



TEKNISK RAPPORT

BYGGSYNKRONISERING - ETAPP I & II

Håkan Norberg, Peter Wallström, Thomas Olofsson, Anders Segerstedt
Luleå tekniska universitet
Väino Tarandi, Eurostep AB
Lennart Isaksson, IntelliWork AB
Nils Outters, NCC Construction Sverige AB

Luleå 2009

Forskningsämnet Byggproduktion
Institutionen för Samhällsbyggnad
Luleå tekniska universitet
971 87 LULEÅ
www.ltu.se/shb
cee.project.ltu.se

Förord

I föreliggande rapport redovisas resultatet från etapp II av SBUF-projektet 12021 – Byggsynkronisering Etapp II.

Vi vill tacka NCC:s personal på avdelningskontoret i Luleå för intressanta diskussioner och hjälp med uppgifter, dokument och fallstudier i projektet Kv. Råddjuret. Vi vill också tacka personalen vid NCC Solberga Torg i Stockholm för diskussioner om hur arbetsmetoder och verksamhetsstödjande applikationer kan utvecklas för platsbyggda byggprojekt.

Luleå, mars 2009

Projektgrupp:

Håkan Norberg, Luleå tekniska universitet

Peter Wallström, Luleå tekniska universitet

Väino Tarandi, Eurostep AB

Lennart Isaksson, IntelliWork AB

Nils Outters, NCC Construction Sverige AB

Thomas Olofsson, Luleå tekniska universitet

Anders Segerstedt, Luleå tekniska universitet

* Kontaktperson. Tel.: +46703253545; E-postadress: hakan.norberg@ltu.se

Sammanfattning

SBUF-projektet ingår som en del i ett ERABUILD-projekt där avsikten är att skapa industrialiserade processer för definition, utformning, byggande och fastighetsförvaltning som väsentligt kan effektivisera byggande och förvaltning av fastigheter över hela livscykeln. Målet med den svenska delen är att definiera en framtida industrialiserad byggprocess som är stödd av ett synkroniserat flöde av information, resurser, material och aktiviteter till byggplatsens olika produktionsställen. Hypotesen är att platsknutna planeringsmetoderna som Line of Balance och 4D tillsammans med en robust produktionsstyrningsmetod kan skapa arbetsscheman som kan genomföras med tillräcklig förutsägbarhet. Detta är nödvändigt för att kunna skapa bra och effektiva försörjningskedjor. Mobila verksamhetssystem är en lämplig teknologi för att kunna understödja ett sådant synkroniserat byggande. För att säkerställa en öppen tillgång till den gemensamma bygginformationsmiljön (VBE) kommer tekniken med standardiserade Web Services att testas för att koppla ihop applikationer som kan stödja ett synkroniserat byggande.

I Etapp I av projektet har produktionsprocessen för en typisk byggplats kartlagts där informations- och materialflöden samt användning av gemensamma resurser nödvändiga för genomförandet av olika produktionsaktiviteter definierats för att utveckla en byggplatsanpassad logistikmodell. Applikationer och metoder för planering och styrning samt strategier och mått för byggplatsens försörjningskedjor av information, material och komponenter har identifierats.

I Etapp II, har valda delar av modellen att jämförts och utvärderas mot traditionella metoder i ett pågående byggprojekt, (NCC:s projekt kvarteret Rådjuret i

Luleå samt Solberga Torg). Framtagna metoder med stöd av valda applikationer har demonstreras i en avgränsad del av projektet.

Idag implementeras 3D projektering i stor skala i den svenska byggbranschen. Detta har lett till bättre samordning mellan olika discipliner och mindre antal kollisioner som måste lösas på plats. I nästa steg kommer en övergång till bygginformationsmodeller att ske (BIM) där informationen kommer att integreras mellan olika aktörer och skeenden i byggprocessen. En sådant naturligt steg är att integrera projektering och produktion där stora värden kan sparas om BIM modellen kan användas för inköp, planering och genomförandet i produktionsprocessen.

En demonstrationsmiljö har byggts upp med en modellserver, en BIM Collaboration Hub, för att hantera IFC-filer som definierar byggnaden och andra filtyper som används i olika affärsprocesser. De olika bygg- och installationsdelarna kan läsas in med sina versioner från CAD-system i IFC-formatet och därefter knyts till annan information som t ex krav och tidplaneaktiviteter. Arkitekturen ger en flexibel lösning där företag kan samverka med hjälp av olika överföringsmetoder – filöverföring, tjänster som anropas och inmatning via ett grafiskt användargränssnitt.

Den processmodell som utvecklats i inVBE projektet och som utgör viktig del i Håkan Norbergs lic-avhandling (se referenslistan) skapar bättre förutsättningar för beredning/koordinering, synkronisering, rapportering och uppföljning av produktionen på byggarbetsplatserna.

Vid projektets slutpresentation var intresset stort från flera byggföretag att prova och utvärdera det nya arbetssättet och de nya verksamhetsstödjande applikationerna. Ambitionen är därför att tillsammans med intresserat byggföretag med lämpligt byggprojekt ansöka om SBUF medel för att genom fältprov utvärdera om förväntade kvalitets- och produktivitetsförbättringar erhålls i verkligheten.

Innehållsförteckning

FÖRORD.....	I
SAMMANFATTNING.....	III
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	V
1	INTRODUKTION.....9
1.1	Bakgrund.....9
1.2	Mål och syfte.....10
1.3	Genomförande.....10
	Delprojekt 1: Synkronisering av byggandet.....10
1.4	Deltagande parter samt kostnader och finansiering av etapp I11
	Organisation11
1.5	Rapportguide13
1.6	Redovisning.....14
1.7	Publikationer14
2	BYGGPRODUKTION16
2.1	Produktionssystem.....16
2.2	Leveranskedjor17
2.3	Principer för en produktiv produktionsprocess19
2.4	Planering, beredning, produktionsstyrning och uppföljning.....21
2.5	Byggindustrin idag24
2.5.1	Kartläggning24
2.5.2	Byggindustrin saknar integrerade datoriserade hjälpmedel26
2.5.3	Byggindustrin uppvisar låg produktivitetsutveckling; spill och slöseri!?27

2.5.4	Skillnaden i process och organisatorisk uppbyggnad förklarar saknaden av integrerade datoriserade hjälpmedel inom byggindustrin	29
2.5.5	Integrerat datoriserat hjälpmedel för byggindustrin	32
3	STYRNING OCH UPPFÖLJNING AV LEVERANSER	36
3.1	Allmänt	36
3.2	Traditionella metoder inom tillverkande industri	38
3.2.1	Genomsnittslager	38
3.2.2	Omsättningshastighet	39
3.3	Tillämpning i byggprojekt	40
3.3.1	Lagerperioder och medellager	40
3.3.2	Kapitalkostnad för kapitalbindning med hänsyn till betalningsvillkoren	45
3.3.3	Omsättningshastighet i projektverksamhet	50
3.3.4	Utfallskvot för perioder inklusive ligg tid	51
3.3.5	Utfallskvot för lagerperioder inklusive ligg tid	53
3.4	Kravspecifikation på indata	54
4	IT – STÖD	55
4.1	Lagring och hantering av produkt och processinformation	55
4.1.1	IFC - Standard för hantering av projekteringsinformation	57
4.1.2	PLCS - Standard för hantering av processinformation	58
4.2	Applikationsstöd	62
4.2.1	Modellbaserad mängdavtagning	63
4.2.2	Lägesbaserad produktionsplanering	63
4.2.3	Mobila verksamhetssystem	64
4.2.4	4D-visualisering	68
5	RESULTAT – PROCESSMODELLEN	69
5.1	Processmodell Etapp I	69
5.1.1	Huvudtidplanering	70
5.1.2	Produktionsberedning	71
5.1.3	Produktionsstyrning och uppföljning	72
5.2	Processmodell Etapp II	74
5.2.1	Processens huvudsakliga innehåll	74
5.2.2	Byggnadsinformationsmodeller och mängdavtagning	75
5.2.3	Tidplanering och 4D-modellering	77
5.2.4	Byggsynkronisering och rapportering	78
6	UTVÄRDERING AV DEN FÖRESLAGNA MODELLEN	83
6.1	Husbyggnadsproduktion	83

6.1.1	Mobil tillgång till aktivitetsinformation	83
6.1.2	Automatiska varningar vid risk för försening.....	84
6.1.3	Automatisk synkronisering mellan aktiviteter	84
6.1.4	Information om var yrkespersonalen befinner sig	84
6.1.5	Synkronisering av planeringsdokument	85
6.1.6	Integration mellan IT-applikationer	85
6.1.7	Statistik	85
6.1.8	Inriktning på fältprov.....	86
6.2	Anläggningsproduktion	86
6.2.1	Mätgrupp	86
6.2.2	Ruttoptimering	87
6.2.3	Presentation av möjliga uppdrag.....	87
6.2.4	Arbetsledarrollen.....	88
6.2.5	Snabb omplanering då hinder för pågående mark och anläggningsarbete upptäcks	88
6.2.6	Uppdateringar av karta/3D	88
6.2.7	Information om lager av olika typer av material	89
6.2.8	Grovlogistik av maskiner.....	89
6.2.9	Provmiljö för nya arbetssätt och verksamhetsstödjande applikationer	89
6.3	Förslag till fältprov	90
6.3.1	Produktivitetsmål för fältprov.....	90
6.3.2	Kvalitetsmål för fältprov	91
6.3.3	Förslag till realisering av fältprov	91
7	RESULTAT - FALLSTUDIE	94
7.1	Kv. Räddjuret	94
7.2	IFC-modell för test av informationsflöde	95
8	ARKITEKTUR FÖR EN STANDARDISERAD VIRTUELL BYGGINFORMATIONSMILJÖ (VBE).....	101
8.1	Informationens struktur.....	102
8.2	Informationen i typfallet	107
8.3	Tidsplanering.....	110
8.4	Överföringsvyer – Model View Definitions, MVD	113
8.4.1	A/E/C design to sequencing.....	115
8.4.2	Sequencing to quantity take-off	117
8.4.3	Quantity take-off to cost estimate	119
8.4.4	Cost estimate to scheduling	121
8.5	Scheduling to 4D simulation.....	123
9	SLUTSATSER ETAPP I & II.....	125

10	REFERENSER	127
BILAGA I:	STYRNING OCH UPPFÖLJNING AV LEVERANSER	129
BILAGA II:	PROCESSMODELL	134
BILAGA III:	SEKVENSDIAGRAM	136

1 INTRODUCTION

1.1 Bakgrund

Erabuild projektet "Industrial Processes Supported by an Open Information Environment" är uppdelat i tre delar:

- (1) Synkronisering av byggandet,
- (2) Installation och förvaltning samt,
- (3) Arkitektur för en standardiserad Virtuellt Bygginformationsmiljö (VBE).

