling

Respondenterna fick även frågan hur de upplevde produktiviteten varit i det aktuella projektet jämfört med tidigare genomförda projekt med samma byggtekniska och produktionsmässiga förutsättningar. En skala på 1 till 5 användes där 1 betyder att produktiviteten i ett specifikt arbete varit *mycket sämre* och 5 betyder att produktiviteten varit *mycket bättre*.

Figur 10 visar en sammanställning av upplevd produktivitet för väggarbeten jämfört med tidigare projekt. I figuren representeras svarsalternativen *mycket sämre* (1) respektive *sämre* (2) av den vita stapeln medan svarsalternativ *bättre* (4) och *mycket bättre* (5) representeras av den gröna stapeln.

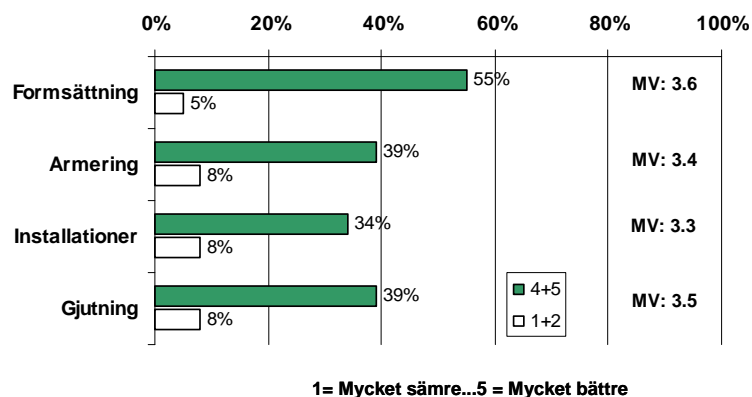


Figur 10: Upplevd produktivitet utveckling för väggarbeten.

Som framgår av figuren har alla väggaktiviteter en positiv tendens, dvs det har skett någon form av förbättring i aktuellt projekt jämfört med tidigare genomförda projekt. Tydligast är tendensen för aktiviteterna armering (medelvärde 3.7) och installationer (mv. 3.5) även om skillnaderna är små. Orsakerna till förbättring som nämndes var exempelvis en ökad användning av nät istället för lösjärn i väggar. På installationssidan nämndes användning av skalväggar som en orsak till att installationsarbetet på plats reducerats.

På motsvarande sätt redovisas samma fråga för bjälklagsarbeten i figur 11. Som framgår av figuren har alla bjälklagsaktiviteterna en positiv utveckling. Tydligast är förbättringen för aktiviteterna formsättning och gjutning (mv. 3.6 resp. 3.5).

Orsakerna här anses vara användningen av plattbärlag som rationaliserar formmontaget och minskar behov av efterlagningar. Användning av självkompakterande betong och pumpning nämndes också som orsaker till förbättring av gjutningsarbetet.



Figur 11: Upplevd produktivitetsutveckling för bjälklagsarbeten.

#### 4.3.9 Platschefens syn på använd metod

Platschefernas inställning till använd produktionsmetod är generellt sett positiv. De fördelar som man ser med att platsgjuta stommen är framförallt att metoden medför en god flexibilitet. Ändringar eller fel som upptäcks sent kan hanteras utan att det får några större konsekvenser. Vidare anser man att metoden är enkel, speciellt gäller detta dragning av installationer. De nackdelar som nämns är lång produktionstid och att den är väderkänslig. Nedan ges exempel på citat från intervjuade platschefer gällande platsgjutet stombyggnade.

*”God flexibilitet, metoden möjliggör att justeringar kan göras under produktionen”*

*”Ekonomiskt konkurrenskraftig”*

*”Felaktigt placerade installationer kan innebära omfattande merarbeten om felet inte upptäcks i tid.”*

*”Metoden innebär att en större frihet att sena ändringar kan hanteras utan att det får stora konsekvenser”*

*”Väderkänslig produktion”*

*”Installationer är enkla att lösa”*

*”Mindre behov av tunga lyft”*

*”Enkel produktionsmetod”*

*”Utrymmeskrävande formpark”*

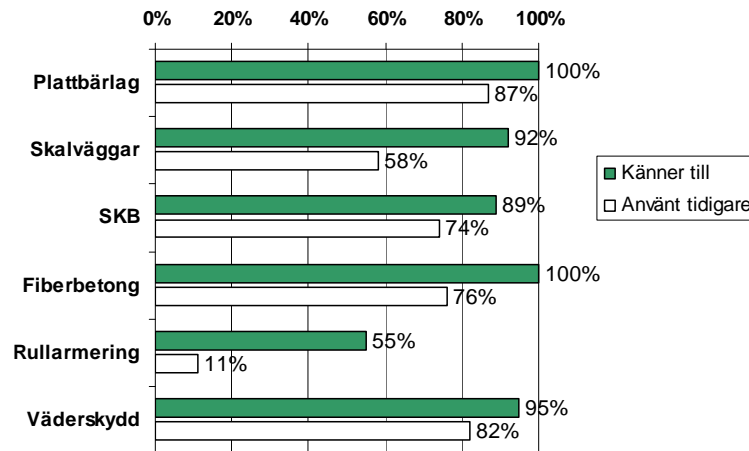
*”Plattbärlag medför en snabbare produktionstakt jämfört med traditionella formsystem, mindre behov av efterarbeten och att man slipper riva och förflytta form.”*

*”Lång produktionstid på arbetsplatsen”*

#### 4.4 Generella åsikter om ”ny” teknik

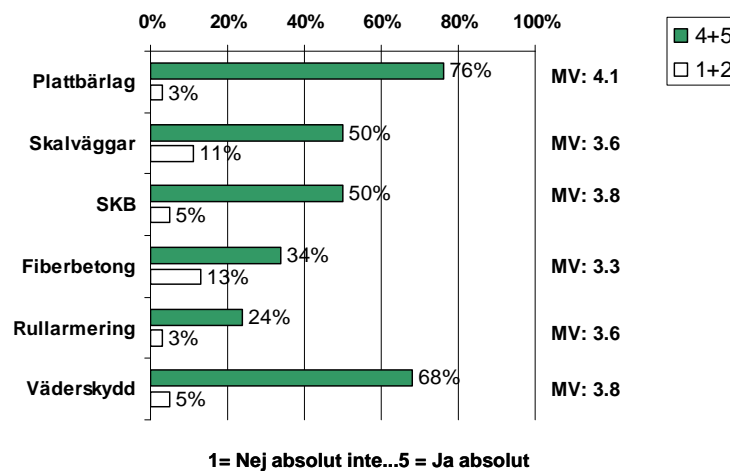
Som avslutning på intervjuundersökningen redovisas platschefernas kännedom och användning av tekniska innovationer som utvecklats i syfte att bl.a. förbättra arbetsmiljö och produktiviteten på arbetsplatsen. De innovationer som inkluderades var *plattbärlag, skalväggar, självkompakterande betong, fiberbetong, rullarmering* och *väderskydd*. Frågan som ställdes var om de kände till respektive innovation samt om de använt denna tidigare. Som framgår av figur 12 är kännedomen av nämnda innovationer god bland intervjuade platschefer. Även användningen av dessa var generellt mycket hög. Plattbärlag, fiberbetong och väderskydd är de innovationer som flest känner till och har använt. Även SKB känner de flesta till och nästan tre fjärdedelar har också erfarenhet från användning. Det framgår dock inte om användningen är begränsad till ett enstaka tillfälle eller om det rör sig om en systematisk användning. Det är heller ej utrett i

vilken utsträckning som flera innovationer används samtidigt i ett och samma projekt.



Figur 12: Kännedom om ”ny” teknik för platsgjutet stombyggnade.

I figur 13 redovisas en sammanställning av platschefernas tilltro till respektive teknisk innovation när det gäller dess potential att förbättra produktiviteten för platsgjutet stombyggnade. Skalan som användes var femgradig där 1 betyder ”nej absolut inte” och 5 betyder ”Ja absolut”.



Figur 13: Tilltro till tekniska innovationer för platsgjutet stombyggnade.

Som framgår av figuren har platscheferna generellt en stor tilltro till alla innovationer. Störst tilltro har man till plattbärlag, följt av självkompakterande betong och väderskydd. Minst tilltro har man till fiberbetong. Det bör också påpekas att för rullarmering så var det få som hade någon uppfattning. Ungefär hälften av platscheferna svarade "vet ej" vilket innebär att svaren för denna metod får ses med viss försiktighet.

Platscheferna fick även svara på vad som hindrar alternativt försvårar användningen av nämnda tekniska innovationer. Generellt framfördes inga starka hinder mot användning. De flesta hinder som nämndes var av teknisk eller ekonomisk karaktär. Nedan redovisas de två vanligaste argumenten mot en användning av respektive teknisk innovation.

*Plattbärlag:*

- Problem vid mycket stora spännvidder (13% av 38)
- Kapacitetsbegränsning i tillverkning medför långa leveranstider (13%)

Författarens kommentar: Det är möjligt att klara spännvidder upp till 10 meter med slakarmerade plattbärlag (enkelspant fack som är tvåsidigt inspent), vilket ofta är mer än tillräckligt i flerbostadshus.

*Skalväggar:*

- Svåra att hålla varma vid gjutning vintertid (8%)
- Minskad flexibilitet vid draging av installationer (8%)

*Självkompakterande betong:*

- Gjutformen måste vara noggrant tätad (37%)
- Materialkostnaden (8%)

Författarens kommentar: SKB innebär en högre materialkostnad men genererar samtidigt besparingar i form av mindre behov av arbete vid gjutning och efterarbete. Det gäller även att man anpassar arbetsstyrkan efter metod.

*Fiberarmerad betong:*

- Materialkostnaden (11%)
- Oklarhet kring dess förmåga att ersätta konventionell armering i stommen (11%)

*Rullarmering:*

- Svår att använda vid mycket uppstick (8%)
- Vid små ytor (5%)

Författarens kommentar: Det är viktigt att utbilda konstruktörer att projektera för användning av rullarmering.

*Väderskydd:*

- Kostnaden (37%)
- Förutsättning för att kunna användas beror till stor del av hur huset är utformat (13%)

Författarens kommentar: För att möjliggöra användning av väderskydd bör detta utredas redan tidigt i projektet.

## 5. Fallstudier

*För att mera i detalj undersöka stombyggnadsprocessen genomfördes under hösten 2007 studier av två stycken pågående flerbostadshusprojekt, fallstudie A respektive B. Arbetet genomfördes som två separata examensarbeten vid Lunds Tekniska Högskola. Genomförande och resultat från dessa studier redovisas sammanfattningsvis i detta kapitel.*

### 5.1 Fallstudie A

Syftet med fallstudien var dels att mäta utnyttjandet av tiden för olika stomrelaterade arbetsmoment dels att kartlägga värdeflöden för stombyggnadsprocessen. I arbete ingick även att utforma, testa och utvärdera en metod för att mäta tidsutnyttjande respektive en metod för kartläggning av värdeflöden. En komplett beskrivning av genomförande, resultat och slutsatser återfinns i *Lundström & Runquist (2008)*.

#### 5.1.1 Beskrivning av projektet

Projektet som studerades är ett flerbostadshus i 8 våningar beläget i Malmö. Varje våningsplan har fem trapphus med hiss. Den totala ytan för varje våningsplan är ca 1350 m<sup>2</sup> BTA. Våningsplan 1 består av både lägenheter och lokaler medan våningsplan 2 till 7 enbart består av lägenheter. Våningsplan 2 till 7 har identiska planlösningar medan det översta våningsplanet (plan 8) består av något färre antal lägenheter. Det översta planet är indraget och alla lägenheter omgärdas av en terrass.

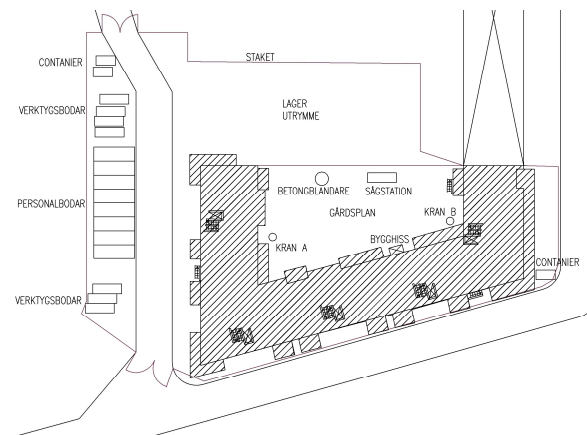


### 5.1.2 Översiktlig produktionsmetod

Källarplanet utformas med hjälp av platsgjutna ytterväggar medan innerväggarna gjuts med hjälp av skalväggar. På plan 1 används skalväggar för gjutning av innerväggarna. Anledningen till att skalväggar valts för detta plan är de många nivåskillnaderna som gör traditionell form svår och tidskrävande. Ytterväggarna på alla våningar utgörs av utfackningsväggar. Plan 2 till 7 är identiska och utformas alla på samma sätt. Här gjuts de bärande väggarna på traditionellt sätt med väggformssystem. Plan 8 som är ett indraget våningsplan med terrass kring hela planet utformas med en större takhöjd och trapphusväggarna gjuts därför istället med hjälp av skalväggar. De övriga lägenhetsavskiljande väggarna platsgjuts med traditionell väggform. Som bärande element i fasaden på plan 1 till 8 används stålpelare. Lägenheterna kompletteras i efterhand med färdigbyggda utfackningsväggar i fasad och icke bärande innerväggar av gips och stålreglar. Balkonger och trappor är av prefabricerad betong.

Arbetet för respektive våningsplan i det aktuella projektet indelas i fyra gjutetapper. Varje våningsplan har en planerad produktionstid på 20 dagar. Produktionstiden reduceras till 18 dagar under observationsperioden.

Figur 14 visar en skiss över arbetsplatsens disposition. Bodar och verktygscontainrar är samlade i den ena änden av arbetsplatsen. Utöver dessa verktygscontainrar har även en del byggnadsarbetare och underentreprenörer mindre verktygscontainrar placerade uppe på ställningen i direkt anslutning till det våningsplan och den etapp som de arbetar på.



Figur 14: Översiktlig skiss av arbetsplatsen.