Den svenska forsknings och utvecklingsinsatsen i projektet har varit koncentrerad till (1) Synkronisering av byggandet och dess koppling till en standardiserad Virtuellt Bygginformationsmiljö som har utvecklats i del (3) av Erabuild projektet.

Forskningsinsatsen i projektet har finansierats av Formas och den industriella medverkan har finansierats av SBUF under 2007 och 2008.

SBUF beviljade i december år 2006 medel för en första etapp av projektet. Efter godkännandet av den första etappen beviljades i december 2007 medel för etapp II.

Denna rapport är en avrapportering av de aktiviteter och resultat som uppnåtts under etapp I och etapp II.

1.2 Mål och syfte

Syftet med ERABUID projektet är att skapa industrialiserade processer för definition, utformning, byggande och fastighetsförvaltning som väsentligt kan effektivisera byggande och förvaltning av fastigheter över hela livscykeln. Målet med den svenska delen är att definiera en framtida industrialiserad process som är stödd av ett synkroniserat flöde av information, resurser, material och aktiviteter på byggsplatsen olika produktionsställen. Hypotesen är att de nya platsknutna aktivitetsplaneringsmetoderna som Line of Balance och 4D tillsammans med en robust produktionsstyrningsmetod (Last Planner) kan skapa arbets-scheman som kan genomföras med tillräcklig förutsägbarhet. Detta är nödvändigt för att kunna skapa bra och effektiva försörjningskedjor. FFA (mobila verksamhetssystem) är en lämplig teknologi för att kunna understödja ett sådant synkroniserat byggande. För att säkerställa en framtidssäker och öppen tillgång till den gemensamma informationen i den Virtuella Bygginformationsmiljön (VBE) kommer tekniken med standardiserade Web Services att användas för att försörja informationsbehovet för ett synkroniserat byggande.

1.3 Genomförande

Delprojekt 1: Synkronisering av byggandet

Forskningen och utvecklingsarbetet i delprojekt 1 var uppdelat i 5 aktiviteter:

ETAPP I (2007)

1. **Typfall:** Produktionsprocessen för en typisk byggsplats väljs ut. Informations- och materialflöden samt användning av gemensamma resurser nödvändiga för genomförandet av olika produktionsaktiviteter definieras. Specificering av ett representativt typfall utgör basen för de övriga aktiviteterna samt analys av informationsbehovet och implementering av koppling m h a Web Services till VBE i delprojekt 3.
2. **Produktionsplanering och kontroll:** Utvärdering och analys av typfallets flöden av aktiviteter, material, information etc. på byggsplatsen görs med avsikt att utveckla en byggsplatsanpassad logistikmodell. Applikationer och metoder för planering och kontroll identifieras.
3. **Försörjningskedjor:** Strategier för byggsplatsens försörjningskedjor av information, material och komponenter utvecklas. Applikationer som plane-

ring, styrning och kontroll integreras i den virtuella bygginformationsmiljön som utvecklas i delprojekt 3.

ETAPP II (2008)

4. **Utvärdering:** Utvärdering av den föreslagna modellen görs genom att simulera det definierade typfallet. Restriktioner i form av krav på projektmiljön (affärsrelationer mellan aktörer) kommer också att beaktas i valideringsprocessen. Likaså, kommer valda delar av modellen att utvärderas i pågående byggprojekt i kvarteret Rådjuret (NCC) i Luleå samt Solberg Torg i Stockholm (NCC).
5. **Dokumentation:** Resultatet kommer att dokumenteras i form av teknisk dokumentation och Licentiatuppsats vid LTU. Marknaden för kommersialisering av det utvecklade systemet kommer att undersökas.

Delprojekt 3: Arkitektur av en standardiserad Virtuell Bygginformationsmiljö (VBE)

Definitionsarbetet av VBE gjordes i en aktivitet:

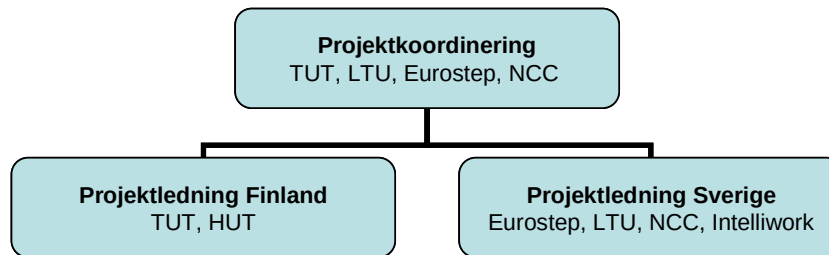
ETAPP II (2008)

1. **Arkitektur för en VBE:** Arkitektur för en modellserver som stödjer behoven från delprojekt 1, synkronisering i byggandet, tas fram baserad på IFC- och PLCS-standarderna.

1.4 Deltagande parter samt kostnader och finansiering av etapp I

Organisation

Projektorganisationen för hela ERABuild projektet är beskrivet i Figur 1. Projektet koordineras av Tampere University of Technology (TUT), Luleå Tekniska Universitet (LTU), Eurostep AB samt NCC. Den finska delen leds av TUT tillsammans med Helsinki University of Technology (HUT) medan den svenska delen Byggsynkronisering leds av Eurostep tillsammans med LTU, NCC och IntelliWork. Förutom dessa organisationer är också Inbrix inhyrda i den svenska delen av projektet (Byggsynkronisering) i delar av implementeringen.



Figur 1: Projektorganisation för ERAbuild projektet

I projektet har följande företag och organisationer deltagit:

- NCC Teknik, NCC Region Norrland och NCC Region Stockholm/Mälardalen som bidragit med fallstudie material och medverkan i projektmöten.
- Eurostep AB har bidragit med projektledning samt expertis om standardiserade format (IFC) och informationsmiljöer (PLCS)
- IntelliWork har bidragit med kunskap om mobila verksamhetssystem (FFA)
- Luleå tekniska universitet har bidragit med kunskap om logistik (Avd för Industriell logistik) samt platsknutna produktionsplaneringsmetoder och kontroll (Forskningsämnet Byggproduktion)

Finansiering

Kostnaderna för etapp I har varit ca 1.400 kkr varav Formas har finansierat 645 kkr och SBUF 550 kkr. Resterande del (200 kkr) har finansierats av de medverkande företagen som eget arbete.

Kostnaderna har för etapp II också varit ca 1.400 kkr med Formas som finansierar med 656 kkr och SBUF med 550 kkr. De medverkande företagen har finansierat 200 kkr som eget arbete.

Det egna arbetet har lågt räknat uppskattats till 200 timmar (800 kr/timme) för medverkande företag och organisationer i referensgrupp och i projektets implementeringsdel.

1.5 Rapportguide

Rapporten är indelad i 7 huvudkapitel där följande resultat av etapp I & II redovisas:

- Kapitel 2 beskriver ett antal generella begrepp för att planera, bereda, styra och följa upp produktionsprocessen på byggsplatsen. Flödet av resurser och material på en byggsplats beskrivs och presenteras. Upptäckta egenheter inom byggindustrin från några fältstudier presenteras. Varför byggindustrin saknar övergripande informationssystem, jämfört med fasta tillverkande industrin diskuteras. Hur ett övergripande informationssystem för byggindustrin bör vara uppbyggt presenteras och diskuteras. IT-stödet bör vara uppbyggt kring ”projekt” och inte som traditionella informationssystem kring ”produktstrukturer”.
- Kapitel 3 beskriver hur styrning och uppföljning av leveranser görs inom den tillverkande industrin. Sedan utvecklas specifika nyckeltal för utvärdering av leveranser och lagerhållning i byggprojekt. En preliminär kostnadsberäkningsmodell redovisas också som är tänkt att användas för att utvärdera olika inköps och leveransstrategier.
- Kapitel 4 beskriver hur olika IT stöd kan användas för att stödja ett sådant arbetssätt på byggarbetsplatsen. Val av informationshanteringssystem, utväxling av information och standarder för informationsstrukturer behandlas kortfattat i kapitel 3.
- Kapitel 5 redovisar den processmodell som beskriver hur dessa IT stöd kan integreras i projekterings- och produktionsprocessen. Denna har utarbetats i två steg. Den första modellen är resultatet av Etapp I i projektet medan den andra modellen är en vidareutveckling av den första modellen. Den andra modellen är alltså mer detaljerad.
- Kapitel 6 redovisar utvärderingen av den föreslagna processmodellen som tagits fram i Etapp II. Utvärderingen har gjorts genom intervjuer med berörda personer på olika typer av byggprojekt som studerats.

- Kapitel 7 redovisar resultaten från de fallstudier som har genomförts.
- Kapitel 8 beskriver och förklarar arkitekturen för den standardiserade Virtuella Bygginformationsmodellen som har definierats i delprojekt 3.
- Kapitel 9 sammanfattar resultaten av etapp I & II

1.6 Redovisning

Projektet har redovisats via följande kanaler:

- En webbsida där publika dokument som tekniska rapporter och forskningsrapporter kan distribueras har lagts upp och varit tillgänglig under projektet: <http://cee.project.ltu.se/~inVBE>
- Deltagande i Europeiska och internationella konferenser som ECPPM (European Conference on Product and Process Modelling in the Building and Construction sector), CIB – W78 (Conference on Information Technology in Construction), INCITE/ITCSED (World Conference on IT in Design and Construction), m fl
- Forskningsresultat från den Svenska delen – Byggsynkronisering har publicerats i vetenskapliga konferensproceedings och i en Licentiatuppsats, se publikationer.
- Ett öppet seminarium genomfördes av de svenska projektdeltagarna i slutet av projektet, den 17 mars 2009.

1.7 Publikationer

NORBERG, H., (2008), On-site production synchronisation : improving the resource-flow in construction projects, Licentiate thesis / 2008:52, Luleå university of technology

NORBERG, H., OLOFSSON, T. & ISAKSSON, L. (2008) A process model for construction synchronization using time-space planning methods and Field Force Automation. IN RISCHMOLLER, L. (Ed.) CIB-W78 25th International Conference on Information Technology in Construction. Santiago, Chile.

NORBERG, H. & JONGELING, R. (2008) A model-based production planning and control method supporting delivery of cast-in-place concrete. 8th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality 2008. Kuala Lumpur, Malaysia.

WALLSTRÖM, P, SEGERSTEDT, A, NORBERG, H & OLOFSSON, T (2009), Inventory and production management in construction industry: an introduction, Paper som skall presenteras vid International Symposium on Inventories, Budapest, Ungern. 22 - 26 augusti 2009.