Byggnaden omges av ställningar vilka byggs på efterhand av en underentreprenör. Byggarbetsplatsen är försedd med två stationära kranar på var sida om gårdsplanen. Den ena kranen (kran A i figur 14) har en räckvidd som når över hela arbetsplatsen. Den mindre kranen (kran B) når över drygt halva arbetsplatsen.

### 5.1.3 Metod för mätning av tidsutnyttjande

Frekvensstudier användes för att mäta användningen av tid i olika aktiviteter. Frekvensstudier innebär att pågående arbete observeras vid slumpmässiga tidpunkter under en tidsperiod. Metoden är internationellt vedertagen och beskrivs bland annat i *Jenkins & Orth (2004)*. Syftet med metoden är helt enkelt att få fram hur stor andel av tiden som läggs på olika typer av arbete. Metoden bygger på antagandet om att tillräckligt många observationer görs under en begränsad tidsperiod är dessa representativa för arbetet under lång tid.

Arbetet som observeras kategoriseras enligt en fördefinierad mall. Kategorierna utformas så att all typ av arbete kan placeras i någon av dessa. I bilaga 3 redovisas de kategorier för stomrelaterade arbeten som användes vid mätningarna.

Metoden är lämplig för att avläsa andel störningar eller andel tid av en arbetsdag som inte är produktiv. Mätresultaten kan användas som underlag för förbättringar av logistik, produktivitet samt för att minimera störningar. I figur 15 visas ett utdrag från en observationsmall som användes i arbetet. Utöver aktivitetskategori delas observationsvärdena även in i vilken yrkesgrupp som utför de observerade aktiviteterna.

Aktivitet	Direkt		Indirekt arbete						Störningar			Missing in Action	Kran	Väder	Kommentarer	
	Värdet	Andelen	Förberedande	Materialhantering	Utrustningshantering	Städning	Säkerhetsåtgärder	Kontroller	Kranassistans	Stilleståndstid	Resid					Produktionsstopp
kl. :																
T																
B																
UE1																
UE2																
UE3																
UE4																

Figur 15: Mall för registrering av observationer.

Observationerna utfördes vid slumpmässiga tidpunkter. Tider inom ett förbestämt intervall slumpades fram med hjälp av ett

datorprogram. Under observationerna noteras den aktivitet som utförs vid observatörens första uppsikt av respektive arbetare. Snickare, betongarbetare och installatörer observerades. Det arbete som utförs av en enskild person vid en momentan tidpunkt utgör en unik observation. Observationen görs endast under arbetarnas ordinarie arbetstid.

För observationer av stomcykeln har valts ett tidsintervall på mellan 13 och 20 minuter. Detta tidsspann ansågs lämpligt då det ger observatörerna möjligheten att hinna söka upp arbetare som befinner sig utom synhåll. Vid valvgjutningen förfinades tidsintervallet för att erhålla fler mätvärden på just detta specifika arbetsmoment. Tidsintervallet för gjutningen ligger på mellan 3 och 7 minuter.

Mätningarna utfördes under en tre veckors period i oktober 2007.

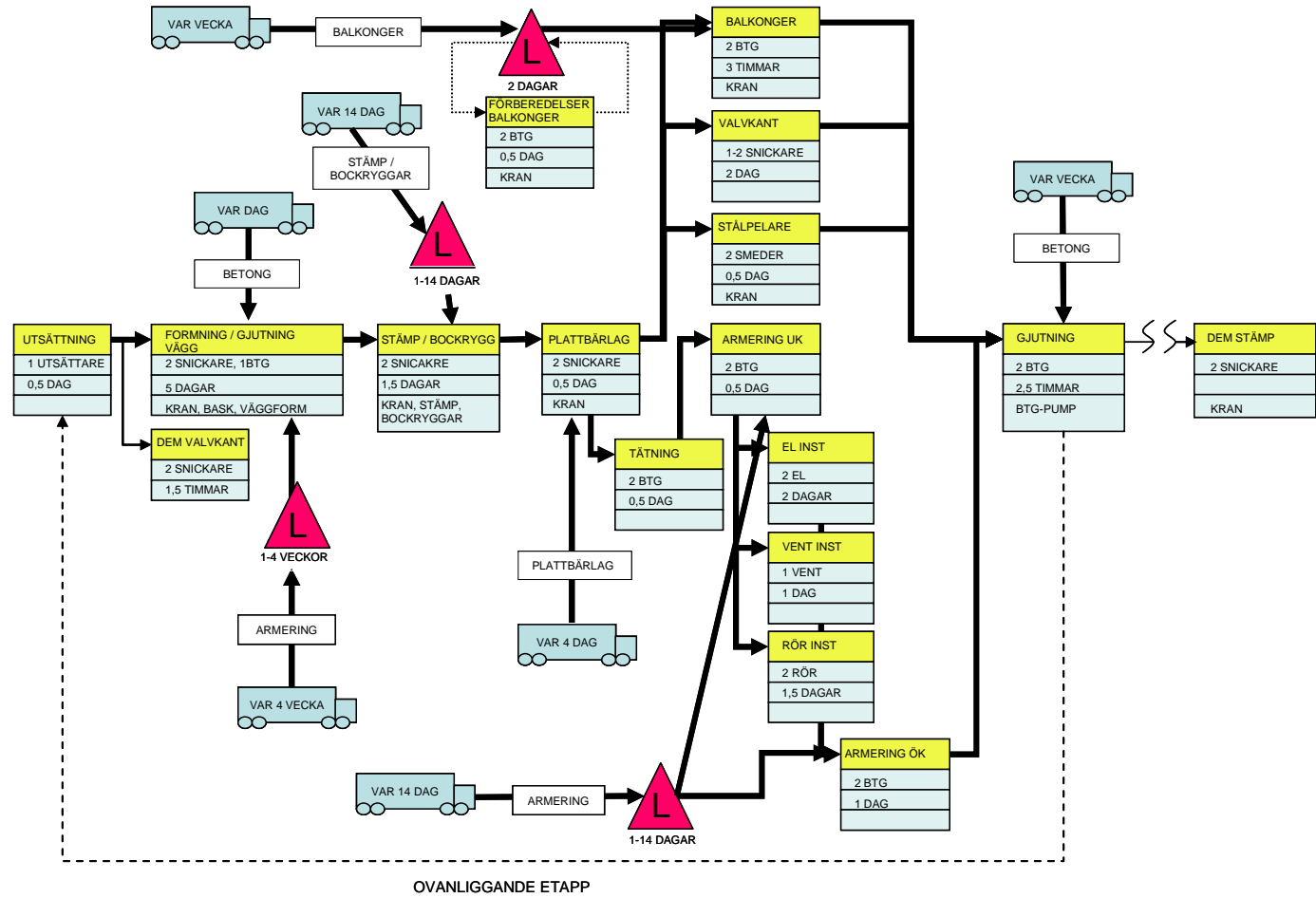
#### **5.1.4 Metod för kartläggning av värdeflöden**

Värdeflödesanalys är en teknik som används för att kartlägga produktionen och få en överskådlig bild av de steg som en produkt genomgår, se *Rother & Shook (2004)*. Tekniken har sitt ursprung inom Toyota och förknippas vanligen med Lean produktion, se *Womack (2006)*. För att kunna applicera metoden på stombyggnadsprocessen gjordes vissa modifieringar av hur man traditionellt utformar och redovisar en värdeflödesanalys eftersom det finns vissa principiella skillnader mellan industriell tillverkning och byggande. Inom tillverkningsindustrin sker arbetsmomenten vanligtvis i en produktionslinje vilket gör att det sällan uppstår aktiviteter som utförs parallellt för en och samma produkt. Byggandet karakteriseras av att det är arbetarna som rör sig kring en produkt och flyttar vidare efter att arbetsmomentet är slutfört för den aktuella delen. Detta skiljer sig mot att det inom tillverkningsindustrin är en produkt som förflyttar sig genom produktionslinjen.

#### **5.1.5 Kartlagda värdeflöden**

I figur 16 visar en flödeskarta för produktionen av den bärande stommen. Kartan avser produktionen av en etapp av ett våningsplan. Redovisat flöde upprepas för varje valvetapp på varje våningsplan. Tiderna och resurserna i flödesschemat är baserade på gjorda mätningar och observationer av stomdriften. I följande text ges en beskrivning av de aktiviteter som finns redovisade i flödeskartan.

Figur 16: Flödeskarta för en stomcykel.



### *Formning och gjutning av väggar*

Väggformsystemets utformning gör att väggarna måste gjas i en viss ordning med avseende på planlösningen. Armeringsnäten till väggarna levereras i en omgång per våningsplan och lagras sedan på gården. Armeringen lyfts sedan upp till våningsplanen i omgångar, en för vardera etapp. Betong till gjutning levereras dagligen klockan 14:00 och transporteras direkt från betongbil till väggformarna med hjälp av kran och bask. Demontage av väggformarna utförs alltid nästföljande morgon.

### *Stämp och bockryggar*

Understöd till balkongerna monteras ihop till sektioner på gården och lyfts sedan upp till våningsplanen, i färdiga enheter, med hjälp av kran. Stämp och bockryggar till plattbärlagen lyfts upp till planet i delar och monteras ihop på bjälklaget. Arbetet kan inte påbörjas innan väggarna är färdiggjutna, på grund av utrymmesbrist på bjälklaget. Stämp och bockryggar levereras vid två tillfällen per våningsplan. Totalt levereras stämp och bockryggar för tre våningsplan, vartefter understöden från de nedre planen demonteras och återanvänds för ovanliggande våning. Parallellt med montering av stämp och bockryggar lyfts även gips och stålreglar in på bjälklaget.

### *Plattbärlag*

Leverans av plattbärlag sker i fem omgångar per våningsplan då vikten begränsar leveransmängden. Beställningen görs ungefär 12 veckor innan första leverans. Vid ändringar från beställaren kräver fabriken att detta sker minst fyra veckor innan planerad leverans. Plattbärlagen lyfts på plats direkt från lastbil med hjälp av kran, med undantag för de kantbitar som har annorlunda utformning. De ligger normalt överst på lastbilsflaket men ska monteras sist. Mellanlagring sker då på ett närliggande bjälklag till dess att elementen kan monteras. Tätning av plattskarvarna utförs efterhand som bjälklaget läggs ut. Skarvarna tätas med bruk.

### *Underkantsarmering*

Utläggning av underkantsarmering påbörjas efter att tätningen av plattbärlagsskarvarna är utförd. Arbetet kan inte påbörjas tidigare då samma betongarbetare utför båda arbetena. Leveranserna av armering kommer varannan vecka, lagras på gården och tas upp buntvis till varje bjälklagsetapp. Beställningen av all armering till stommen utförs på en och samma gång för hela stommen och vid ändringar krävs cirka fyra veckors framförhållning. Detta gäller med undantag för lösjärn som beställs efterhand. De kan beställas så sent som några dagar innan leverans.

I bilaga 4 redovisas en beskrivning och flödeskarta över armeringstillverkning och leveranser.

### *Installationer och överkantsarmering*

För att kunna påbörja arbeten med installationer krävs att underkantsarmeringen är klar. Installationsmontaget påbörjas efterhand som armeringen läggs ut. Allt eftersom installationsarbetet är klart, monteras överkantsarmeringen.

### *Kantavstängning*

Montage av valvkantsavstängning påbörjas direkt efter det att plattbärlaget är på plats, men kan inte slutföras förrän trappan och balkongerna är monterade. Arbetsmomentet utförs i omgångar utspritt över ca fyra dagar. Valvkantsformen rivs dagen efter att bjälklaget har gjutits.

### *Balkonger*

Balkongerna levereras prefabricerade med färdig yta. Vid leverans lossas balkongerna från bil med hjälp av kran och läggs ut över gårdsplanen. Leveranserna är indelade i fyra omgångar, en för vardera etapp. Balkongerna beställs tolv veckor innan första leverans och vid eventuella ändringar kräver leverantören att det meddelas minst fyra veckor innan leverans.

### *Gjutning av bjälklag*

Gjutning av bjälklag studerades och mättes vid två separata valvgjutningar på 330 respektive 240 m<sup>2</sup>. Leveranserna vid den ena gjutningen var beställda med 25 minuters intervall enligt betongarbetarnas önskemål. Den genomsnittliga tiden för utläggning, vibrering, kontroll och ytbearbetning av en leverans på 7,5 m<sup>3</sup> var i genomsnitt 15 minuter. Vid den andra gjutningen var leveranserna beställda med 20 minuters mellanrum och där var tiden för utläggning, vibrering, kontroll och ytbearbetning i genomsnitt 12 minuter. Det var här tydligt att om leveranserna kunde ske med ett något tätare intervall som var mer anpassad till taktiden (tiden som betongarbetarna behöver plus extra marginal för vila) skulle stilleståndstiden minska avsevärt. Analys av betongfabrikens flöde visade på att detta inte utgjorde någon begränsning för tätare leveranser. En flödeskarta och beskrivning av betongtillverkningen redovisas i bilaga 5.

## **5.1.6 Planering och styrning av resurser och arbete**

Byggprojektet leds ute på arbetsplatsen av en platschef samt två arbetsledare. Vid deras sida finns även en entreprenadingenjör på plats för hjälp med exempelvis inköp och löpande uppföljning.

För att utforma en grundläggande planering av byggproduktionen med avseende på tider och resurser används planeringsprogrammet PlanCon. Förändringar under projektets gång hanteras med hjälp av en rullande tidplan som löper över en sexveckorsperiod och uppdateras en gång i veckan. Denna tidplan

utföras med grund i huvudtidplanen och justeras efter ny tillkommen information samt efter avstämning av de olika arbetsmomenten.

Leveranser av material åskådliggörs på en whiteboardtavla där olika färgkoder representerar status på leveranser. Noteringar på whiteboardtavlan görs av ansvarig arbetsledare eller platschef, direkt i samband med förändringar. De flesta leveranser av stomkomponenter och andra material som byggs in under stomresningen bokas in tidigt i projektet. Korrigering av beställningarna och justering av leveransdatum utförs sedan av den ansvarige arbetsledaren om arbetet exempelvis blev klart tidigare eller senare än ursprungsplaneringen. För att planering och leveranser ska hanteras på bästa möjliga sätt pågår en kontinuerlig dialog mellan arbetsledare och hantverkare ute på byggarbetsplatsen. Vid förseningar av leveranser informeras arbetsledaren om detta av leverantören.

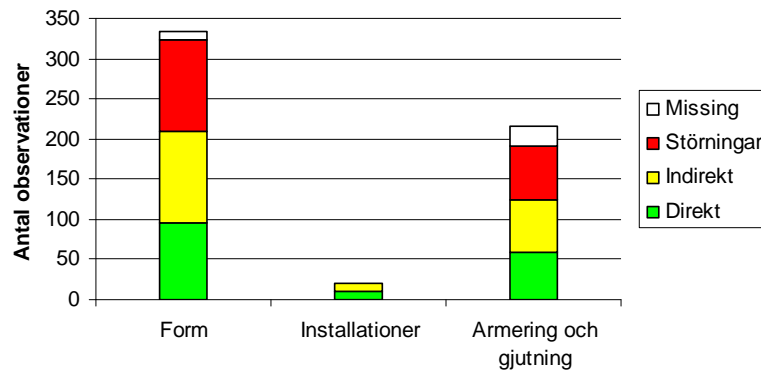
Utöver veckomötena som byggentreprenören håller med sina underentreprenörer, håller arbetsledningen även varje vecka ett informationsmöte för sina yrkesarbetare om vad som kommer att hända under den närmsta tiden.

Personalen arbetar i arbetslag om normalt två eller tre personer. Varje arbetslag är ansvarig för ett eller flera arbetsmoment och följer med dessa arbetsmoment allt eftersom stommen reses. Denna indelning behåller normalt arbetarna hela projektet igenom och att rotation istället sker mellan olika projekt. Genom denna indelning får personalen rutin och ökar sin effektivitet. Många arbetare önskar att arbeta på detta sätt, medan andra föredrar större variation i arbetet.

### **5.1.7 Resultat från mätning av tidsutnyttjande**

I figur 17 redovisas en sammanställning av mätning av tidsutnyttjande i samband med formning och gjutning av väggar. Mätningarna baseras på observationer av fem väggcykler. Höjden på stapeln ger en bild av hur mycket mantid som aktiviteten förbrukar. Om jämförelser ska göras mellan aktiviteter är det dock viktigt att samma observationsintervall har använts. Den gröna delen av stapeln representerar direkt arbete enligt förutbestämd klassificering (se bilaga 3). Den gula representerar indirekt arbete och den röda representerar störningar. Enligt Lean-filosofin är det framförallt andelen störningar som man bör eftersträva att eliminera. Höga staplar med stor andel störningar är således aktiviteter som bör ges stor uppmärksamhet vid förbättringsarbete. Även aktiviteter med stor andel indirekt arbete kan vara idé att titta närmare på. Om detta exempelvis orsakas av omotiverat mycket materialtransporter kan det vara läge att se över planering av internt transporter etc. En aktivitet

som har en hög stapel är även av intresse då denna kan vara en flaskhals som kan vara en begräsning för övriga arbeten. Den vita delen i stapeln avser då arbetare inte varit tillgängliga för observation då de borde ha varit detta.



*Figur 17: Användning av tid vid platsgjutning av väggar. Observationer av arbetet utfördes med ett tidsintervall på mellan 13-20 minuter.*

Som framgår av figur 17 är arbetet med att montera och demontera väggform den aktivitet som förbrukar flest mantimmar. Det observerade arbetet utgörs av 29% direkt arbete, 34% indirekt arbete och 34% störningar. Armering och gjutning är mindre arbetstidskrävande och består av 27% direkt arbete, 31% indirekt arbete samt 31% störningar. Installationsarbetet utgör en liten andel av väggcykeln vilket också visas av ett litet antal observationer i figuren.

#### *Form*

Det indirekta arbetet för arbete med väggformen består av utrustningshantering (46%) och förberedelser (23%). Utrustningshantering avser transport och flytt av gjutform och verktyg samt montage och demontage av formstag. Förberedelser avser planering av arbete (ritningsläsning, utsättning etc) men även arbete såsom montage av form kring ursparningar samt avstängare.

Störningar vid arbete med gjutformen består av stillestånd (82%) och restid (82%). Stillestånd beror antingen på väntan på material och utrustning eller på att angränsande arbete ska slutföras. Restid avser då arbetaren förflyttar sig på arbetsplatsen utan att denne bär med sig något.



### *Installationer*

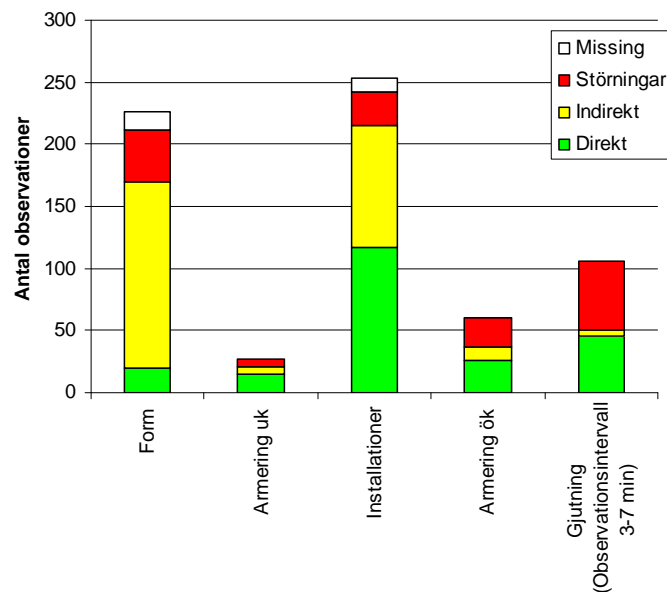
Det indirekta arbetet vid installationsdragning består huvudsakligen av förberedelser (89%). Inga störningar uppmättes för detta arbetsmoment.

### *Armering och gjutning*

Det indirekta arbetet vid armering och gjutning utgörs av 38% utrustningshantering och 29% materialhantering.

Störningar vid armering och betonggjutning orsakas till 90% av stillestånd, övrig resterande tid orsakas av restid.

I figur 18 redovisas mätresultaten för bjälklagsarbeten. Mätningarna omfattar en komplett bjälklagscykel.



*Figur 18: Användning av tid vid arbete med betongbjälklag. Observationer av arbetet utfördes med ett tidsintervall på mellan 13-20 minuter undantaget gjutningsarbeten där tidsintervallet var 3-7 minuter.*

Som framgår av figur 18 så är installationsarbetet den aktivitet som förbrukar flest mantimmar av alla bjälklagsaktiviteter. Arbetet med valvform förbrukade näst flest mantimmar. I aktiviteten form inkluderas montage av stämp och bockryggar, montage av plattbärlag, montage och rivning av avstängare samt tätning av elementskarvar. Även montering av invändiga stålpelare ingår i denna kategori. Observera att mätningarna av gjutningsarbetet utfördes med ett tätare intervall och bör därför inte jämföras med

övriga aktiviteter. Om samma observationsintervall hade tillämpats som för övriga aktiviteter så skulle stapeln för gjutning vara ungefär lika hög som stapeln för aktiviteten armering underkant.

Som framgår av figur 18 är en stor del av arbetet med valvform indirekt arbete (66%). Andelen störningar uppmättes till 19% och är större än det direkta arbetet. För armering är andelen störningar större vid utläggning av armering i överkant jämfört med utläggning i underkant. Utläggning av armering i underkant utgörs till 56% av direkt arbete. Andelen indirekt arbete och störningar är lika stor (22%). Vid utläggning av armering i överkant är andelen direkt arbete 43% medan andelen indirekt arbete är 18% och andelen störningar 38%. Det direkta och indirekta arbetet vid installationsdragnings är lika stor. Inslaget av störningar är liten i förhållande till den totala tiden för installationsarbetena. Betonggjutning utgörs av 43% direkt arbete och 53% störningar. Andelen indirekt arbete är således liten.

#### *Form*

Det indirekta arbetet vid arbete med valvform avser främst utrustningshantering av stämp och bockrygg samt materialhantering i samband med montage och demontage av valvkant.

Den vanligaste orsaken till störningar vid arbete med valvform är stillestånd som uppstår främst vid montage och demontage av valvkant samt vid montering av stämp och bockryggar.

#### *Armering*

Armering i underkant avser placering och fixering av skarvnät samt kompletterande underkantsarmering. Det indirekta arbetet utgörs av materialhantering. Störningar utgörs uteslutande av stilleståndstid.

Andelen störningar vid utläggning av armering i överkant (38%) är större jämfört med armering i underkant (22%). Det indirekta arbetet vid utläggning av överkantsarmering utgörs av materialhantering (55%) och förberedelser (27%). Störningar orsakas nästan uteslutande av stilleståndstid (91%).

#### *Installationer*

Denna kategori avser arbete med installationer som gjuts in i bjälklaget. De installationer som avses är el, vs och vent. Installationsarbetet utgörs till stor del av direkt arbete och indirekt arbete. Andelen störningar av det totala installationsarbetet är relativt liten. El- och vs-arbeten är de arbeten som förbrukar mest mantid.

Det indirekta arbetet beträffande installationsarbeten utgörs i första hand av förberedelser (53-74%) och därefter av materialhantering (15-33%). Detta förhållande gäller för alla installationsarbeten.

Inslag av störningar vid eldragnings beror till 50% av stillestånd och 50% på restid. Ventilationsarbete på valvet består av 83%

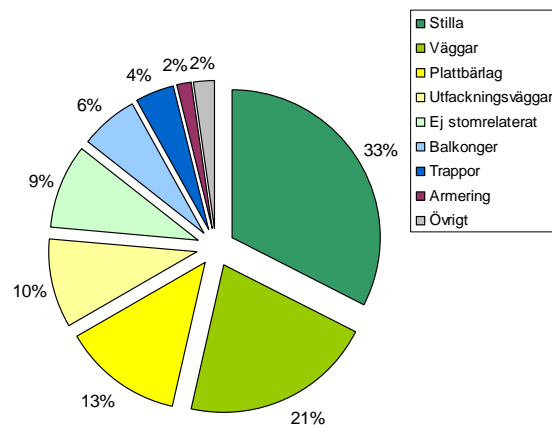
stilleståndstid och 17% restid. För vs-arbeten utgörs störningarna av 55% restid och 45% stilleståndstid.

### *Gjutning*

Gjutning avser utläggning av betong med hjälp av pump samt vibrering och avjämning av betongytan. Mätningen omfattar två separata gjutningar omfattande totalt 120 m<sup>3</sup> betong. Observationerna från de två gjutningarna visar på en liknande fördelning avseende direkt, indirekt arbete samt störningar. Andelen direkt arbete är 54% respektive 43%. Det indirekta arbetet är bara 7% respektive 4%. Inslaget av störningar är stort och uppgår till 39% respektive 53%.

### *Kranutnyttjande*

Förutom observationer av arbetare gjordes även observationer av kranaktiviteten. Tre kategorier användes 1) aktiv med stomrelaterade arbeten 2) aktiv med andra arbeten 3) stilla. I figur 19 redovisas en sammanställning av kranens användning över totalt 13 dagars observationer.



*Figur 19: Utnyttjande av krantid per aktivitet. Observationer av kranarbetet utfördes med ett tidsintervall på mellan 13-20 minuter.*

Resultaten gäller den stora kranen med räckvidd över hela byggarbetsplatsen. Kranens uppgift består förutom att assistera stombyggnadsarbeten även av att lossa och transportera material från upplag till montageställe. Väggar är den stomaktivitet som förbrukar mest krantid (21%), därefter plattbärlag (13%). Anmärkningsvärt är att kranen står stilla en tredjedel av arbetsdagen. För den mindre kranen observerades en ännu större stilleståndstid. Generellt så påvisar resultaten även en tendens till att användningen av kranarna är större under förmiddagarna än under eftermiddagarna och att det i

stor utsträckning finns luckor i utnyttjandet i anslutning till start på morgonen, före och efter raster samt innan kväll. Man kan dock också konstatera att kranarna ofta är aktiva samtidigt vilket föranleder att två kranar behövs.

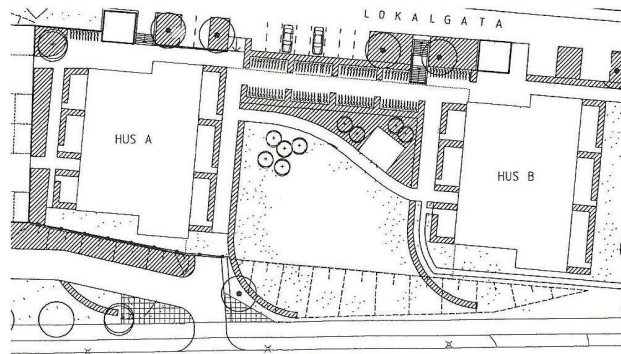
## 5.2 Fallstudie B

Även i detta arbete var ett syfte att mäta hur tiden utnyttjas vid olika av stomarbeten. Syftet var även att studera kostnaden för att producera stommen och att jämföra kostnaden med andra projekt av liknande karaktär. En mer detaljerad beskrivning av genomförande och resultat finns redovisade i *Lindén & Wahlström (2008)*.

### 5.2.1 Beskrivning av projektet

Projektet omfattade nybyggnation av två stycken flerbostadshus belägna i Lund. Husen är två likadana punkthus med vardera sex våningar plus källare. Varje våningsplan rymmer sex lägenheter förutom det översta som enbart rymmer fyra vilket innebär totalt 34 lägenheter per hus. Varje hus har två entréer samt ett trapphus och en hiss. Alla lägenheter förutom de belägna på nedersta våningen är utrustade med balkong. Figur 20 visar en övergripande skiss av de båda husens placering.

Byggnadens stomme består av invändigt platsgjutna betongväggar. Fasaden består delvis av platsgjutna betongväggar och delvis av stålpelare som kompletteras med utfackningsväggar. Våningsbjälklagen består av plattbärlag som pågjuts med betong. I våningsbjälklagen gjuts installationer för vs, ventilation och el in.



*Figur 20: Situationsplan över båda byggnaderna.*

### 5.2.2 Metod för mätning av tid

Metoden för frekvensstudiemätning som användes i fallstudie A användes även i detta arbete. Här valdes dock att utföra observationer av stomarbetet var annan minut för att på så vis ytterligare öka tillförlitligheten i mätningarna.

Mätningarna gjordes under en tvåveckors period i slutet av november månad.