Studentarbeten

Bredenberg J., El-Achkar K., Emmoth M., Rengström C., (2007). *Effektivisering av materialförsörjning vid Englunds Hus AB i Kalix*. Working paper, Industrial logistics, Luleå University of Technology.

Ek M., (2008). *Effektivisering av arbetsplatslogistik: en fallstudie vid NCC Construction Stockholm/Mälardalen*. Inst/avd Industriell ekonomi och samhällsvetenskap Industriell logistik Typ/ISSN Civilingenjörsprogrammet

Ek M., Houtari P., Larsson T., Rönnberg E., (2007). *Effektivisering av projekt-köp – en fallstudie vid NCC Construction BD*. Working paper, Industrial logistics, Luleå University of Technology.

Ekholm A., Hensvold B., Holmberg C. A., Ullström P., (2007). *Materialflöden vid Lindbäcks Byggs produktionsanläggning i Öjebyn*. Working paper, Industrial logistics, Luleå University of Technology.

Hedborg E., Nordh A., Åström E., Öhgren M., (2008). *En analys av företaget Part AB*. Working paper, Industrial logistics, Luleå University of Technology.

2 BYGGPRODUKTION

2.1 Produktionssystem

Det brukar ofta hävdas att byggproduktion är så speciell att den inte går att jämföra med den fasta industrin, men är det någon skillnad och i så fall vad består den av? I Tabell 1 jämförs sättet att montera bilstolar i en bilfabrik med sättet att montera fönster på en byggplats.

Tabell 1: Grundläggande delar i produktion av bilar jämfört med ett byggprojekt, anpassat efter Koskela et al (2002).

Process	Bilindustri	Byggindustri
Materialflöde	En bilstol är monterat i en bilstolsfabrik och transporterad till bilfabriken	Ett fönster är monterat i en fönsterfabrik och transporterad till byggplatsen
Aktivitet	Bilstolen installeras av vid sin arbetsstation	Fönstret installeras i rätt fönsteröppning av arbetslaget
Arbetsstation	Stationen har en fast plats i fabriken monteringslina.	Fönstret sätts på plats i rätt fönsteröppning
Monteringsflöde	Produkten (bilen) rör sig utefter alla stationer i monteringslinan	Arbetslaget rör sig genom byggnadens alla fönsteröppningar

Även om huvuddragen är lika så finns det en väsentlig skillnad. Platsen för monteringsfabriken och arbetsstationerna är fasta och kan användas för att montera flera bilar. I produktionen av byggnader så varierar byggplatsen från projekt till projekt. Dessutom rör sig arbetslagen genom byggnaden från monteringsplats till monteringsplats, se Figur 2.



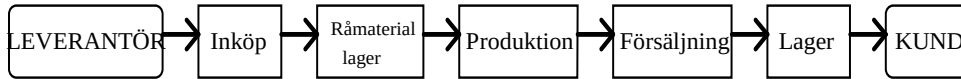
Figur 2: Till vänster rör sig produkter genom olika stationära stationer på ett löpande band. Till höger rör sig arbetskraften genom olika arbetsplatser på en byggplats.

Detta gör att byggproduktion är mer dynamisk och ställer större krav på försörjningskedjor och produktionsberedning.

2.2 Leveranskedjor

Logistik är ett ord som kan betyda olika saker för olika personer. För en del betyder logistik exempelvis inköp, uppackning och materialkontroll sen packning och distribution, därför att det finns en logistikchef med det ansvarsområdet; men inkluderar då inte den nödvändiga produktionen för ett komplett materialflöde. För andra betyder logistik huvudsakligen transport eller distribution. Den vanlige svensken tänker nog fortfarande mest på en lastbil när denne ser eller hör ordet logistik. Svenska Akademiens Ordlista förklarar logistik med "organisation av transporter el. varudistribution o.d. för företag m.m." Uppslagsverket Nationalencyklopedin ger förklaringen "en vetenskap som studerar problem i samband med materialflöde inom företag eller organisationer vanl. med huvudsyftet att åstadkomma metoder för att rätt material skall finnas på rätt plats vid

rätt tid: en militär invasion är i stor utsträckning en fråga om ~.” Vilket alltså ger en klart bredare tolkning än lastbilsdistribution, och en tolkning som vi använder i detta projekt där vi strävar efter en effektiv logistik i byggindustrin.



Figur 3: Materialflöden från leverantör till kund

“Supply Chain Management” (SCM) är ett begrepp som ofta dyker upp i samband med logistik. Det kan närmast översättas till svenska som administration och styrning av försörjningskedjan eller förädlingskedjan, se Figur 3. Christopher (2005) menar att SCM är ett vidare begrepp än logistik och SCM strävar att reducera kostnader och öka värdeskapandet genom att integrera och effektivisera hela försörjningskedjan eller varuförädlingskedjan. Kostnadsreduktion och värdehöjning skapas genom att företaget förmedlar kundens specifika behov neråt eller bakåt (uppströms) i försörjningskedjan via olika informationsflöden samtidigt som företaget har kontroll av varuflödena uppåt eller framåt (nedströms) i försörjningskedjan, för att på så sätt uppnå ett effektivt varuflöde, vilket i slutändan leder till att kunderna uppnår en högre servicegrad med mindre resursförbrukning. Vi kan hålla med Christopher (2005) att SCM är ett vidare begrepp än “logistics”; men det svenska ordet logistik är bredare, målet och syftet med logistik är detsamma som för SCM, så vi ser inget behov av nytt svenskt begrepp för SCM. Vinna-vinna relationer och fokusering på slutkund är alltid bra, oberoende av vad man kallar det. Var gränsen går mellan logistik och ekonomisk redovisning och styrning är diffust.

Materialadministration (MA) är en äldre synonym till logistik men materialadministration har tappat "mark" gentemot logistik och har försvunnit nästan helt ur svenskt språkbruk; förmodligen på grund av ordet logistiks likhet med det engelska begreppet "logistics". Det är också intressant att konstatera att PLAN, ursprungligen Sveriges Planeringsledares Förening, numer ser sig som en förening för alla logistik. Språket förändras över tiden men processer och funktioner i logistik har absolut funnits tidigare; även om de förändrats en del med nya tekniker kommit in med datorer, streckkoder m.m.

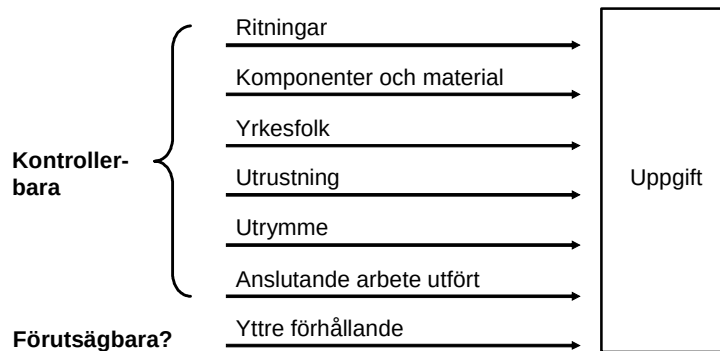
Logistik är en samlande beteckning för samordning mellan en rad aktiviteter som har med material och produktflödet att göra; på strategisk nivå t ex för val

av produktmix, distributionskanaler, på taktisk nivå för t ex fastställande av vissa leveransservicenivåer och på operativ nivå t ex för styrning och kontroll av lagernivåer, orderkvantiteter och starttidpunkter. Bra logistik är ett effektivt hjälpmedel för att sänka totalkostnader, öka intäkter, frigöra kapital samt skapa flexibilitet. Det är ett synsätt för att tillgodose behovet av integrerad och effektiv administration av material och produktflödet från råvaruleverantör, via samtliga led, till slutlig konsument av den färdiga produkten. Hur ett företag utför sin logistik blir ofta en viktig del i företagets affärsidé på så sätt att det skapar ett samspel mellan olika operativa processer så att de stöder affärsidén.

Logistik är **inte** ett "nollsummespel" där satsningar på ett delområde alltid sker på bekostnad av ett annat delområde (exempelvis: Kapitalbindning - Resursutnyttjande - Leveransservice). Det är inte enbart en samling enskilda operationsanalytiska tekniker för att lösa optimeringsproblem, men strikta analyser är en förutsättning för bättre problemlösning och i flera fall kan matematiska modeller vara utmärkta hjälpmedel. Logistik är inte en given organisationsform, det behöver inte vara en fristående och självständig funktion i inom ett företag. Logistik är en strävan efter ett effektivt flöde; produktion, verksamhet och transport; från leverantör till kund. "Logistics, Operations Management, Industrial Engineering, Production Economics, Operations Research", är internationella nyckelord för vad som berörs för att åstadkomma ett effektivt flöde från leverantör till kund även inbegripande leverantörens leverantör och kundens kund. (Segerstedt (2008))

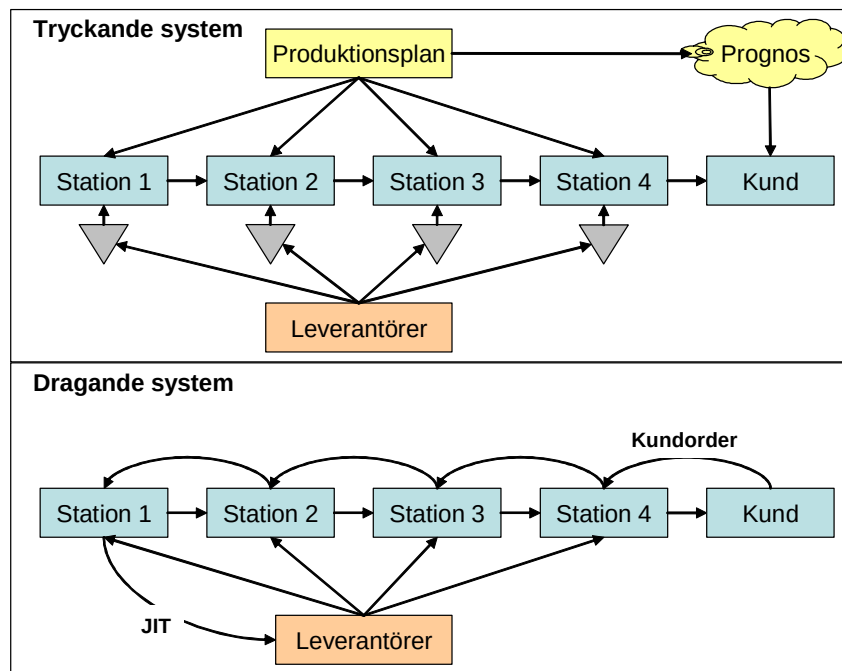
2.3 Principer för en produktiv produktionsprocess

Enligt Koskela (2000) så finns det 7 faktorer som påverkar förutsättningarna för ett produktivt arbete (se Figur 4). Sex av dessa är möjligt att kontrollera i ideal situation; tillgång till produktionsritningar, komponenter och material, yrkesfolk, relevant utrustning, produktionsutrymme och att anslutande arbete är genomfört. Den 7:e faktorn är yttre förhållanden som vi inte kan kontrollera, t ex väder, men som vi i vissa fall kan förutsäga med viss precision (t ex via väderleksprognoser). På en byggarbetsplats är det platschefens uppgift att se till att kontrollerbara förutsättningar är uppfyllda innan arbetsuppgiften utförs av ett arbetslag.