I stort sett användes samma definition av arbete som redovisas i bilaga 3. Arbetet avgränsades till att följa pågående stomdrift av ett våningsplan för en av byggnaderna. Anledningen till denna avgränsning var av tidsmässiga skäl.

### 5.2.3 Uppföljning av stomkostnad

Uppföljning av kostnader avser kostnader för material, utrustning och arbetskostnader som kan hänföras till byggandet av stommen. Stommen avgränsas till systemet av bärande byggnadsdelar ovanför bottenplatta eller källarkonstruktion. Anledningen till denna avgränsning är att lokala markförutsättningar anses ha en alltför stor inverkan på kostnadsbilden och därmed göra det svårt vid jämförelser med andra projekt. I detta fall var avsikten att insamlade kostnader skulle kunna jämföras med andra aktuella flerbostadshusprojekt vilka dokumenterats av *Betongbanken*<sup>2</sup>.

I stomkostnaden ingår kostnader för arbete, material och utrustning för form, armering och betong. Vidare ingår kostnader för förtillverkade element såsom trappor, balkonger och pelare. Dessutom inkluderades även kostnader för kran och ingjutna installationer. Anledningen till detta var främst för att studera vilken betydelse dessa har för den totala stomkostnaden. Kostnader för arbete och kran baseras på mätningar av tidsutnyttjande som gjordes i samband med frekvensstudiemätningarna. I vissa fall bygger informationen på intervjuer med ansvarig platsledning. I bilaga 6 redovisas de kostnadsposter som ligger till grund för beräkning av stomkostnaden.

Betongbanken är en kunskapsbank för platsgjutet byggande som innehåller en hel del information och data avseende stomkostnader för bl.a. flerbostadshus. Under åren 2006 och 2007 gjordes en uppdatering där stomkostnaden för genomförda flerbostadshusprojekt dokumenterades. Arbetet finns redovisat i rapporten ”*Uppdatering av tider och kostnader för Betongbanken*”, *Boverket (2007)*. Tre av dessa projekt bedömdes vara intressanta att inkludera i jämförelsen.

### 5.2.4 Beskrivning av stombyggnadsprocessen

Stommen i de båda husen uppförs parallellt med ett arbetslag som monterar och pågjuter plattbärlag samt ett arbetslag som formar och gjuter väggar. Arbetslagen förflyttas växelvis mellan byggnaderna. Produktionsmetoden är likartad för samtliga våningar för de båda husen. Tiden för bjälklagsarbeten på ett våningsplan är sju dagar.

---

<sup>2</sup> Kunskapsbank för platsgjutet stombyggande, [www.betongbanken.com](http://www.betongbanken.com).

Omloppstiden för ett våningsplan, d.v.s. väggar och bjälklag är således 14 dagar.

Vardera våningsplan i byggnaden innehåller sex väggetapper. En väggetapp, som består av 25-30 m vägg, formas och gjuts per dag. Dessutom tillkommer även en dag som ägnas åt att flytta över formarna till den andra byggnaden samt att förbereda inför formning och gjutning av väggarna på nästkommande våningsplan. Vid gjutning används självkompakterande betong vilket leder till att arbetsmomentet vibrering elimineras. Formsystemet som används för väggarna är luckformen Peri Trio<sup>3</sup> och bostadsformen Peri Housing<sup>4</sup>.

Bjälklagsarbeten inleds med montering av stämp och bockryggar. Därefter sker montering av plattbärlagen som lyfts direkt från lastbil till montagestället. Då plattbärlagen ligger på plats tätas elementskarvarna varpå skarvnät placeras ut. På vissa ställen placeras kompletterande underkantsarmering ut. Därefter påbörjas ventilations-, vs- och elarbeten. I takt med att installationsarbetena börjar bli klara påbörjas utläggning av överkantsarmering. Uppstickande järn från underliggande väggar bockas ner tillsammans med överkantsarmeringen. Återstående arbete innan pågjutning är att forma kring ursparningar och sätta upp avstängare. Själva pågjutningen av plattbärlaget sker med hjälp av pump.

Balkonger och stålpelare monteras efter att plattbärlagen monterats. Trappan monteras då väggar i trapphuset är färdiggjutna.

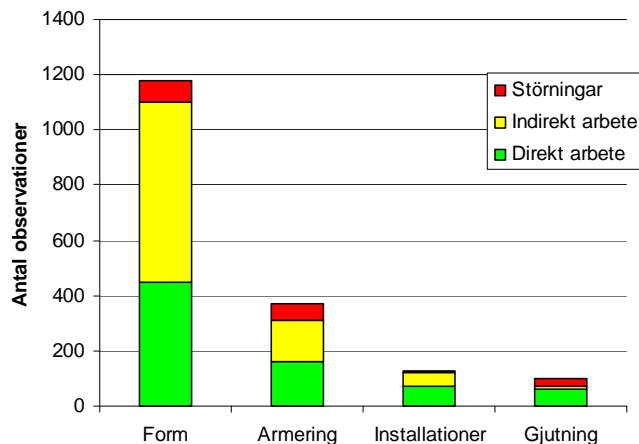
### **5.2.5 Tidsutnyttjande vid vägg- och bjälklagsarbeten**

Frekvensstudiemätningarna gjordes enbart för vägg- och bjälklagsarbeten. Montage av balkonger, stålpelare och trappor har således inte inkluderats i mätningarna.

Figur 21 visar en sammanställning av det totala antal observationer som gjordes för väggarbetena. Fördelningen mellan direkt och indirekt arbete samt störningar redovisas för aktiviteterna formning, armering, installationer respektive gjutning. Observationerna omfattar två och en halv väggcykler. Observationer av arbetet utfördes varannan minut.

---

<sup>3,4</sup> [www.peri.com](http://www.peri.com)



Figur 21: Tidsutnyttjande vid väggarbeten. Observationer av arbetet utfördes var annan minut.

Form avser all hantering och arbete med väggform, dvs. nedmontering, rengöring, inoljning, montering av de båda formsidorna samt montering av avstängare och slitsar. Det direkta arbetet utgör 38% av den totala tiden och det indirekta arbetet 55%. Andelen störningar är endast 7%.

Armering av väggar avser montering och fixering av armeringsnät samt kompletterande armeringsstick. Av figuren så är fördelningen mellan direkt och indirekt arbete relativt jämn, 44% respektive 40%. Andelen störningar uppmättes till 16% av det totala arbetet.

Installationsarbete avser montering av eldosor samt dragnig av vp-rör. Av den totala arbetstiden utgörs 57% av direkt arbete och 41% av indirekt arbete. Andelen störningar är små, endast 2% av den totala tiden.

Gjutning av väggar avser gjutning av betong med hjälp av kran och bask samt avjämning av ytan för att underlätta montage av plattbärlag. Arbetet utförs av en betongarbetare. Det direkta arbetet uppgår till 62%, det indirekta arbetet till 8% och andelen störningar är 30%.

#### *Form (väggar)*

Det indirekta arbetet består främst av förberedande arbete (51%) och utrustningshantering (46%). Störningar i arbetet avser restid (53%) och stilleståndstid (36%).

#### *Armering*

Det indirekta arbetet består av förberedande arbete (50%) respektive utrustningshantering (29%). Störningar orsakas av stilleståndstid (44%) och restid (36%).



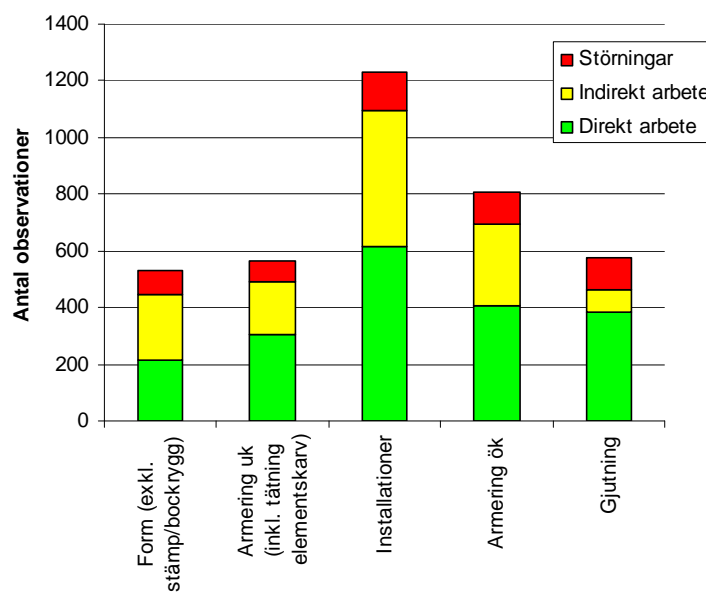
### Installationer

Det indirekta arbetet består till största delen av förberedande arbete i form av ritningsläsning och utsättning. Störningarna utgörs av ej schemalagd rast samt restid.

### Gjutning

Det indirekta arbetet består av förberedande arbete, utrustningshantering respektive materialhantering. Störningarna beror till största delen på stilleståndstid (87%) då betongarbetare väntar på att basken ska återfyllas med betong.

I figur 22 redovisas resultaten från observationer av bjälklagsarbeten.



Figur 22: Tidsutnyttjande vid bjälklagsarbeten. Observationer av arbetet utfördes var annan minut.

Form avser montering av plattbärlag samt formning kring trapphus och hisschakt. Montering av stämp och bockrygg var redan slutförd då mätningarna påbörjades och är således inte inkluderat i resultatet. Arbetet med plattbärlag och formning utgörs till 41% av direkt arbete respektive 43% av indirekt arbete. Andelen störningar utgör 16% av den totala tiden.

Armering underkant avser placering av skarvnät och kompletterande underkantsarmering. Här ingår även observationer av arbetet med att täta plattbärlagsskarvar. Andelen direkt arbete är 54%

av det totala arbetet, det indirekta arbetet är 33% och andelen störningar är 12%.

Installationer avser dragning av el-, vs och vent på plattbärlagen samt även arbete med vertikala genomföringar. Arbetet består till 50% av direkt arbete, 39% indirekt arbete samt 11% störningar.

Armering överkant avser arbete med utläggning och fixering av överkantsarmering samt nedbockning av uppstickande armering. Här ingår också observationer av arbete med att montera skyddsräcken.

Gjutning avser pågjutning av bjälklag med betongpump, vibrering och kontroll av gjuthöjd samt avjämning av ytan.

Som framgår av figuren förbrukar armerings- och installationsarbeten mest mantid. Det bör dock påpekas att om understödjande form hade ingått i mätningarna skulle denna vara en av de mest mantidskrävande av bjälklagsaktiviteterna.

#### *Form*

Det indirekta arbetet utgörs till största delen av förberedande arbete både vad gäller plattbärlag och formning kring trapphus och hisschakt. Hantering av plattbärlag resulterar även i en del utrustningshantering. Störningar orsakas av stilleståndstid vid lossning och lyft av plattbärlagselementen. Vid formning kring trapphus orsakas störningar av ej schemalagda raster och restid.

#### *Armering*

Det indirekta arbetet vid armering underkant utgörs till hälften av materialhantering, nästan en tredjedel av utrustningshantering och ca en femtedel av förberedande arbete. Störningar orsakas av restid och ej schemalagda raster.

Vid armering i överkant utgörs det indirekta arbetet av 57% förberedande arbete, 19% utrustningshantering och 17% materialhantering. Störningar orsakas av huvudsakligen av restid men också av ej schemalagda raster och stilleståndstid.

#### *Installationer*

Det indirekta arbetet utgörs till 75% av förberedande arbete och 17% materialhantering. Störningar orsakas av stilleståndstid (44%), restid (37%) och av ej schemalagda raster (19%).

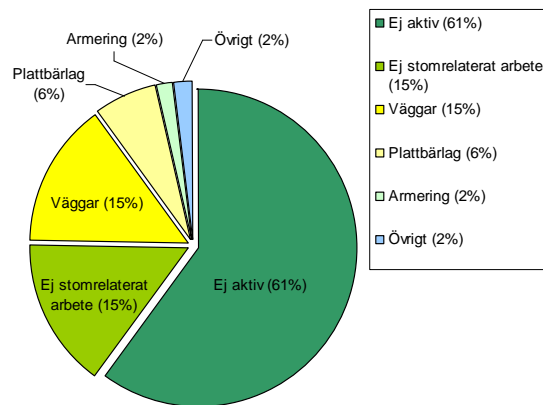
#### *Gjutning*

Det indirekta arbetet består av 83% förberedande arbete och resterande tid av utrustningshantering. Störningar som utgör en ansevärd del av den totala tiden orsakas till 90% av stilleståndstid på grund av väntan mellan betongleveranser.

### **5.2.6 Kranutnyttjande**

Figur 23 redovisar det totala antalet observationer av kranarbetet under mätperioden vilket omfattade en bjälklagscykel (exkl.

understödjande) samt två och en halv väggcykler. Kranens arbete registrerades var annan minut. Som framgår av figuren står kranen stilla två tredjedelar under observationsperioden vilket även tidigare fallstudie påvisade. Kranen utnyttjas för stomrelaterade arbeten sammanlagt 25%. Övrig tid används kranen till att assistera icke stomrelaterade arbeten. Av de stomrelaterade arbetena är det väggar som förbrukar mest kran tid. Vid bjälklagsarbeten är det montering av plattbärlag som nyttjar kranen mest (6% av total observerad tid).



*Figur 23: Krananvändning i projektet. Observationer av kranarbetet utfördes var annan minut.*

### 5.2.7 Stomkostnad och nyckeltal

I tabell 15 redovisas stomkostnaden för studerat projekt. Kostnaden är redovisad med och utan kostnad för ingjutna installationer samt krankostnad. De ingående kostnadsposterna finns redovisat i bilaga 6. Av den totala stomkostnaden utgör betong, form och förtillverkade element de dominerade kostnadsposterna. Vidare kan också konstateras att vid armering och installationsdragning är arbetskostnaden nästan lika stor som materialkostnaden. Kostnader för efterlagning är inte medräknat eftersom dessa uppgifter inte var möjliga att få fram.

*Tabell 15: Stomkostnad redovisad med respektive utan kostnad för ingjutna installationer och krankostnad.*

	SEK/m <sup>2</sup> bjälklagsarea
Stomkostnad (inkl. installationer och kran)	1 591
Stomkostnad (exkl. installationer och kran)	1 353

I tabell 16 redovisas aktuellt projekt (flerbostadshus Lund) med tre andra flerbostadshusprojekt med platsgjuten betongstomme som har dokumenterats av Betongbanken. Projekten är indexkorrigerade för att eliminera skillnader i olika prisnivåer eftersom projekten är uppförda vid olika tidpunkter. Som framgår av tabellen har projektet flerbostadshus Lund lägst stomkostnad räknat per kvadratmeter bjälklagsyta exklusive installationer och arbetsplatsomkostnader. Det bör dock understrykas att kostnad för efterlagning inte är medräknad för Lund (vilket finns med i övriga projekt). Kostnaden för efterlagning i övriga tre projekt varierar mellan 42-66 kr/m<sup>2</sup> bjälklagsarea.

Flerbostadshus Karlstad var det av Betongbankens projekt som bedömdes vara mest likartat projektet i Lund.

*Tabell 16: Jämförelse av stomkostnad mellan studerat projekt och tre platsgjutna projekt uppföljda av Betongbanken under 2007.*

Stomkostnad (exkl. installationer och APO)	SEK/m <sup>2</sup> bjälklagsarea
Flerbostadshus Lund (studerat projekt)	1 353*
Flerbostadshus Ängelholm	1 657
Flerbostadshus Stockholm	1 372
Flerbostadshus Karlstad	1 458

\* Kostnad för efterlagning är inte inkluderat.

I tabell 17 redovisas motsvarande stomarbetstid uttryckt som mantimme per bjälklagsarea. Notera att arbete för efterlagning inte är inkluderat i flerbostadshus Lund. En analys av övriga tre projekt visar att arbetstiden för denna aktivitet varierar mellan 0,10-0,22 timmar/m<sup>2</sup> bjälklagsarea. För flerbostadshus Karlstad var tidsåtgången för efterlagning 0,17 timmar/m<sup>2</sup> bjälklagsyta.

*Tabell 17: Jämförelse av stomarbetstid mellan studerat projekt och tre platsgjutna projekt uppföljda av Betongbanken under 2007.*

	Stomarbetstid (tim)/m <sup>2</sup> bjlkarea
Flerbostadshus Lund (studerat projekt)	0.7*
Flerbostadshus Malmö	1.3
Flerbostadshus Ängelholm	1.7
Flerbostadshus Stockholm	0.9
Flerbostadshus Karlstad	1.1

\* exkl. tid för efterlagning

## 6. Simulering av stombyggnadsprocessen

*Detta kapitel beskriver en ny metod för att analysera och identifiera effektiviseringsmöjligheter i stombyggnadsprocessen. Metoden bygger på att utnyttja etablerad teknik inom processimulering.*

### 6.1 Introduktion

Simulering har inom industriell tillverkning blivit ett allt viktigare verktyg för att optimera och utveckla tillverkningssystem. Idag används tekniken inom en rad tillverkande industriföretag för att analysera och optimera sina processer. Även inom byggsektorn har tekniken använts sedan början av 1970-talet av forskare i bl.a. USA som hjälpmedel för analys och optimering av olika delar av byggprocessen. Tekniken har dock ännu inte fått någon bredare spridning inom byggindustrin, främst på grund av avsaknad av kommersiellt tillgängliga och användarvänliga simuleringsverktyg. Under senare tid har dock utvecklingen inom detta område gått framåt avsevärt och nu finns det ett antal kommersiellt tillgängliga program som är mera användarvänliga. Detta öppnar upp för att en bredare målgrupp ska kunna utnyttja potentialen i tekniken utan att inneha en fördjupad kunskap av simulering.

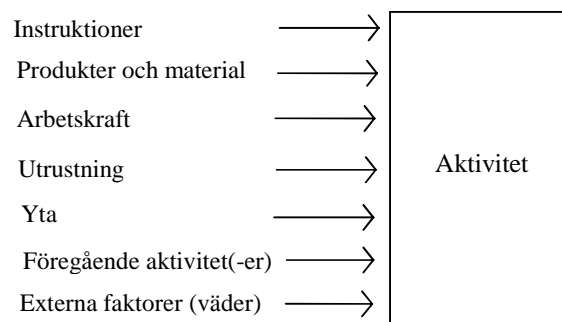
Med simulering avses att beteendet hos en verklig process eller ett system studeras över tiden med hjälp av numerisk datorsimulering. Simulering handlar i praktiken om att bygga en modell som beskriver en verklig process eller ett system och låta denna imitera verkligheten för att t ex studera hur det modellerade systemet eller processen reagerar på olika förändringar. Simulering kan bland annat användas för följande syften;

- Öka kunskapen om hur ett system och dess ingående komponenter fungerar och hur de förväntas reagera på olika typer av förändringar
- Identifiera trånga sektorer och kritiska resurser i ett produktionssystem eller i en process
- Optimering av lager, resurser, flöden i ett produktionssystem

Det finns naturligtvis vissa begränsningar med simulering. Man ska komma ihåg att en simuleringsmodell är en förenkling av verkligheten och brist på relevanta indata eller bristfällig kvalitet i tillgänglig data minskar värdet av att utföra en simulering.

## 6.2 Varför simulering?

Planering av produktionsaktiviteter i byggandet är alltid förenat med en viss osäkerhet. Det kan gälla allt från att material inte levereras i tid eller på externa faktorer såsom dåligt väder eller att kranen går sönder. Byggrelaterade arbeten karakteriseras ofta av att en rad olika resursflöden sammanstrålar och tillsammans skapas ett produktionsresultat, t ex en färdig vägg eller ett bjälklag. Enligt *Koskela (1999)* finns det åtminstone sju olika resursflöden (eller villkor) som tillsammans möjliggör start av en aktivitet som resulterar i ett produktionsresultat, se figur 24.



*Figur 24: Sju resursflöden som påverkar en aktivitet (Koskela, 1999).*

Varje resursflöde har sin egen variabilitet vilket inverkar på aktivitetens startvillkor. Som exempel är det inte ovanligt att konstruktionsritningar (instruktioner) saknas vid tidpunkten då arbetet är planerat att starta eller att externa väderförhållanden påverkar villkoren för en viss aktivitet vilket skapar variabilitet och osäkerheter i aktiviteter som sedan fortplantas i processen. Denna

osäkerhet måste hanteras i planeringen av arbetet och upprättande av stomtidsplanen. Ett problem med dagens planering är att alltför lite tid ägnas åt att kritiskt granska nuvarande process och på vilket sätt arbetet genomförs. Vidare används empiriska data i stor utsträckning som är starkt präglad av etablerad praxis vilket gör det svårt att tänka i andra banor.

De planeringsverktyg som används saknar dessutom stöd för att mera realistiskt utvärdera genomförbarheten av olika metodval utifrån ett resursperspektiv. Verktygen förutsätter att processen är stabil och att nödvändiga resurser alltid finns tillgängliga vid tidpunkten då en aktivitet är planerad att starta. Verkligheten är dock inte så enkel där varken processen är stabil eller att alla resurser alltid finns tillgängliga, detta är ju t ex en direkt orsak till att variation i processen uppstår. Detta gäller även för det platsgjutna stombyggandet där en stor utmaning ligger i att planera och samordna arbetskraft, material och utrustning till rätt plats i rätt mängd vid rätt tillfälle så att arbetet inte stoppas upp. Av de fallstudier som genomförts inom detta projekt visar dock att produktionen omfattas av störningar, främst i form av väntetid som uppkommer på grund av att någon typ av resurs saknas då ett visst arbete ska utföras, se figurer 17-18 respektive 21-22.

Genom att använda simulering kan komplexa samband som t ex de mellan aktiviteter och resursflöden modelleras och analyseras. Detta gör det möjligt att öka kunskapen kring hur ett system fungerar då olika parametrar ändras. Kunskapen om hur stomdriften påverkas av resursflöden och dess inneboende variabilitet är ett viktigt underlag för att identifiera problemområden och föreslå åtgärder. Nya idéer och metoder kan dessutom testas och optimeras i en kontrollerad miljö innan de testas och implementeras i verkligheten.

Det bör påpekas att simulering ska ses som ett komplement till befintliga planeringsmetoder och de hjälpmedel som finns för 4D-visualisering (3D med tiden som den fjärde dimensionen). Simulering är lämplig för att designa nya processer och för optimering av dessa medan visualiseringsteknik (4D) är ett utmärkt hjälpmedel för att åskådliggöra processen så att alla involverade aktörer kan förstå och sedan utföra rätt saker på rätt sätt vid rätt tidpunkt.

### **6.3 Internationella erfarenheter**

Inom byggsektorn har simulering använts av forskare sedan början av 1970-talet, *Halpin (1977)*. Att använda simulering som metod för att utvärdera och förbättra processer inom bygg är alltså inget nytt. Tekniken är också nära förknippad med Lean-filosofin och det finns idag en grupp personer som använder simulering för att påvisa potentialen av att applicera Lean-tekniker i byggprocessen,



*Tommelein (1997), Alves et al. (2006) och Srisuwanrat & Ioannou (2007)*. Från början var fokus inom anläggningssektorn där man simulerade större schaktningsoperationer i syfte att optimera och dimensionera kapaciteten hos ingående resurser, t ex schaktmaskiner och lastbilar, *Halpin (1997)*. Även betonghanteringsprocessen är exempel där simulering använts för att studera hur variationer i tillverkning, transport och utläggning av fabriksbetong påverkade den totala kapaciteten, *Zayed & Halpin (2000) och Wang & Halpin (2004)*.

#### **6.4 Modell för simulering av platsgjutet stombyggnad**

I projektet har en modell utvecklats i syfte att simulera de stomrelaterade arbeten som utförs på arbetsplatsen och användning av resurser för detta. Modellen simulerar hur de olika stomaktiviteterna och hur deras användning av olika resurser (arbetskraft, utrustning och material) påverkar tiden och kostnaden för att producera hela stommen. Modellen har utvecklats genom att studera stombyggnadsprocessen i fyra pågående flerbostadshusprojekt. Modellen hanterar i dagsläget den idag vanligaste metoden för platsgjutna stommar vilken bygger på platsgjutna väggar och plattbärlag. Kärnan i modellen består av en beskrivning (processmodell) av alla ingående stomaktiviteter och hur dessa använder sig av olika typer av resurser. Processmodellen för de fyra projekten redovisas i figur 25.

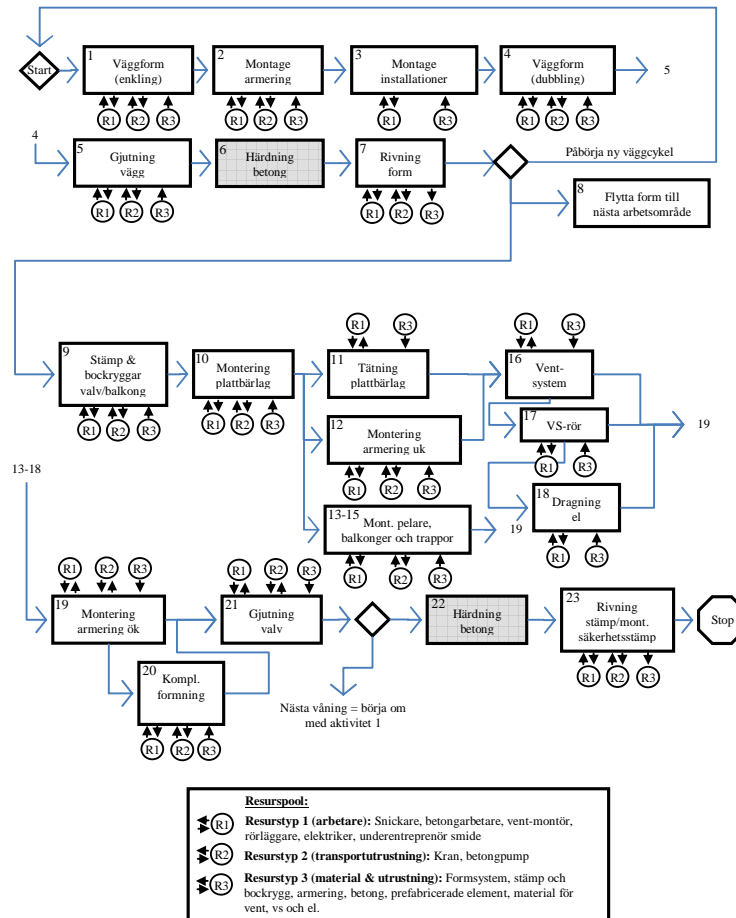
Aktiviteterna 1 till 23 beskriver en komplett cykel för en valvetapp. Varje valvetapp består av en eller flera väggcykler. Om valvet i byggnaden delas upp i flera gjutetapper (t ex vid flera trapphus) beskriver processmodellen arbetsflödet i en av dessa etapper. Genom att koppla samman flera processmodeller kan valv med flera gjutetapper simuleras.

Simuleringen startar med aktivitet 1 och stoppar då den sista valvetappen på den översta våningen är klart. Alla resurser är kopplade till en funktion som tidsmässigt reglerar arbetstider, raster mm. Detta innebär att arbetet i modellen startar kl. 07:00 och avslutas kl. 16:00 med ytterligare avbrott för raster. Simuleringsklockan fortsätter dock ticka fastän resurserna vilar eftersom andra moment som t ex härdning av betong fortsätter under natten. Nästa dag kl. 07:00 aktiveras resurserna på nytt och arbetet fortsätter.

Simulering av två stycken sexvåningshus som drivs upp parallellt tar endast några sekunder att utföra.

Det är också möjligt att styra när en aktivitet ska starta i förhållande till en föregående aktivitet. Exempelvis, kan armering (aktivitet nr 2 i figur 25) av vägg påbörjas då halva arbetet med montering av enkling genomförts. I modellen antas flytt av form till nästa montageställ samt rengöring och oljning ingå i aktivitet 7.

Efterlagning väggar samt eventuell efterbearbetning av bjälklag saknas i modellen.



Figur 25: Processmodellen utgör kärnan i simuleringsmodellen.