Figur 4: Faktorer som påverkar produktiviteten. Efter figur 16 i Koskela (2000)

Den andra principen är att skapa ett dragande system, dvs. den föregående uppgiften som den nuvarande är beroende av bestämmer takten. Inom ett tillverkande produktionssystem brukar man skilja på ett dragande och ett tryckande system, se Figur 5.



Figur 5: Tryckande och dragande produktionssystem

I ett idealt tillstånd där inga variationer förekommer ger både tryckande och dragande system samma produktionstakt. Ett dragande system med "Just In Time" leveranser av material och komponenter ger dock lägre lagerkostnader.

Emellertid så kan JIT principen vara svår att uppnå på grund av ledtider i leveranserna och i praktiken så brukar man kombinera ett dragande system med någon form av buffertlager, t ex ett tvåbinge system där man fyller på lagret när den ena bingen av material är tom. Det som framförallt brukar framhåvas är att ett tryckande system producerar mot en prognos vilket gör det extremt känsligt för störningar i produktionskedjan samt för överproduktion i kedjans olika delar.

"If an assembly operation involves multiple produced and purchased parts, the reliability of deliveries is extremely important, because the probability of having them all on-time is the product of the individual on-time probabilities." (Hopp och Spearman, 1996).

I ett dragande system så uppnås alltid en produktionstakt som är lika med den svagaste länken i kedjan, s.k. "flaskhalsen" oavsett störningar däremot finns risk för att delar av kedjan kan svälta, dvs. få för lite att göra. Därför bör man alltid ha buffertaktiviteter som inte är tidskritiska ifall en sådan situation skulle uppstå.

2.4 Planering, beredning, produktionsstyrning och uppföljning

The Last Planner System of production control (LPS) bygger på en successiv detaljering av planeringen när man har som mest kunskap om förutsättningarna för ett produktivt arbete (Ballard och Howell 2003). De tre stegen planering, beredning samt produktionsstyrning och uppföljning kan kortfattat beskrivas som:

1. Planering:

- a. Huvudtidplan görs i början av projektet med avsikt att bestämma projektets viktiga milstolpar till exempel start och projektslut, när olika underentreprenader och konsulter bör vara upphandlade, etcetera.

- b. Produktionsplanering görs av entreprenören och dess konsulter, underentreprenörer och leverantörer tillsammans. Syftet är att få alla berörda aktörer engagerade och beredda att ta ansvar för planen.

2. Beredning

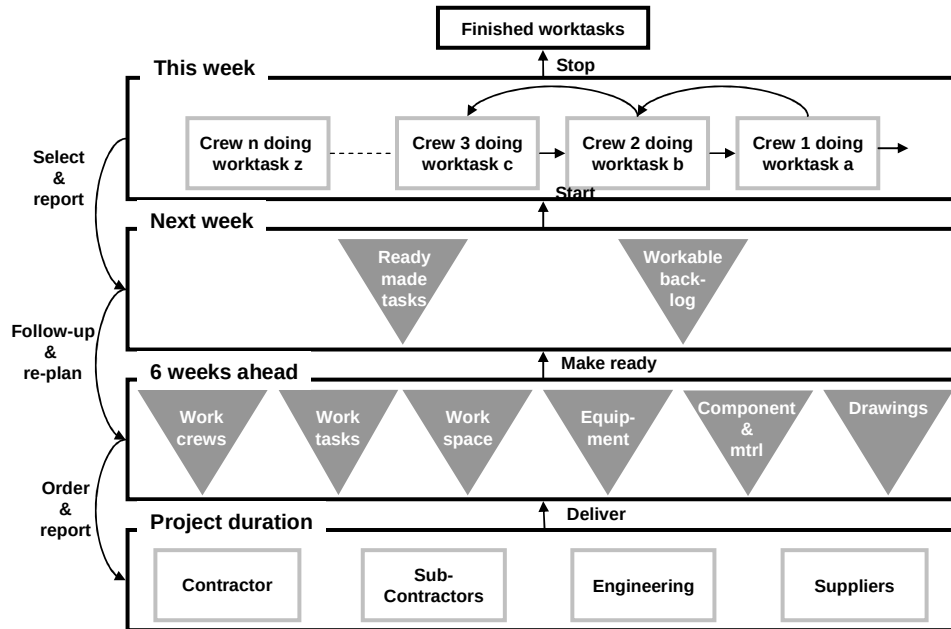
- a. Produktionsplanen detaljeras av platschef till rullande tidsplaner med ca 5-6 veckors framförhållning, så kallad lookahead schedule. Syftet är att klargöra aktiviteter så att de kan utföras produktivt.
- b. Den lägsta nivån är veckoplanering där platschef och berörda arbetslag (inklusive underentreprenörer) tillsammans lovar att utföra klargjorda aktiviteter, (ready made tasks), för nästa vecka. Veckomötet upprättar också en lista på aktiviteter som kan utföras om de klargjorda aktiviteterna av någon orsak inte går att genomföra, s.k. bufferaktiviteter (workable backlogs).

3. Produktionsstyrning och uppföljning

- a. Produktionen taktas för att skapa ett jämnt flöde av aktiviteter genom arbetsplatsen olika produktionsplatser (monteringsstationer). Arbetslag, material och komponenter dras till produktionsplatserna genom att anslutande aktivitets arbetslag signalerar att de är klara.
- b. Genomförda aktiviteter följs upp vid veckomötet och hur många av de planerade aktiviteterna som blev utförda (PPU = procent planerat utfört) avrapporteras. Avvikelser från veckoplan följs upp och åtgärdas. Berörda aktiviteter planeras om.

De olika stegen illustreras i Figur 6 där de övergripande planeringsnivåerna (huvudtidplan och produktionsplan) skapar underlaget för genomförandet av produktionen. Platschefen detaljerar planeringen på byggplatsen från den övergripande produktionsplanen i den rullande tidplanen, samt att bereda aktiviteterna så att villkoren för ett produktivt arbete uppfylls, se Figur 4. Takten för olika arbetslag styrs för att åstadkomma ett jämnt flöde mellan de olika definierade produktionsplatserna. Förflyttning från en produktionsplats till nästa kommuniceras för att klargöra produktionsplatsen för nästa arbetslag i kedjan. Planeringen följs upp och avvikelser rap-

porteras i olika detaljeringsgrad till närmaste överordnad nivå i produktionssystemet beroende på avvikelens art.



Figur 6: Modell över ett dragande byggproduktionssystem och planeringsnivåer

Idag finns det ett antal olika IT verktyg som kan stödja ett sådant arbetssätt. Med Line of Balance och 3D modellverktyg kan man dela upp en byggplats i produktionsplatser där mängderna per produktionsplats ger vilka aktiviteter som måste planeras per produktionsplats. Produktionen kan då resurssättas för att åstadkomma ett jämnt flöde på byggplatsen. Dessutom knyts då leveranser av material och komponenter till en specifik plats på bygget samt produktionsprocessen kan visualiseras genom 4D teknik. För att åstadkomma ett dragande system kan s.k. mobila verksamhetssystem (FFA) användas för att signalera när ett arbetslag har påbörjat eller avslutat en klargjord aktivitet vid en viss produktionsplats. Med "state maps" teknik kan den informationen sändas direkt till anslutande arbetslag så att de får vetskap om när produktionsplatsen är ledigt. FFA system kan också integreras med leveranskontroll på byggplatsen med hjälp av RFID-teknik och för att stödja ett synkroniserat byggande där de olika delarna i kedjan anpassas efter rådande förutsättningar.

2.5 Byggindustrin idag

2.5.1 Kartläggning

Vid det initiala skedet av forskningsprojektet inVBE gjordes en grundläggande kartläggning av informationsflödet, från kalkylarbetet till den pågående produktion, i ett antal medelstora byggprojekt och byggföretag i Norrbotten.

Studierna började med en kartläggning av hur kalkylatorer arbetar med företagens kalkylsystem, innehållande recept, för att bygga upp sina kalkyler samt hur informationen i de valda recepten används efter avslutat kalkylarbete. Studierna visade att de enhetstider och materialmängder som finns definierade i kalkylsystemens recept ofta redigeras, baserat på kalkylatorns erfarenhet av tids- och materialåtgång, när de plockas in i kalkylen för att passa det specifika projektets komplexitet. Det egentliga värdet jämförs inte med originalvärdet i kalkylsystemets databas. Detta innebär att de recept som finns inlagda i kalkylsystemets databas aldrig uppdateras baserat på vilka egentliga värden kalkylatorn använder sig av, det vill säga det finns ingen kontinuerlig justering av den information som kalkylen baseras på vilket i sin tur ger osäkra kalkyler. Detta skulle kunna lösas med hjälp av ett avancerat informationshanteringssystem som kan hantera byggbranschens komplexitet och dynamik.

Det visade sig även finnas en brist på återanvändning av skapad information under projekterings gång fram till produktionsstart. Ett exempel på detta är vid skapandet av den slutliga produktionskalkylen som inte baseras på den information som redan skapats i anbudskalkylen vilket beror av många orsaker. Ofta skapas de olika kalkylerna av olika personer inom företaget vilket innebär att den kunskap om projektet som införskaffades under arbetet med anbudskalkylen går till spillo och med dagens arbetssätt, d.v.s. att beräkna materialmängder från olika 2D-ritningar innehållande en mängd egna antaganden, finns det inget stöd för kunskapsåterföring till den som tar vid arbetet vid nästa skede. Detta skapar onödigt arbete vilket skulle kunna minska genom att använda sig av modellbaserad mängdavtagning i projekteringsprocessen.

Vid kartläggningen av den pågående produktionen koncentrerades arbetet på de materialleveranser som anländer till en byggplats, vilka uppfattades i hög grad komma något slumpmässigt. Det väsentliga var att en leverans gjordes före planerat inbyggnadsdatum. Hur långt i förväg leveransen anlände uppfattades vara av underordnad betydelse. För att validera detta beslutades att följa upp ett antal material och dess leveranser till en byggplats under en del av ett byggprojekt. De material som valdes ut var:

- Armering - Stomgjutning är ett moment som ofta görs effektivt med samordnade resurser. Frågan var om detta även var applicerbart på leveranserna av armering.
- Gips – Ett material som används i de flesta sammanhang och är relativt billigt. Detta var av intresse eftersom det kan vara av intressant att kontrollera hur leveranser av så kallade standardvaror styrs.
- Fönster/Dörrar – Detta är mer platsspecifika varor och dessutom dyra och kan på grund av stöldrisk inte levereras när som helst, utan bör ske i anslutning till inbyggnad.
- Isolering – Detta är en vara som ofta har långa leveranstider vilket resulterar i frågeställningen om styrningen av detta material skiljer sig mot andra.

Den initiala tanken vara att för varje enskilt valt material hitta information om beställningstidpunkt (avropsdatum), planerad leverans, faktiskt leverans, samt tiden mellan faktiskt leverans och start av den aktivitet i tidplanen som det specifika materialet var knutet till, för ett avslutat projekt. Detta skulle resultera i en dokumentation av leveransprecision och materialens liggtider på byggsplatsen. Denna information skulle sedan ligga till grund för vidare forskning av hur byggbranschen skulle kunna nyttja den tillverkande industrins metoder för att beräkna nyckeltal etc.

Arbetet bestod av manuell sökning i fakturapärmar, leveransbekräftelser, dagböcker, och tidplaner. Efter ett par dagars arbete av tre personer avbröts undersökningen då det visade sig allt för svårt att hitta den information som krävdes i det valda projektet. Istället valdes ett annat avslutat projekt där entreprenören sades använda sig av elektroniska dokument. Dessa elektroniska dokument gick att finna i projektets dokumenthanteringssystem vilka bestod av inskannade pappersfakturer i pdf-format. Åtkomst till dessa dokument gick endast att få via platschefens, respektive arbetschefens datorer. Arbetet fortsatte ändå, via platschefen dator, men det visade sig även i detta fall att spårbarheten i dokumenten var väldigt begränsad. Exempelvis var pdf-filerna tvungna att öppnas för att kunna veta vad de innehöll och för att t.ex. få information om inköpssumman för en specifik leverantör krävdes manuellt arbete där pdf-filer öppnades och summan för varje faktura noterades för hand. Även i detta fall saknades en dokumentation om leverantörernas leveransprecision, kvalitet etcetera. Denna metod var alltså bara en digital variant av pärmarna med fakturer vilket inte underlättade arbetet med kartläggningen.

Det beslutades att göra ett tredje försök, den här gången på ett pågående projekt i hopp om bättre spårbarhet. Till en början var detta arbete lite lättsammare än i föregående projekt men efter ett tag upptäcktes att något inte stämde med materialleveranserna. Materialåtgången enligt tidplanen var mer än vad som fanns fakturerat till. För att kontrollera detta kontaktades projektets platschef för att få tillgång till de dagböcker som skrivits under projektiden. Från början skulle detta inte vara några problem men efter några veckors konversation visade det sig att dessa böcker inte gick att få tillgång till och därmed saknade även spårbarhet i detta projekt.

Till en början ansågs att undersökningen misslyckad men vid närmare eftertanke så kunde istället fastställas att dagens informationshanteringssystem i byggbranschen är för bristfällig för att kunna arbeta på ett mer industrialiserat sätt för att utvecklas med ständiga förbättringar och öka produktiviteten.

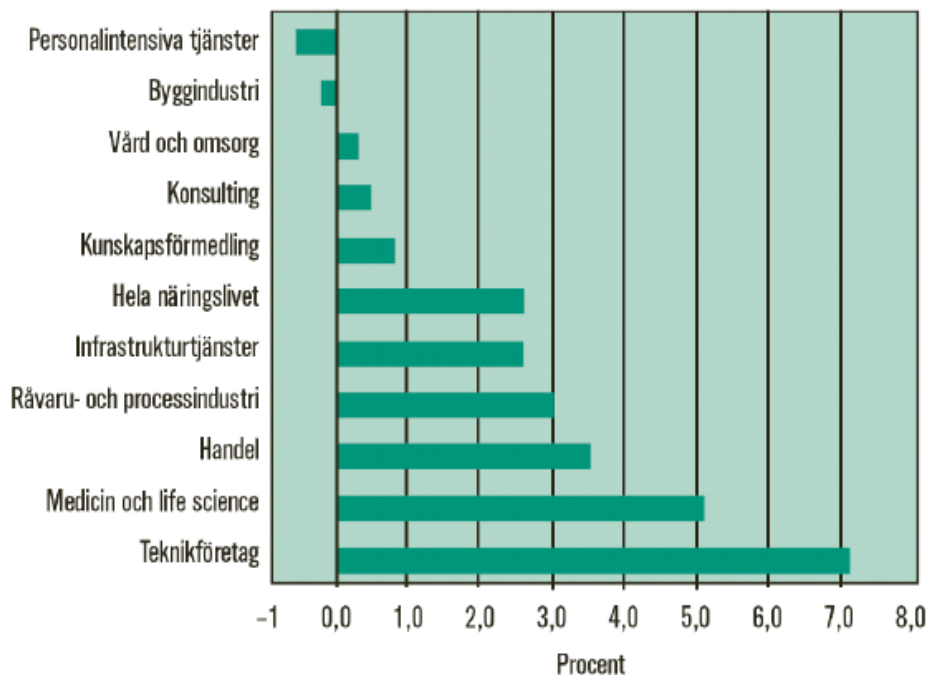
Utöver denna studie har även andra studier gjorts av studenter i olika projektarbeten vid Englunds Hus, Lindbäcks Bygg, NCC, Part AB; Bredenberg et al (2007), Ek et al (2007), Ekholm et al (2007), Ek (2008), Hedborg et al (2008)

2.5.2 Byggindustrin saknar integrerade datoriserade hjälpmedel

Vi har konstaterat att det inom byggindustrin florerar en mängd olika datoriserade system för att hjälpa arkitekter, göra offertkalkyler, göra slutliga kalkyler, även till viss del planera produktionen; men de olika systemen utgör isolerade öar. Inom byggindustrin finns inte motsvarighet till det integrerade datoriserade hjälpmedel som används inom den traditionella ”fasta” tillverkande industrin oftast benämnt ERP- system (Enterprise Resource Planning). Ett flertal olika ERP-system finns tillgängliga att inhandla med konsultstöd på marknaden exempelvis SAP/R3, Oracle, Jeeves, ASW, Monitor etc; från stora system till mindre. Vi känner till att byggföretag försökt installera dessa traditionella ERP-system men misslyckats. Nedan kommer vi att söka förklara varför traditionella ERP-system inte passar byggindustrin. Först vill vi dock diskutera en sammanställning av produktivitsutveckling åren 1995-2003 i figur 1 nedan, om spill och slöseri, samt skillnad i organisatorisk uppbyggnad och produktionsprocess mellan byggindustrin och traditionell tillverkande industri.

2.5.3 Byggindustrin uppvisar låg produktivitetsutveckling; spill och slöseri!?

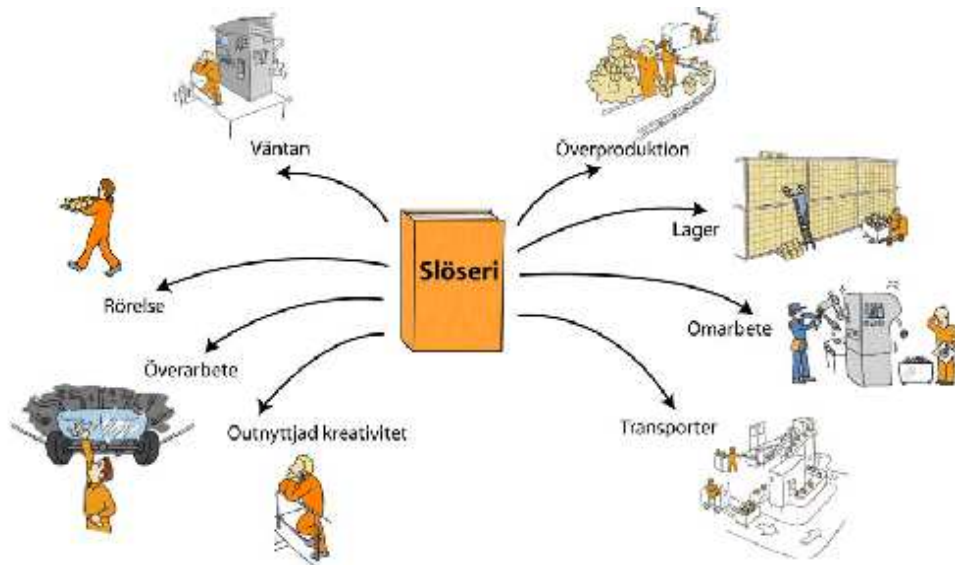
Utvecklingen för byggindustrin, som visas i *Figur 7*, är mycket dyster; vi är inte säkra på hur det räknats ut, och vi är medvetna om svårigheterna att hitta adekvata jämförelsesiffror, men förmodligen ger sammanställningen en finger-visning om att byggbranschen har haft en låg produktivitetsutveckling jämfört med övriga branscher. ("Miljonprogrammet" under 1950-60 talet byggdes förmodligen effektivare än många av dagens byggprojekt!?)