Resurspoolen i modellen (figur 25) hanterar hur många resurser det finns av en viss typ vid en given tidpunkt under simuleringens gång. Det finns tre olika resurstyper som hanterar arbetare, kranar och utrustning samt material. När en aktivitet står i tur att starta skickas en förfrågan till resurspoolen om önskat antal resurser (arbetare, kran, material, utrustning). Om önskat antal resurser finns tillgängliga i poolen allokeras dessa till aktiviteten som då kan starta. När aktiviteten är slutförd skickas de resurser som inte förbrukas tillbaka till resurspoolen och de blir då tillgängliga för andra aktiviteter. För varje aktivitet definieras resursflöden som utgör villkor för att aktiviteten ska kunna utföras (jämför med figur 24).

Exempelvis innehåller modellen följande villkor för montering av plattbärlag på en godtycklig våning;

Villkor nr:	
1	Stämp och bockryggar är monterade
2	Erforderligt antal yrkesarbetare (tex betongarbetare) är tillgängliga
3	Lyftkran är tillgänglig
4	Erforderlig mängd plattbärlag är levererade
5	Rådande väderlek tillåter montagearbete

Alla dessa villkor måste vara uppfyllda samtidigt för att montering av plattbärlag ska kunna påbörjas. Om så inte är fallet uppstår väntetid i modellen på samma sätt som kan observeras i verkligheten.

### 6.5 Indata och resultat

Simuleringsmodellen kräver indata som används i dagens produktionsplanering. Indata består av två delar, den ena behandlar övergripande information medan den andra behandlar aktivitetsspecifik information. Den övergripande informationen omfattar;

- Antal våningar och antal väggetapper per valvetapp
- Antal tillgängliga resurser under stombyggnadsskedet (arbetare, formsystem, kranar)
- Arbetstid för arbetare
- Formrivningstider för väggar och valv
- Kostnad per resurs (kan anges antingen per tidsenhet eller per mängdenhet)

Den aktivitetsspecifika informationen omfattar;

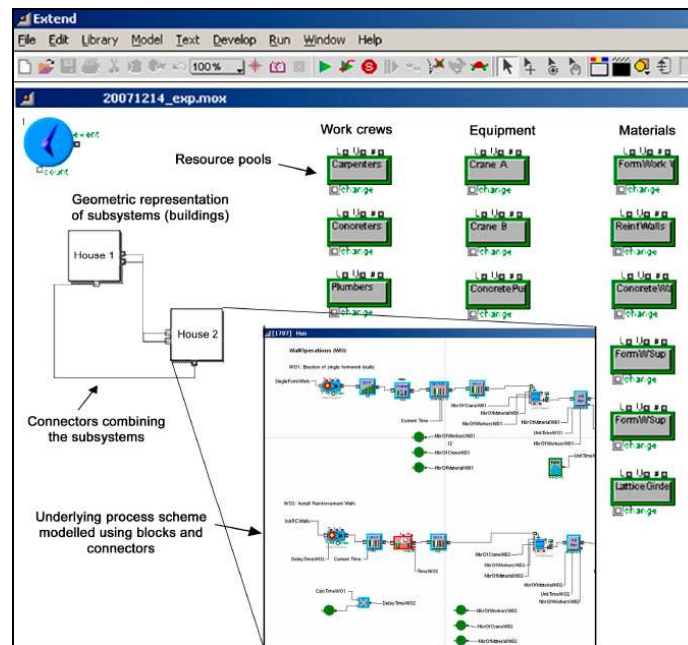
- Mängd arbete per aktivitet och etapp
- Antal och typ av resurser nödvändiga för att utföra en aktivitet
- Enhetstid för aktivitet uttryckt som mantimme per enhet. Enhetstiden kan antingen anges som ett fixt värde eller med en osäkerhet enligt en särskild statistisk fördelning.

Resultatet av en simulering är total stomtid men även start och sluttider för varje aktivitet för respektive våning och hus kan fås. Kostnader för använda resurser beräknas också baserat på den slutliga simuleringstiden. Utöver detta beräknas även resursutnyttjandet för arbetare, kranar etc. Simuleringen redovisar även väntetider för aktiviteter orsakade av brist på nödvändiga

resurser. Resursutnyttjande tillsammans med väntetider är användbart för att identifiera flaskhalsar i processen.

## 6.6 Implementering i simuleringsprogram

Simuleringsmodellen har implementerats i Extend<sup>5</sup> som är ett kommersiellt tillgängligt simuleringsprogram. Det finns idag ett stort antal simuleringsprogram på marknaden. Skillnaderna mellan programmen är ofta i vilken utsträckning de har stöd för animering och möjlighet att grafiskt presentera modellen. Anledningen till att Extend valdes var dels en relativt låg licenskostnad dels ett grafiskt användargränssnitt och en programstruktur som gör det möjligt att hantera stora och komplexa modeller. Programmet är främst utvecklat med inriktning på simulering av industriella system och processer. Efter en första utvärdering gjordes dock bedömningen att det är fullt möjligt att även använda programmet för simulering av byggprocesser. I figur 26 visas simuleringsmodellen för projektet som beskrivits i fallstudie B.



Figur 26: Modell av projekt 4 (fallstudie B) implementerad i simuleringsprogrammet Extend.

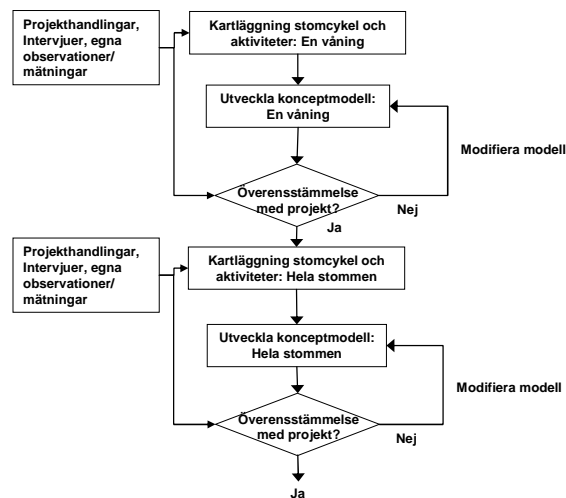
<sup>5</sup> www.extendsim.com

Modellen innehåller två byggnader som var och en innehåller processmodellen enligt figur 25. Blocken i figuren representerar resurspooler (resource pools i figuren) och tillhandahåller olika typer av resurser till modellen, exempelvis snickare, betongarbetare, kranar, plattbärlag och armering osv.

### 6.7 Verifiering av modell

Som tidigare nämnts har modellen utvecklats och verifierats genom att studera stombyggnadsprocessen i fyra olika projekt. Modellutveckling och verifiering har således genomförts iterativt under en längre period. De två första projekten vilka studerades under första delen av 2007 utgjorde bas för att utveckla en första version av modellen. Fallstudie A och B beskrivna i tidigare avsnitt användes också för att ytterligare verifiera och förfinas modellen.

Aktuella uppgifter från projektet gällande bemanning för stommen, använda metoder samt uppgifter om tidsåtgång och kostnader matades in i modellen. Hela stomdriften simulerades och simulerade ledtider, omloppstider och den totala tiden samt resulterande kostnader jämfördes med de uppgifter som erhållits från studerade projekt. Vidare gjordes ändringar i förutsättningar för att kontrollera att modellen reagerar så som kan förväntas. I figur 27 visas en principiell arbetsgång vid utveckling och verifiering av modellen.



Figur 27: Principiell arbetsgång vid utveckling och verifiering av modellen.

## 6.8 Exempel på användning

För fallstudie B (beskrivet i tidigare avsnitt) gjordes en enkel parameterstudie där tre alternativa produktionsstrategier studerades med avseende på total stomtids och kostnad. Den produktionsstrategi som faktiskt användes i projektet betecknas med P0 och de tre alternativa produktionsstrategierna betecknas P1-P3.

Produktionsupplägget för P0 finns redovisat i tidigare avsnitt. I produktionsalternativ P1 reducerades antalet väggcykler per våning från sex till fyra. Ytterligare en snickare och en betongarbetare tillfördes väggarbeten för att hantera den ökade arbetsbelastningen per väggcykel. Även formmängden ökades för att kunna gjuta mer vägg per dag. För produktionsalternativ två (P2) behölls ändringarna från P1 men ytterligare en rörläggare, en elektriker respektive en betongarbetare tillfördes modellen för arbete med installationer respektive armering av bjälklaget. I P3 var förutsättningarna identiska med P0 dock med undantaget att en större kran användes istället för två mindre för att assistera stombyggnadsarbetena i de två byggnaderna.

I tabell 18 redovisas resultatet från simuleringarna. Av tabellen framgår att både P1 och P2 minskar den totala tiden med 4 respektive 14%. Kostnaden ökar däremot med 6,5% respektive 6,8%. Som framgår av resultatet så medför inte vidtagna åtgärder i P1 någon större reduktion av den totala tiden. Detta beror på att väggarbeten och bjälklagsarbeten hamnar i otakt. I P2 förbättras situationen något då ledtiden för bjälklaget reduceras och en större reduktion av den totala tiden erhålls, dock till en högre kostnad. Av experimentet framgår också att alternativet att använda enbart en kran i just detta projekt förlängde den totala tiden och ökade kostnaden. Simuleringen visar på att kranen är en viktig resurs som har en stor betydelse för stomdriften. För att både reducera den totala tiden och samtidigt minska kostnaden, behöver andra strategier studeras som inte bygger på att tillföra mer resurser utan snarare hur befintliga kan utnyttjas smartare.

*Tabell 18: Simulerad total stombyggnadstid och kostnad för olika produktionsalternativ (normaliserade värden).*

	<b>P0</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>
Total tid (normaliserad)	1.0	0.96	0.86	1.15
Total kostnad (normaliserad)	1.0	1.065	1.068	1.13

## 6.9 Användning av modellen för produktionsanalys

För att dels validera modellen samt diskutera intressanta tillämpningar arrangerades i februari 2008 en workshop för projektets referensgrupp där dessa frågor diskuterades. Deltagarna i workshopen representerade en gedigen kunskap om inom flera olika områden med koppling till platsgjutet stombyggnade. Nedan ges ett antal områden som nämndes vara intressant. Författaren är väl medveten om att vissa av förslagen kan vara svåra att realisera i praktiken. Exempelen omfattar både tekniska innovationer och organisatoriska förändringar. Syftet med exemplen är att visa på vilka möjligheter som finns. Tillämpningsområdena presenteras utan någon inbördes rangordning. Det bör dock poängteras att exemplen nedan kräver mer eller mindre arbete för att realisera dessa i modellen. Beteckningen "VAR" anger de parametrar som kan vara intressanta att variera i simuleringsexperimenten.

### *Tillämpning 1: Användning av resurser*

Studera vilken betydelse olika principer för allokering av resurser till stomaktiviteter har på kostnad, tid och resursutnyttjande. En utgångspunkt för denna studie är principen om att utjämna och balansera aktiviteter enligt industriella synsätt.

VAR: Totalt antal yrkesarbetare, allokering av arbetare per aktivitet, tidsbuffertar i processen.

### *Tillämpning 2: Gjutetappsindelning*

Studera hur indelning och storleken på gjutetapper av väggar och valv påverkar den totala tiden och kostnad samt resursutnyttjandet.

VAR: Storlek gjutetapp, formparkens storlek, användning av yrkesarbetare.

### *Tillämpning 3: Formsysteem*

Använda simuleringsmodellen för att jämföra olika metodval gällande formsystem, t ex väggform och plattbärlag versus skalväggar och plattbärlag.

VAR: Två separata processmodeller.

### *Tillämpning 4: Installationer*

Simulera alternativa lösningar för installationer, t ex ökad prefabriceringsgrad som t ex prefabricerade våtrumsmoduler eller installationsväggar. Vilken effekt får detta på processen i övrigt?

VAR: Två separata processmodeller.

### *Tillämpning 5: Yrkesarbetarnas erfarenhet*

Studera inverkan av olika inlärningskurvor för yrkesarbetare och för ett visst moment.

VAR: Inkörningskurva som funktion av enhetstid, antal simuleringar 100/500/1000 etc.

*Tillämpning 6: Multidisciplinära arbetslag*

Studera effekten av att ha arbetslag som är multidisciplinära, dvs som kan utföra flera typer av arbeten. Exempelvis att en yrkesgrupp både kan sätta form, armera och gjuta samt vissa enkla montage av installationer. En annan indelning kan vara en installatör som behärskar både vs, vent och el.

VAR: Ansvarsgränser mellan olika yrkeskategorier.

*Tillämpning 7: Arbetstidens utnyttjande*

Här avses att studera betydelsen av att införa två-skift jämfört med traditionell arbetstid. Vidare kan betydelsen på processen av att vissa störande moment planeras till efter ordinarie arbetstid, t ex inlyft av material osv.

VAR: Arbetstid.

*Tillämpning 8: Väderförhållanden*

Studera inverkan som klimatet har på vissa stomarbeten. Exempelvis påverkas vissa arbetsmoment mer eller mindre av kyla, regn och vind. Ett stort antal simuleringar kan utföras för en viss klimatperiod för att få fram statistiska data.

VAR: Klimatdata, antal simuleringar.

*Tillämpning 9: Materialleveranser*

Studera inverkan av materialflöde och buffertlager på stombyggnadsprocessen. Hur många buffertlager behövs för att inte processen ska avstanna på grund av brist på material eller komponenter? Hur påverkas behovet av buffertkapacitet av materialleveransernas ledtider och leveransfrekvens?

VAR: Ledtid (inkl. variabilitet), leveransfrekvens, leveransstorlek, lagerstorlek, stomcykeltid.

*Tillämpning 10: Processvariabilitet*

Stokastisk simulering av processen genom att använda olika statistiska fördelningar för att beskriva aktiviteters varaktighet.

VAR: Variabla enhetstider (olika fördelningar mm), antal simuleringar 100/500/1000.

*Tillämpning 11: Utrymmesbehov*

Studera betydelsen av att utrymmet i byggnaden är en begränsande resurs. Detta påverkar i första hand hur många resurser som kan samsas om en gemensam yta utan att produktionstakten påverkas.

VAR: Utrymmesbehovet för olika typer av arbeten.



## 7. Sammanfattning och slutsatser

### 7.1 Intervjuundersökning av användning av metoder och teknik

Användning av metoder och teknik för att producera platsgjutna stommar har undersökts genom att intervjua platschefer ansvariga för bl.a. stomdriften i pågående projekt. Totalt intervjuades 38 platschefer vilka representerade stora och små byggföretag belägna runt om i landet.

Undersökningen har gett en relativt tydlig bild över dagens situation gällande användning av metoder och teknik för platsgjuten stombyggnad.