Figur 7: Produktivitetsutveckling 1995 – 2003. (SCB)

Inom den traditionella tillverkande industrin söker man skapa produktionssystem som minimerar spill och slöseri. Inspiration har hämtats från "Toyota Production System" och "Lean Production"; men strävan efter effektiv produktion är ingen nymodighet, den fanns säkert när man byggde pyramiderna och Henry Fords biltillverkning och "Scientific Management" från 1930-talet innehåller denna strävan. Spillet och slöseriet kan indelas i följande delmängder:

- *Överproduktion* - tillverka mer eller tidigare än vad som behövs. Det värsta av slöserierna, eftersom det orsakar flera andra
- *Väntan* – beror ofta på driftstörningar, dålig balansering eller materialbrist. En maskin kan stå i vänteläge om inget tillverkningsbehov finns, människor kan ha mer än en boll i luften under en dag, göra förbättringsarbete och annat arbete.
- *Onödiga lager och buffertar* – för stora lager och buffertar döljer problem i tidigare led. Det skapar en falsk trygghetskänsla; förråd, lager och buffertar kräver dessutom yta, utrustning och personal.
- *Rörelse* - onödiga rörelser när medarbetarna utför sina jobb
- *Fel, omarbete och kassationer* – skapar slöseri genom reparationsarbete, förseningar och till och med kassationer; kan skapa stora förluster genom kapacitetsbortfall och minskad försäljning
- *Överarbete, onödiga arbetsmoment* – om finprecision bara är nödvändig vid lager och drev är det slöseri att finbearbeta övriga delar av en drivaxel; att göra mer arbete än vad kunden kräver
- *Onödiga transporter* – varor eller material transporteras ibland omvägar både på och utanför företaget utan att skapa värde i produktionen
- *Medarbetarnas outnyttjade kreativitet* – (var inte med bland de ursprungliga, men har sedan lagts till som det åttonde slöseriet); man använder inte allas kunskaper och erfarenheter på bästa sätt)

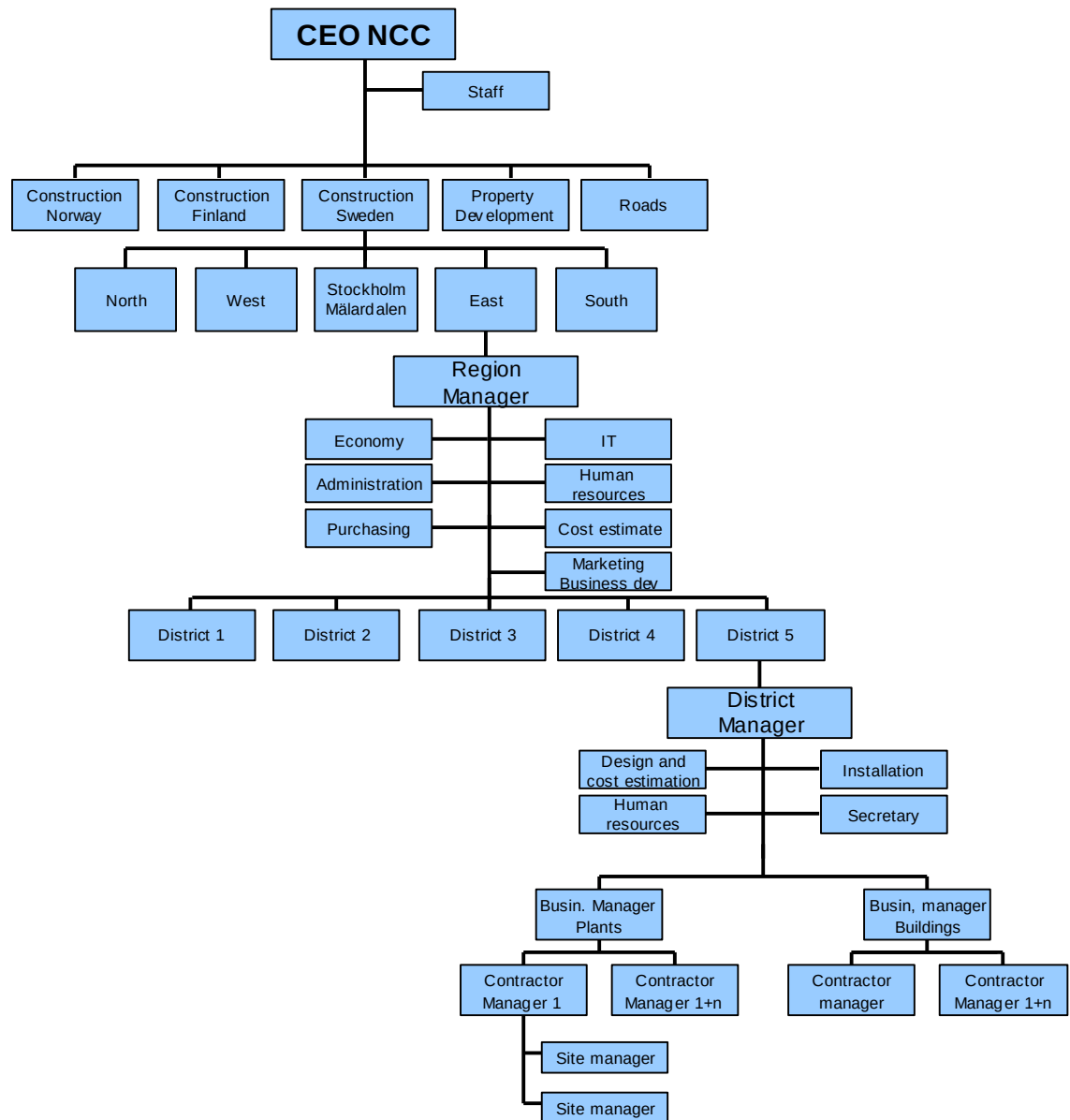


Figur 8: Typer av slöseri och spill. (Segerstedt, 2008) och (Swerea IVF)

Figur 7 (om produktivitetens utvecklingen) signalerar att byggindustrin inte på samma sätt som annan tillverkande industri lyckats bekämpa spill och slöseri (enligt Figur 9). I en sådan strävan har utan tvekan ett integrerat informationssystem (ERP) hjälpt många tillverkande företag att undvika överproduktion, undvika att glömma beställa hem material, undvika materialankomster i förtid, onödigt leta material i den egna produktionsanläggningen, undvika väntan för att bestämma vilket jobb som skall göras närmast etc.

2.5.4 Skillnaden i process och organisatorisk uppbyggnad förklarar saknaden av integrerade datoriserade hjälpmedel inom byggindustrin

Byggföretag visar oftast en organisatorisk uppbyggnad som är geografiskt orienterad. Regionchefer, distriktchefer och under distriktchefen starka platschefer som självständigt driver de konkreta byggprojekten. Olika platschefer, "under" samma distriktchef, är ofta specialiserade på en viss typ av byggprojekt; bostad, anläggning, kontor etc av olika typer. "Produktorienteringen" till olika typer av byggprojekt kommer relativt längre ned i organisationen jämfört med ett traditionellt tillverkande företag, se Figur 9.



Figur 9: Exempel på ett byggföretags organisationsstruktur (Wallström et.al. 2009)

Byggföretagens organisation visar att det är viktigt även för dess produktion att vara nära sina kunder, känna marknaden och vara "nära" sina underleverantörer. Det är inte lika viktigt i ett traditionellt tillverkande företag, där ligger "produktionsorienteringen" högre upp i organisationsnivån, och en geografisk indelning gäller mestadels företagets försäljningsorganisation.

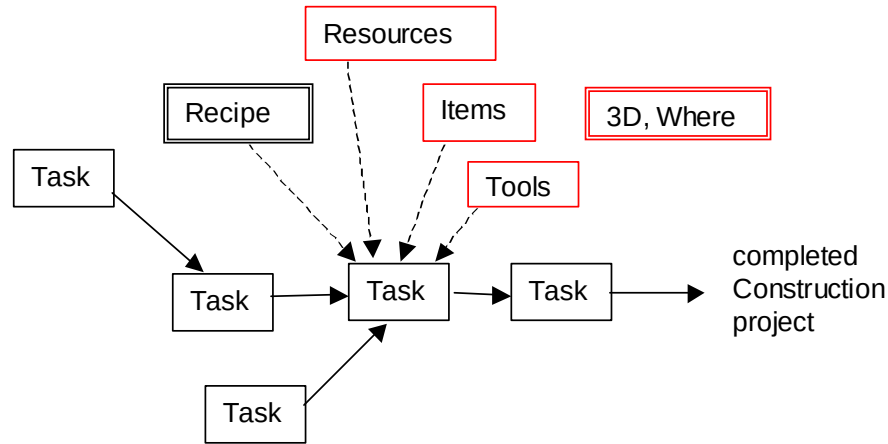
Inom byggindustrin verkar många projekt drivas som företag inom företaget, det viktiga är att när projektet är färdigt att inkomsterna är större än utgifterna. Annan uppföljning lämnas mestadels åt respektive platschef.

I ett traditionellt tillverkande företag kan produktionen oftast inte delas upp i projekt som kan slutföras och sedan arkiveras, utan produktionsprocessen måste mer kontinuerligt uppföljas. Det traditionellt tillverkande företaget blir mer centralstyrt, behovet av ett integrerat informationssystem mer uppenbart, och lättare att övertyga alla inblandade att det måste utvecklas, implementeras och användas.

2.5.5 Integrerat datoriserat hjälpmedel för byggindustrin

Men, traditionella ERP-system är uppbyggda kring slutprodukters (eller säljartiklars) produktstrukturer. Slutprodukten i byggindustrin är inte en färdigställd eller monterad "artikel", utan ett färdigställt "projekt"; detta gör att ett traditionellt ERP-system inte passar byggindustrin. Vad som är "artikel" eller "projekt" är i och för sig inte självklart, det är en definitionsfråga, men nedan argumenterar vi hur ett byggprojekt borde behandlas i ett informationssystem, ett sätt som inte är möjligt i ett traditionellt ERP-system.

En **aktivitet** (= *task*) är ett speciellt jobb som skall utföras i byggprojektet, exempelvis bygga en speciell vägg, installera tvättställ och/eller toalettstol etc. Aktiviteten eller jobbet skapas med hjälp av det recept (recipe) som behandlar aktuell aktivitet; receptet ger underlag för hur mycket tid som behövs för utförandet och hur stor kvantitet av olika material. Till aktiviteten är därmed knutet **artiklar**, det vill säga hur mycket material och vilken typ av material (gipsskivor, fönster etc.) som förväntas konsumeras av aktiviteten. Det kan vara flera olika typer av material, därför kan flera artiklar och dess kvantitetsförbrukning vara knuten till en aktivitet. Till aktiviteten är knuten **resurser** (= *resources*), resursen är den verkliga utföraren av aktiviteten. Alltså mestadels egen personal eller underleverantörer med olika kvalifikationer: träbyggare, målare, rörmokare etc. Ibland behövs ett speciellt **verktyg** (= *tool*) vara tillgängligt för att aktiviteten skall vara möjlig att utföra, exempelvis en speciell grävmaskin, lyftverktyg etc. Då bör verktyget knytas till aktiviteten och planeras vara tillgängligt när aktiviteten skall börja. I ett större bygge kan exempelvis samma typ av vägg byggas men på flera olika platser; därför skall aktiviteten alltid knytas till en tredimensionell koordinat eller plats (**3 D**). För aktiviteten bestäms som nämnts ovan **planerad tidsåtgång** och nödvändiga **omedelbara föregångare**, det vill säga tidigare aktiviteter som måste vara färdiga innan aktuell aktivitet kan startas.



Figur 10: Principiell bild över ett byggprojekt.