Systemform är den formtyp som används mest frekvent för väggar. Fortfarande förekommer traditionell lösvirkesform. Denna utgör dock mera ett komplement till systemformar vid trånga utrymmen och vid kompletterande tätningar. Skalväggar användes i ungefär 10% av de studerade projekten. Slakarmerade plattbärlag är den formtyp som används mest för bjälklag.

De armeringsmetoder som används är en mix av lösjärn, inläggningsfärdig armering och nät. Användningen av nät är störst för väggar medan variationen av armeringsmetod är större för bjälklag. Användning av lösjärn som klipps och bockas på arbetsplatsen användes i 40% av studerade projekt.

Självkompakterande betong användes i drygt vart sjätte projekt både för väggar och bjälklag. Betong med hållfasthetsklass C25/30 var vanligast både för väggar och bjälklag. I cirka 10% av fallen användes betong för valvgjutning med hållfasthetsklass C40/50 eller C45/55. Pumpning av betong var den vanligaste förekommande metoden för bjälklag och för väggar var gjutning med kran och bask vanligast.

Den vanligast förekommande principen för placering av installationer är att gjuta in horisontella ledningar och rör i bjälklaget

och att utnyttja schakt för de vertikala kanaler och ledningar. Ingjutna system är en effektiv lösning ur utrymmessynpunkt men sämre ur flexibilitetssynpunkt, speciellt vid framtida behov av förändring och reparation. Prefabriceringsgraden av installationer är relativt liten. I stort sett är det bara avloppsgrador där en viss förtillverkning tillämpas.

Undersökningen visade också på en stor variation i hur projekten planerades och framförallt vilka aspekter som ansågs vara viktiga.

Yrkesarbetarnas erfarenhet är en faktor som troligen är viktig för produktiviteten i det arbete som utförs. I 53% av studerade projekt hade minst hälften av alla yrkesarbetare erfarenhet av platsgjutet stombyggande från mer än fem tidigare projekt. I 18% av fallen hade minst hälften av alla yrkesarbetare ingen eller liten erfarenhet från tidigare projekt. Vilken betydelse detta har för produktiviteten har inte framgått av undersökningen.

De arbetsmoment som platscheferna ansåg ha genomgått störst produktivitetsförbättring var armering och installationsarbete av väggar samt formsättning och gjutning av bjälklag. Skillnaden jämfört med andra ingående arbetsmoment för väggar och bjälklag är dock relativt liten.

Platscheferna har generellt en positiv tilltro till olika tekniska innovationer för platsgjutet stombyggande. Störst tilltro har man till plattbärlag vilket också speglas av den höga användningen. Intressant är dock att även självkompakterande betong, väderskydd och skalväggar får högt betyg fastän dessa inte används i någon större utsträckning. De skäl som anses utgöra hinder för en ökad användning av tekniska innovationer är till största delen ekonomiska eller tekniska.

Eftersom undersökningen bygger på frågor kring ett aktuellt pågående projekt får undersökningens validitet anses vara hög. Det är dock viktigt att poängtera att flera av frågorna handlar om personliga uppfattningar och åsikter vilket måste beaktas vid vidare analys av resultaten.

## **7.2 Fallstudier**

En detaljerad uppföljning av effektiviteten i olika stomrelaterade arbeten har utförts i två olika fallstudier, A och B. Andelen direkt och indirekt arbete samt inslag av störningar har uppmätts i de båda projekten.

Andelen uppmätta störningar var totalt sett högre i fallstudie A jämfört med B. Den vanligaste typen av störning som observerades i de båda fallen var stillestånd vilken orsakas av väntan på material eller utrustning eller av att andra arbeten ska slutföras. Den näst vanligaste typen av störning som uppmättes var förflyttning av arbetare där varken material eller utrustning transporterades. I

fallstudie B uppmättes också en högre andel direkt arbete jämfört med fallstudie A. Andelen indirekt arbete var däremot likartad. Jämfört med andra liknande mätningar, t ex *Josephson och Saukkoriipi (2005)*, var dock andelen störningar för de båda fallstudierna något lägre.

Installationsarbeten på bjälklaget uppvisar få störningar. Däremot är aktiviteten tidskrävande och upptar en ansevärd andel av den totala ledtiden för valvet. För bjälklaget har montage av plattbärlag och gjutning störst inslag av störningar. Dessa störningar består till största del av väntetid som uppkommer vid lossning av element och mellan betongleveranser. Armering och form uppvisade störst olikheter mellan de båda fallstudierna. I fallstudie B var armeringsarbetet mera omfattande jämfört med i fallstudie A. Vad det gäller form så ingår inte arbete med montage av stämp och bockryggar i fallstudie B vilket måste beaktas vid jämförelse med fallstudie A. Vidare ingår tätning av plattbärlag i armering underkant i fallstudie B.

För väggar är det tydligt att hantering av gjutform är den aktivitet som upptar mest tid. I båda fallen är andelen indirekt arbete stor medan andelen störningar varierar stort. Här kan det finnas anledning att studera om detta kan göras på ett bättre sätt.

För att uppnå en effektivisering som leder till en förkortad stomtid totalt sett krävs att vägg- och bjälklagsarbeten beaktas samtidigt så att inte dessa arbeten hamnar i otakt. Detta gäller speciellt då stommen drivs i parallella etapper. Det är också viktigt att övriga aktiviteter såsom inlyft av stomkompletterande material samt materialleveranser anpassas till stommens cykeltid (taktid).

Mätningar av valvgjutning och betongleveranser visar på att fastän denna process anses vara väl intrimmad så uppstår onödigt mycket störningar i form av väntetid på grund av att gjutningsarbete och leveranser inte är tillräckligt synkroniserade. Kartläggning av betongtillverkarens tillverknings- och leveranskapacitet visade i detta fall inte utgöra någon begränsning för tätare leveranser. Här styrdes upplägget av betongarbetarnas önskemål. Man kan också fundera kring möjligheten att gjuta under en större del av dagen än vad som görs i dagsläget.

Frekvensstudiemätningarna har också visat på ett lågt kranutnyttjande. En mer detaljerad planering av aktiviteter och lyftbehov skulle kunna öka kranutnyttjandet och även minska väntetider i arbetet.

Det bör påpekas att direkta jämförelser mellan de båda projekten bör göras med försiktighet eftersom mätresultaten i de båda fallen innehåller olika grad av inkörningseffekter. Mätningarna utfördes dessutom vid olika tidpunkter vilket också kan påverka utfallet av mätningarna.

Fallstudierna har belyst vikten av att göra kontinuerliga mätningar av tidsutnyttjande och att även kartlägga värdeflöden för att på så vis få en mera objektiv bild över vilka delar som har störst inslag av störningar etc. En standardisering av hur olika arbeten ska klassificeras vore en fördel för att förenkla jämförelser mellan olika mätningar.

### 7.3 Simulering

I projektet har en simuleringsmodell utvecklats och testats. Syftet med modellen är att studera hur val av arbetare, material och utrustning påverkar stommens byggtid och kostnad. Modellen kan även användas för att identifiera flaskhalsar i flödet av aktiviteter samt kritiska resurser. Modellen har utvecklats och testats iterativt i sammanlagt fyra pågående projekt. Erfarenheterna från arbetet visar att tekniken är fullt applicerbar för att mer systematiskt analysera stombyggnadsprocessen och vara ett underlag för olika val av byggsystem med tillhörande arbetsmetoder och resurser.

Erfarenheterna visar också på att en viktig poäng med simulering är att processen först måste beskrivas i detalj. Detta innebär att processen blir möjlig att analysera systematiskt. Dessutom skapas bättre förutsättningar för identifiering av brister och problem. Detta är en viktig förutsättning för att kunna vidareutveckla och förbättra processen på sikt.

Ett antal intressanta tillämpningsområden för simulering har identifierats:

- Användning av resurser
- Gjutetappsindelning
- Formsystem
- Installationer
- Yrkesarbetarnas erfarenhet
- Multidisciplinära arbetslag
- Arbetstidens utnyttjande
- Väderförhållanden
- Materialleveranser
- Processvariabilitet
- Utrymmesbehov

Vissa av dessa kräver dock anpassning av nuvarande modell. I det vidare arbetet kommer fokus vara på att gå vidare med några av dessa tillämpningar i syfte att påvisa effektiviseringspotential för det platsgjutna byggandet.

#### 7.4 Återkoppling till projektmålen

Projektets mål har varit att;

1. sammanställa nuläget beträffande produktion av platsbyggda betongstommar,
2. utveckla en metod baserad på simuleringsteknik för att analysera stombyggnadsprocessen och möjlig effektiviseringspotential,
3. sprida framtagen kunskap till berörda aktörer.

I projektet har en bred kartläggning av nuvarande användning av teknik och produktionsmetoder för platsgjutet stombyggande genomförts. Dessutom har processen studerats ingående i två fallstudier där bl.a. tidsutnyttjandet i stomrelaterade arbeten har uppmätts. **Ovanstående arbeten uppfyller delmål 1.**

**Delmål 2 är också uppfyllt** eftersom projektet har utvecklat och testat en metod för att analytiskt simulera stombyggnadsprocessen som även, vilket har demonstrerats, kan användas för studera hur olika produktionsstrategier påverkar den totala effektiviteten i processen. Dessutom har elva tillämpningar identifierats där modellen kan användas för att hitta effektiviseringsmöjligheter för det platsgjutna stombyggandet.

**Det sista delmålet har uppfyllts** genom att delresultat från projektet löpande har redovisats dels internt inom projektgruppen dels externt via muntliga redovisningar i olika sammanhang. Arbetet har också resulterat i tre vetenskapliga artiklar, *Larsson (2008a, 2008b, 2008c)*. Föreliggande rapport kommer dessutom att utgöra basen för fortsatt spridning av resultatet.

# Referenser

- Alves, T.C.L, Tommelein, I.D. and Ballard, G. (2006) “*Simulation as a tool for production system design in construction*”, Proc. of IGLC-14, July 2006, Santiago, Chile.
- Andersson, R. & Larsson, R. (2007) “*Förstudie flerbostadshus 2005 - BICT*”, Gfk-rapport, Gfk group, Lund.
- Boverket (2007) “*Uppdatering av tider och kostnader för Betongbanken – fakta från fyra platsgjutna bostadsobjekt*”, Rapport Boverket ISBN: 978-91-85751-42-6, Augusti, 2007.
- Halpin, D.W. (1977) “*CYCLONE – method for modelling job site processes.*” Journal of the Construction Division, ASCE 103 (3), 489-499.
- Jenkins, J.L. & Orth, D.L. (2004) “*Productivity Improvement Through Work Sampling*”, Cost Engineering: Mars 2004.
- Josephson Per-Erik & Saukkoriipi Lasse. (2005) “*Slöseri i byggprojekt*”, Sveriges Byggindustrier, Göteborg.
- Koskela, L. (1999) “*Management of production in construction: A Theoretical view*”, Proceedings IGLC-7.
- Larsson, R. (2008a) “*Simulation of Construction Operations for the Erection of In-situ Cast Concrete Frameworks in Multifamily Buildings*”, Proceedings of Nordic Concrete Research 2008, June, Bålstad, Sweden.
- Larsson, R. (2008b) “*Simulation of construction operations applied to in situ concrete frameworks*”, Proceedings of IGLC-16, July, Manchester, UK.
- Larsson, R. (2008c) “*Erection of in-situ cast concrete frameworks – model development and simulation of construction activities*”,

- Proceedings of ECPPM, September 2008, Sofia Antopolis, France.
- Linden, F. & Wahlström, E. (2008) "*Uppföljning av tidsutnyttjande och byggkostnad för platsgjuten stombyggnad*", Rapport TVBK-5161, Konstruktionsteknik, Lunds Tekniska Högskola.
- Lundström, M. & Runquist, L. (2008) "*Utvärdering av produktionsmetod platsgjutet stombyggande – Tillämpning av värdeflödesanalys och activity sampling*", Rapport TVBK-5155, Konstruktionsteknik, Lunds Tekniska Högskola
- Rother, M & Shook, J. (2004) "*Lära sig se*", Svensk utgåva - Stiftelsen Plan utbildning, Sverige. Originalutgåva (1998) Learning to See – Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda, The Lean Enterprise Institute, USA.
- SOU (2002), "*Skärpning gubbar! Om konkurrensen, kvaliteten, kostnaderna och kompetensen i byggsektorn*", Rapport SOU 2002:115, Finansdepartementet, December 2002.
- Srisuwanrat, C. and Ioannou, P.G. (2007) "*The investigation of lead-time buffering under uncertainty using simulation and cost optimization.*" Proceedings IGLC-15, July 2007, Michigan, USA.
- Tommelein, I.D. (1997) "*Discrete-event Simulation of Lean Construction Processes*" Proceedings of IGLC-5, Gold Coast, Australia.
- Wang, S. and Halpin, D.W. (2004) "*Simulation experiment for improving construction process*" Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference, December, Washington D.C.
- Womack, James P. (2006) "*Value stream mapping*", Manufacturing Engineering: May 2006.
- Zayed, T.M. and Halpin, D.W. (2000) "*Simulation as a tool for resource management*", Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference, December, Orlando, Florida.

# Bilaga 1: Definitioner och begrepp

<i>Direkt arbete</i>	Det direkta arbetet är det arbete som tillför ett direkt värde åt den slutgiltiga produkten. Värdeskapande arbete likställs i denna med direkt arbete.
<i>Indirekt arbete</i>	Det indirekta arbetet är de arbeten som inte tillför något direkt värde, men som är nödvändigt för att det direkta arbetet ska kunna utföras.
<i>Platsgjuten stomme</i>	Betongen gjuts på arbetsplatsen. Däremot kan förtillverkning av form, armering och installationer förekomma. I begreppet inkluderas således plattbärlag och skalväggar.
<i>Simulering</i>	Simulering av processens ingående aktiviteter och de resurser som involveras.
<i>Stomme</i>	System av bärande element i en byggnad.
<i>Störningar</i>	Störningar är den typ av aktiviteter som inte gör någon nytta och som bör elimineras helt. I denna rapport likställs störningar med slöseri.
<i>Värdeflöde</i>	Alla aktiviteter som är nödvändiga för att skapa en produkt.
<i>Värdeflödesanalys</i>	Teknik för att kartlägga produktionsflödet och de steg som en produkt genomgår.