Utifrån planerad start för de första aktiviteterna i projektet (aktiviteterna utan omedelbara föregångare) och en kalender kan då beräknas tidigaste start för varje aktivitet och tidigaste färdigtidpunkt för projektet. (Alternativt om användaren så önskar från en planerad färdigtidpunkt för projektet senaste start för alla aktiviteterna.) Informationssystemet, låt oss kalla det ett CRP-system (Construction Resource Planning) istället för ERP, kommer i detta avseende att fungera som ett traditionellt system för projektplanering (Pert, CPM, Microsoft Project Scheduling). För varje aktivitet jämförs tidigaste färdigtid med senaste färdigtid och slacket beräknas; inte bara vid projektets start utan det uppdateras kontinuerligt efter inrapporterade start och färdigställande av aktiviteterna. De aktiviteter som utgör den *kritiska linjen* uppmärksammas och prioriteras löpande.

Eftersom varje aktivitet har en planerad starttidpunkt, så har även nödvändigt material, resurser och eventuella verktyg samma starttidpunkt och behovstidpunkt. Informationssystemet, CRP-systemet, kan därmed för projektet presentera den totala mängden av olika material och också med vilken kvantitet vid olika tidpunkter som är planerade att förbrukas. Detta ger underlag för köpekontrakt med materialleverantörer, men också underlag för avrop av kvantiteter när de verkligen behövs i projektet. Detta för att undvika för stor kvantitet material lagerhållen vid byggarbetsplatsen, undvika eventuella lager- och fuktskador, stölder m m.

När en aktivitet är färdigställd rapporteras detta till CRP-systemet. Detta kommer eventuellt frigöra en annan aktivitet för att utföras, då alla dess omedelbara föregångare är utförda. Ifall starttiden för aktiviteten rapporterades så med hjälp av en kalender kan uträknas använd tid som kan jämföras med planerad utförandetid. Därmed kan en databank av erfarenhet skapas för det recept som låg bakom aktiviteten i fråga.

Färdigställda aktiviteter noteras i en 3D-modell av projektet. Användaren kan då se hur långt eller i vilken utsträckning som projektet färdigställts. (När användare kan se att bilden överensstämmer med verkligheten, kommer de att känna sig "trygga" med systemet; och fortsätta att rapportera och sköta systemet på ett korrekt sätt!)

I ett traditionellt ERP-system, för fasta tillverkande industrin, inträffar nästan aldrig att verkliga utfallet blir exakt som planerat! Men inleveranser, utleveranser, lagersaldon m m uppdateras och hänger med, man får signal om vad som är försenat, vad som nu behöver beställas etc; ERP-systemet hjälper användaren att hantera avvikelser och variationer, användaren tappar inte greppet över situationen.

Sammaledes behövs för byggindustrin, CRP-systemet skall möjliggöra förändring och omplanering av alla aktiviteter. Om den ursprungliga planeringen och dess tidsättning blir kullkastad av olyckor, "force majeure" eller andra mer naturliga orsaker så är den ursprungliga planeringen tämligen värdelös för fortsatt hantering av projektet. Förseningar och även tidigare avslut av aktiviteter skall automatiskt förändra planerade starttidpunkter för andra berörda aktiviteter. Avrop av material förändras till nya tidpunkter. (Den ursprungliga tidplanen bör naturligtvis sparas i bakgrunden för att framtiden möjliggöra analys och skapa erfarenhet för framtida liknande projekt.)

För varje material och artikel håller CRP-systemet reda på inköpsorder, planerade inleveranser, ankomster, lagersaldon och förbrukning vid byggarbetsplatsen. CRP-systemet hanterar material och artiklar på i stort sett samma sätt som ett traditionellt ERP-system.

CRP-systemet visar platschefen vid bygget och dennes assistenter när och vilken typ av resurser som behövs för projektet. Underleverantörer är en resurs, projektet bör vara åtkomligt via Internet därmed kan underleverantörerna följa projekt och erhålla information när deras aktiviteter i projektet skall utföras. (Därmed slipper underleverantörerna inspektera byggarbetsplatsen fysiskt för att konstatera hur långt bygget har avancerat och när det är tid för dem att utfö-

ra sina aktiviteter. Eller att projektadministrationen behöver ”jaga” in underleverantören för ett jobb som redan skulle ha varit utfört.)

Vid ett givet tidsögonblick visar CRP-systemet de aktiviteter som är möjliga att utföra. Detta innebär att material (artiklar) och verktyg är tillgängliga och att omedelbara föregångare är rapporterade utförda. Projektadministrationen ansvarar för att nödvändiga resurser finns tillgängliga. Förstemännen eller produktionsledare för olika resurstyper kan själva välja vilken aktivitet att göra härnäst, givetvis med prioritering av aktiviteter som berör kritiska linjen och har litet ”slack”, inte krockar på så sätt att flera aktiviteter försöks göras på samma plats eller rum. Detta reducerar väntetiden för resurserna, de behöver inte vänta till att platschefen eller platsadministrationen berättar vilken aktivitet som skall utföras. När det i ett givet ögonblick finns många aktiviteter möjliga att utföra för en resurs (snickare, målare, underleverantör etc) så är det ett tecken på att resursen kommer att bli eller redan är en trång sektion, en flaskhals. Begränsningar i resursen hindrar ett snabbare slutförande av projektet. Mer kvantitet eller högre effektivitet i resursen kommer att minska ”kön” av aktiviteter och projektet kan färdigställas tidigare.

Eftersom de olika aktiviteterna har planerad starttid och planerad utförandetid så kan en beläggningsprofil framställas av CRP-systemet för olika resurser. Det vill säga hur mycket kapacitet av olika resurser som behövs vid olika tidpunkter (veckor). I en sådan beläggningsprofil kan också hänsyn tas till ”slacket” så att piken i resursbehovet reduceras genom att utförande av aktiviteter flyttas till tidpunkter med mindre behov men på så sätt att aktiviteten trots detta inte försenar hela projektet.

CRP-systemet måste kunna hantera subprojekt (underprojekt), som är delar av ett större projekt. När ett stort byggprojekt startar och aktiviteter för projektets början har definierats, inklusive dess omedelbara föregångare, nödvändigt material och resurser till dessa aktiviteter fastställts; så förmodligen har ännu inte det precisa slutet vad gäller produktionsaktiviteter slutgiltigt bestämts. Därför måste ett stort byggprojekt vara möjligt att dela in i ”moduler”. Detta gör det också möjligt att ”låna” en modul från ett annat liknande byggprojekt, vilket kommer att förkorta tiden för att utföra beredningen och planeringen av projektet. Subprojektet utgör alltså en mängd av aktiviteter som hör samman, det kan exempelvis också vara en ”volym” som sätts samman i fabrik för att sedan fraktas till bygghus och sammanfogas med andra ”volymen”.

3 STYRNING OCH UPPFÖLJNING AV LEVERANSER

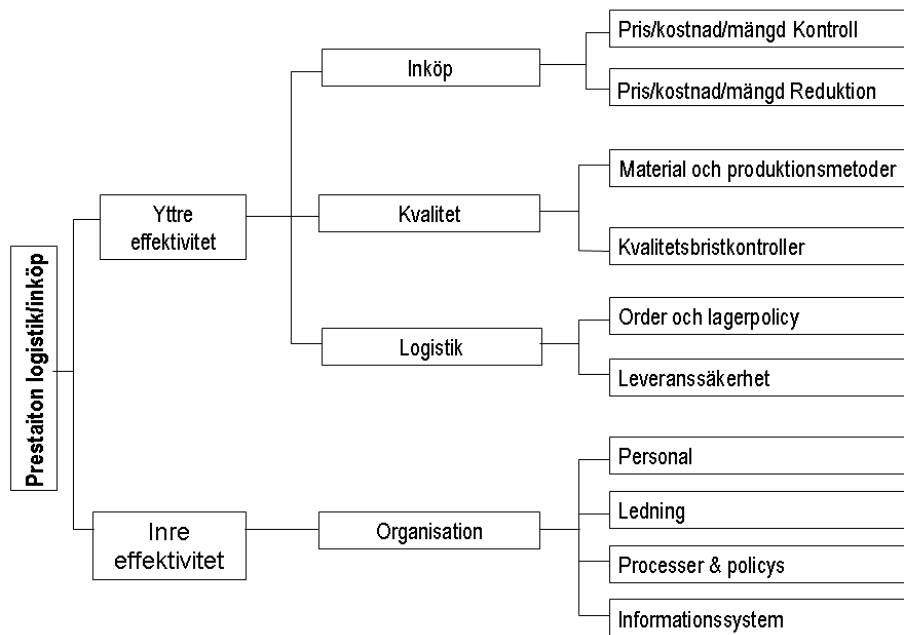
3.1 Allmänt

Affärssystemen som används inom produktion ger ett stöd och möjlighet till styrning av materialflöden och spårbarhet av ekonomiska transaktioner. Materialplaneraren/inköparen får varningssignaler från systemet om att beställa artiklar som antingen har låga lagersaldon eller artiklar som prognostiseras att ta slut inom en snar framtid. För vissa system innebär en snar framtid ett visst tidsintervall för andra system är en snar framtid relaterat till leddtiden för anskaffningen från beställningen till att materialet finns på lastbryggan. Bevakningen av beställningar kan vara automatisk. Systemet larmar om en leverans inte har anlänt enligt utsatt tid eller så kan bevakningen skötas manuellt av den ansvarige genom att jämföra listor över beställda leveranser med ankomna leveranser. Oavsett metod får den ansvarige undersöka avvikelser. När en leverans anländer registreras händelsen.

Registreringen kan se olika ut beroende av organisation och storlek på företaget. Större företag har ofta speciella godsmottagningsenheter där leveransen kontrolleras och bokförs i affärssystemet. Mindre företag har nödvändigtvis inte speciella enheter för mottagning utan den som tar emot godset skriver datum och klockslag på följesedeln som lämnas till den ansvarige. Leveransen placeras därefter på avsedda platser så att produktionen kan börja använda materialet. Bokföringen av en leverans kan även innefatta kontroll av det som levererats. Hur mycket av det levererade uppfyller de fastställda kvalitetskraven? För att kunna göra uppföljningar mäts en leverans ur ett flertal olika perspektiv:

- Procent/antal felfritt levererade orderrader
- Procent/antal felfria leveranser
- Procent/antal felfria leveranser i förhållande till ledtid
- Procent/antal felfria leveranser i förhållande till önskade leveranser (leveranstid < normal ledtid, "akutleveranser")
- Procent/antal leveranser med kvalitetsavvikelser

Måtten hjälper inte enbart det egna företaget att hitta dåliga leverantörer utan är också till hjälp för leverantörer som anses vara dåliga. Diskussioner kan föras med leverantörer kring faktiska mätdata kring de leveransmått som är svaga och hur en förbättring kan genomföras istället för att företag och leverantör munhuggs kring känslan av dåliga leveranser.