## Bilaga 2: Projektorganisation och finansierare

Projektet har bestått av projektgrupp, en styrgrupp och en referensgrupp. Projektgruppens uppgift har varit att driva projektet samt även ansvara för den vetenskapliga delen i projektet. Styrgruppens uppgift har varit att styra arbetet mot uppsatta mål samt att även hantera ekonomi samt eventuellt också etablera nödvändiga kontakter utanför det nätverk som etablerats inom projektet. Referensgruppen har varit sammansatt av ett antal personer som har utnyttjats vid behov. Referensgruppen har även deltagit aktivt i en projektinternt anordnad workshop.

I projektgruppen har följande personer ingått;

Miklós Molnár	Lunds Tekniska Högskola (LTH)
Robert Larsson	LTH
Ronny Andersson	LTH
Sven Thelandersson	LTH

Följande personer har ingått i projektets styrgrupp;

Britt Borgström	Sveriges Byggindustrier FoU Syd
Lars Östberg	Peab
Mats Emborg	Luleå Tekniska Universitet
Miklós Molnár	LTH
Robert Larsson	LTH, (föredragande)
Ronny Andersson	LTH, (ordförande)
Ronny Rietz	MVB
Sven Thelandersson	LTH

Följande personer har varit knutna till projektets referensgrupp;

Christer Odell	Peab
Curt-Arne Carlsson	Betongindustri
Evert Sandahl	Svenska Fabriksbetongföreningen
Göran Hällerstål	Färdig Betong (numera Anjo Bygg)
Johan Hellqvist	Tyréns (numera Sweco)
Johan Jensert	NCC Construction
Karin Pettersson	Swerock
Magnus Lundgren	Celsa Steel Service
Mats Hamrén	Hünnebeck
Niklas Andersson	Danmark Tekniska Universitet (DTU)
Per-Eric Svensson	NCC Construction

Projektet har erhållit finansiellt stöd av;

- SBUF
- Boverkets Byggekostnadsforum
- Cementa
- Svenska Fabriksbetongföreningen

Abetong, Betongindustri, Färdig Betong och Peab Industri

# Bilaga 3: Klassificering av arbete

## Direkt arbete

Direkt arbete är det arbete som kan anses vara värdeskapande för byggnaden. Arbetena ger ett direkt tillskott till byggnaden i form av montering eller inbyggnad av material eller ger en positiv inverkan på kvaliteten på byggnaden. Även om studien avser den bärande plattgjutna betongstommen kommer även montering av bärande stålpelare, balkonger och trappor att inkluderas då dessa anses ingå i stomcykeln. Montage av utfackningsväggar inkluderas inte i den bärande stommen, men aktiviteten tas i vissa fall upp då den har direkt inverkan på stomcykeln. Vid produktion av stomsystem med kvarsittande form av exempelvis plattbärlag eller skalväggar är formmontaget direkt värdeskapande då detta kommer att vara en del i den färdiga byggnaden. För att denna produktionsmetod ska kunna jämföras med stomgjutning med traditionell form har vi valt att även låta montage och demontage av det traditionella formsystemet klassas som direkt arbete. Eventuell tillverkning av form eller flytt av formen till mellanlager klassas däremot inte i denna kategori.

I kategorin direkt arbete ingår exempelvis:

### *Formarbeten*

- Montage av kvarsittande form eller formsystem.
- Demontage av förtillverkad traditionell form.
- Isolering av formsystem.
- Oljning av formsystem.
- Tätning av skarvar hos exempelvis plattbärlag och avstängning av skalväggsgavlar.
- Flytt av form efter demontage om detta sker direkt till nytt montageställe.

### *Armeringsarbeten*

- Utläggning och montage av armering, inklusive skarvnät hos plattbärlag och skalvägg.
- Kapning och bockning av armeringsjärn.
- Najning.
- Utplacering av distanser.

### *Installationsarbeten*

- Utläggning och montage av installationer.

### *Gjutningsarbeten*

- Utläggning, vibrering, slodning och glättning vid gjutning av betong.

- Vattning och eventuell täckning av betongen.
- Skrapning, knackning och bilning avsedd att förbättra utformning och ytskikt hos betongyta.

### ***Övriga montagearbeten***

- Montage av trappor, balkonger eller övriga prefabricerade element.

Arbeten som är omarbeten eller justeringar på grund av tidigare fel klassas som direkt arbete. Anledningen till detta är att det kan vara svårt att avgöra vilka arbeten som ingår i denna grupp. Om det är uppenbart att arbetet är ett omarbete antecknas detta i kommentarfältet. Kommentarer lämnas även om det noteras att ett arbetsmoment tar onormalt lång tid på grund av tidigare felarbeten eller tillfälliga problem.

### **Indirekt arbete**

Indirekt arbete är det arbete som inte tillför något direkt värde till byggnaden men som är nödvändigt för att det direkta arbetet ska kunna utföras. Denna arbetskategori har delats in i ytterligare undergrupper.

#### ***Förberedande arbete***

- Planering av arbete (ritningsläsning, utsättning/måttställning, beräkningar, givande eller mottagande av instruktioner)
- Utbildning
- Tillverkning av återanvändbart formsystem för gjutning
- Montage av formkompletteringar bestående av skivor och brädor
- Förberedande håltagning och tätning av form för installationsdragning
- Kapning och öppning av armeringsnät eller armeringsstegar för dragning av installationer
- Formning för dörr- och fönsterhåll

#### ***Materialhantering***

- Transport och flytt av byggnadsmaterial
- Kapning och sågning av skivor och brädor för användning som avstängare för gjutning
- Rivning av avstängare i form av skivor, brädor samt form som inte ska återanvändas

#### ***Utrustningshantering***

- Transport och flytt av verktyg och annan utrustning samt gjutform om denna inte flyttas direkt till montageplats
- Rengöring och skötsel av verktyg och annan utrustning
- Montage och demontage av ställning
- Montage och demontage av stag, stämp och bockryggar

### ***Städning***

- Sopning och undanplockning av skräp och spillmaterial

### ***Säkerhetsåtgärder***

- Arbeten med säkerhetsåtgärder (montage av skyddsräcken, avspärningstejp samt säkerhetsgenomgångar och skyddsronder)

### ***Kontroller***

- Kontroll av utfört arbete, mått och nivåer
- Ifyllnad av dokumentation för egenkontroll

### ***Kranassistans***

- Lastning och lossning av kran
- Styrning och guidning av kran med hjälp av radio eller visuella signaler
- Lastning och lossning av väggform som innebär ett direkt montage eller demontage inkluderas enligt tidigare i kategorin direkt arbete.

### ***Störningar***

Störningar är den typ av arbete som inte tillför något till produktionen och som helst ska undvikas helt.

### ***Stilleståndstid***

- Tid där det inte utförs något synbart arbete
- Väntetid som personen inte själv styr över, exempelvis väntan på material eller avvaktan medan en kollega utför arbetsmoment som endast kan utföras av en person.
- Självvalda raster som inte är schemalagda
- Försening på morgonen eller efter rast, tidigt avslut inför rast eller kvällen samt ej jobbrelaterade diskussioner med kollegor.

### ***Restid***

- Alla sträckor som en arbetare förflyttar sig inom byggarbetsplatsen utan att denne bär med sig något (förflyttning mellan bod och arbetsområde, förflyttning till verktygscontainer eller materialupplag)

### ***Produktionsstopp***

- Kategorin produktionsstopp används då produktionen av någon anledning avbryts eller stoppas. Detta kan exempelvis bero på regn, leveranser som är försenade eller på grund av säkerhetsrisk.

Kategorin används endast då det inte är möjligt att övergå till ett annat arbetsmoment under tiden.

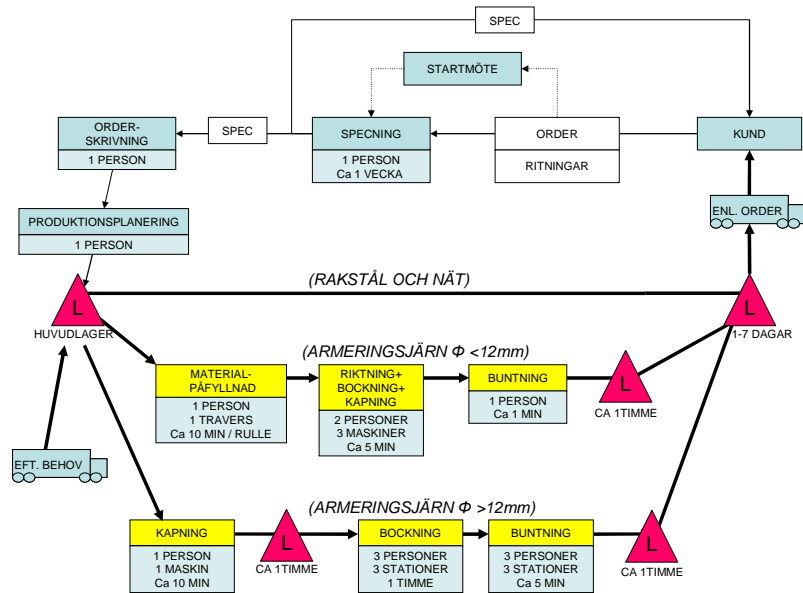
### **Missing in Action**

Denna kategori används då en arbetare saknas vid observationstillfället. Här placeras främst personer som inte kan återfinnas under observationsrutten vid enstaka observationer.

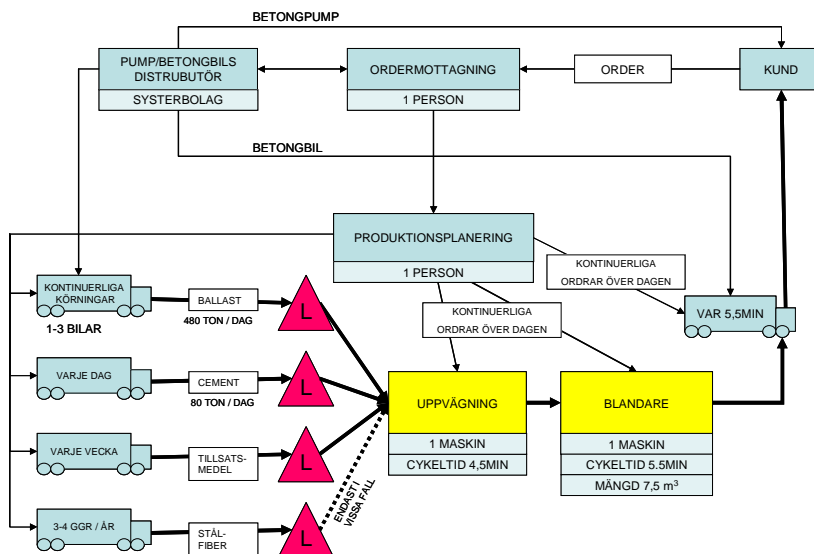
Kategorin används även då arbetare som borde befinna sig vid arbetsområdet men som exempelvis är sjuka eller har övergått till arbeten vid annan del av arbetsplatsen trots att de är inräknade som resurs på den observerade delen.

Detta innebär att det vid observationerna är viktigt att ha god kännedom om planerad användning av resurser.

# Bilaga 4: Värdeflödesanalys armeringstillverkning



# Bilaga 5: Värdeflödesanalys betongtillverkning





## Bilaga 6: Kostnadsposter för stombyggnad

### *Kostnadsposter för bjälklag*

<b>Aktivitet</b>	<b>Kostnadsposter</b>	<b>Kostnadsinsamlingsmetod</b>
Montage av stämp och bockryggar	Stämp och bockryggar	Erhållet av platschef
	Hjälpstämp	Erhållet av platschef
	Träarbetare	Erhållet av platschef
Montage av plattbärlag	Plattbärlag	Erhållet av platschef
	inkl ingjutningsgods	
Underkantsarmering	Betongarbetare	Erhållet av platschef
	Armeringsstänger	Erhållet av platschef
	Skarvnät	Erhållet av platschef
Elinstallationer	Betongarbetare	Erhållet av platschef
	VP-rör inkl. elledning	Erhållet av installationskalkylator
VS-installatör	Elinstallatör	Antagen timkostnad
	Avloppsrör	Erhållet av installationskalkylator
	Golvbrunn	Erhållet av installationskalkylator
	Vatten-/värmeledning	Erhållet av installationskalkylator
Ventilation	VS-installatör	Antagen timkostnad
	Ventilationsrör	Erhållet av installationskalkylator
Överkantsarmering	Ventilationsmontör	Antagen timkostnad
	Armeringsstänger	Erhållet av platschef
	Betongarbetare	Erhållet av platschef
Formning av ursparningar och skarvar	Träarbetare	Erhållet av platschef
Gjutning av bjälklag	Betong	Erhållet av platschef
	Betongpump	Erhållet av platschef
	Vibrostav	Erhållet av platschef

### *Kostnadsposter för väggar*

<b>Aktivitet</b>	<b>Kostnadsposter</b>	<b>Kostnadsinsamlingsmetod</b>
Formsättning av väggar	Form	Erhållet av platschef
Armering av vägg	Formolja	Erhållet av platschef
	Träarbetare	Erhållet av platschef
	Armeringsnät	Erhållet av platschef
	Armeringsstick	Erhållet av platschef
Elinstallationer i vägg	Betongarbetare	Erhållet av platschef
	Apparatdosor	Erhållet av installationskalkylator
	VP-rör	Erhållet av installationskalkylator
Gjutning av vägg	Elinstallatör	Antagen timkostnad
	Betong	Erhållet av platschef
	Bask	Erhållet av uthyrningsföretag
	Betongarbetare	Erhållet av platschef

### *Kostnadsposter för förtillverkade element*

<b>Aktivitet</b>	<b>Kostnadsposter</b>	<b>Kostnadsinsamlingsmetod</b>
Montage av stålpelare	Stålpelare 100x150mm	Erhållet av platschef
	Stålpelare diameter 250mm	Erhållet av platschef
Montage av balkonger	Smed	Antagen timkostnad
	Stämp och bockryggar	Erhållet av platschef
	Prefabricerade balkonger	Erhållet av platschef
Montage av trappa	Betongarbetare	Erhållet av platschef
	Prefabricerad trappa	Erhållet av platschef
	Betongarbetare	Erhållet av platschef