Figur 11: Struktur över prestationsrelaterade mått för logistik/inköp

Måtten kan delas in i två huvudgrupper, yttre effektivitet och inre effektivitet. Yttre effektivitet är förhållandet mellan faktiskt resultat och planerat resultat. Denna huvudgrupp avser externa prestationer och utgörs här av leveransrelaterade mått som exempelvis leveransprecision. Inre effektivitet utgörs av förhållandet mellan använda resurser och planerade resurser och är främst en intern

angelägenhet. Det finns dock vissa externa kopplingar. Uppföljningen av huruvida policys som gäller leverantörer har fått genomslag eller ej, underlättas av att det finns ett system som lagrar informationen kring leverantörerna på ett sökbart sätt.

Naturligtvis finns det tillverkande företag som är bättre och sämre på att ta till vara på de möjligheter som deras affärssystem ger. Den stora skillnaden mellan byggproduktion och vanlig produktion med avseende på hantering av materialflöden är tillgången till data och bokföringen av data. Genom rutinerna att alltid bokföra händelser och spårbarheten i affärssystemet skapas möjligheter till att kunna göra uppföljningar som leder till en förbättrad precision.

De mått som används inom industrin skulle kunna användas inom byggprojekt. Några lämpliga tillägg är att kunna mäta förhållandet mellan leveranser mot ledtid och önskade leveranser samt förhållandet mellan utkörda leveranser och egenhämtade leveranser. Detta är en indikation över hur pass väl planeringen lyckats i ett projekt.

3.2 Traditionella metoder inom tillverkande industri

3.2.1 Genomsnittslager

För de flesta företag är det nödvändigt med en viss lagerhållning. För att åstadkomma en störningsfri produktion krävs oftast lager av råvaror och halvfabrikat, och för att tillräckligt snabbt möta efterfrågan från kunderna krävs ibland lager av färdiga produkter.

Ett lager förändras antingen genom påfyllning eller genom uttag, se Figur 12 nedan. Påfyllningen sker genom inköp eller genom egen produktion. Uttag sker på grund av försäljning eller för användning i den egna produktionen. Anledningen till att man behöver hålla lager är att av olika anledningar, oftast kostnadsskäl, påfyllning och uttag inte sker samtidigt eller med samma kvantiteter.

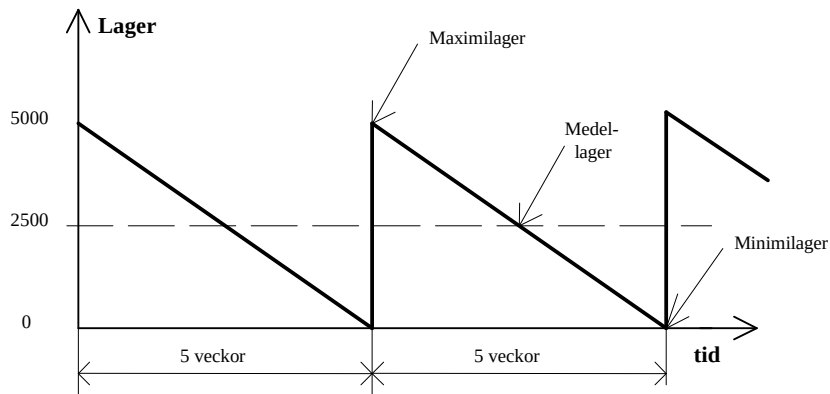


Figur 12: Beskrivning av påfyllning och uttag i ett lager

I traditionell styrning av lager handlar det om att minska kostnaden för kapitalbindning samtidigt som lagret kan möta efterfrågan i tillräcklig omfattning (servicenivå). Vad som är tillräckligt är beroende av vilken servicenivå som eftersträvas. En högre servicenivå innebär en högre kapitalbindning.

Ett mått som gör det möjligt att mäta kapitalbindningen är *genomsnittslager*. Om det är möjligt att göra antagandet att förbrukningen är jämnt fördelad över tiden, då utgörs genomsnittslagret (medellagret) av genomsnittet av maximilagret och minimilagret, se Figur 13. *Minlagret* är det minsta lager man har i företaget vid någon tidpunkt. Om påfyllning av lagret sker först när lagret är slut, är minimilagret lika med noll kg. *Maxlagret* är det största lager man har i företaget vid någon tidpunkt. Om minimilagret är noll, så är genomsnittslagret lika med halva inköpskvantiteten. (Segerstedt (2008))

$$\text{Genomsnittslager} = \frac{\text{Maxlager} + \text{Minlager}}{2}$$



Figur 13: Lagerförändringar i lager

3.2.2 Omsättningshastighet

Vad som är lämpligt en lämplig mängd att lagerhålla har varierat över tiden. Under den tidigare delen av industrialismen ansågs stora lager att vara ett tecken på rikedom. I samband med depressionen på 1920-talet i USA var det stort fokus på lageromsättningshastigheten. Så stort att företag upphörde att lagerfö-

ra artiklar för att höja sin omsättningshastighet med katastrofala följder för företaget. Måttet blev viktigare än verkligheten.

Omsättningshastighet är en adekvat indikator när nuvarande status/prestationer ska jämföras med historiska prestationer inom samma företag eller division. Vid jämförelser mellan företag kan måttet vara vilseledande. En högre omsättningshastighet behöver nödvändigtvis vara bättre. Fördelarna med måttet är att det enkelt att använda och förstå och därmed lämpligt som måttstock Omsättningshastighet är kvoten mellan omsättning och medellager

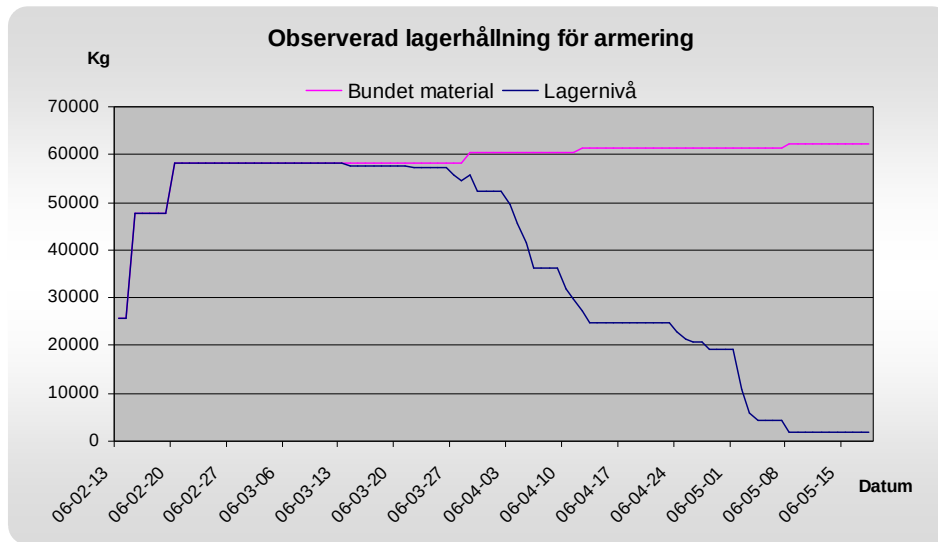
$$\text{Omsättningshastighet} = \frac{\text{Omsättning per år (förbrukning)}}{\text{genomsnittslager}}$$

3.3 Tillämpning i byggprojekt

3.3.1 Lagerperioder och medellager

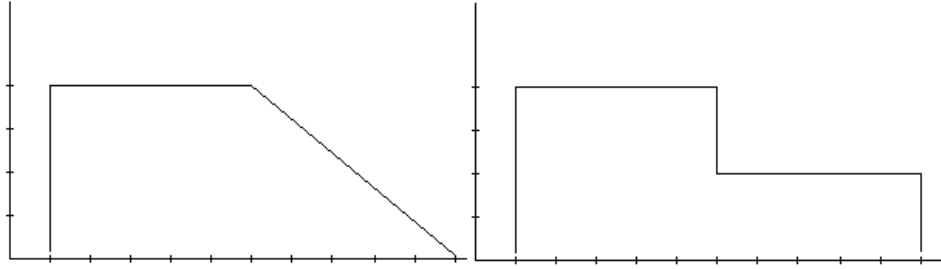
Syftet med lagerperioder, eller periods in stock (PIS), är att måttet visar på exponeringstid och antal för ett material. I undersökningar kring det faktiska priset för en gipsskiva utgör kapitalbindningen ett par procent av kostnaden. Skador, spill och svinn står för 40 procent av kostnaderna för en gipsskiva. Ju längre tid ett material exponeras på en byggarbetsplats desto större risk för skostnader. Figur 14 visar ett typfall för materialleverans. Materialet anländer långt innan det är dags att använda det därmed uppstår det en liggtid. Tiden från leverans till att material börjar byggas in. Måttet är tänkt att används vid utvärdering av "lager", leverantörer och projekt. Måttet är såväl närlogistik som supply chain management relaterat. Måttet beräknas efter att materialet har används. Det är inte tänkt att ge ett operativt stöd i den dagliga verksamheten utan snarare att via utvärderingar hitta lämpligare sätt att styra flöden i projekt samt att hitta material och leverantörer som orsakar flaskhalsar och därmed hindrar effektiva flöden. Det behöver inte nödvändigtvis vara enbart ett projekt som utvärderas. Att utvärdera samma eller liknande material eller leverantörer från flera projekt ger en möjlighet till en tydligare bild av förbättringspotentialen. Anledningen till att måtten inte är tänkt som ett operativt stöd beror på skillnaden mellan traditionell industri och byggprojekt. Ett traditionellt lager fylls på kontinuerligt. Efterfrågan från samma lager kan vara mer eller mindre känd ofta baserad på någon form av prognos med inslag av osäkerhet. Med dessa premisser blir det viktigt att lagersaldon bevakas. Om prognosen är större än den faktiska efterfrågan kommer lagret att växa och kapital att bindas om

inte påfyllningen till lagret regleras. Förändringar i efterfrågan måste justeras för att kunna möta efterfrågan utan för stora lager. I ett byggprojekt är efterfrågan för material väl underbyggd i förhållande till industrin. Hur väl materialet efterfrågan stämmer överens beror till stor del på hur korrekta recepten är.



Figur 14: Observerad lagerhållning för armering. Armeringen levereras i två omgångar och har en liggtid på nästan på nästan en månad innan aktiviteterna startar. Källa "Hantering av form och armering vid brobyggnad" pågående examensarbete av Tomas Lindström

För att beräkna medellager finns det olika metoder för att göra det. Ett sätt är att via lagersaldon beräkna hur många gånger de olika saldona förekommer och bestämma medelvärde. Ett annat är att basera genomsnittet på en integrering av arean som är under linjen. Area kan beskrivas som totalt antal lagerperioder. I den vänstra delen av Figur 15 ser man leveransen som sker i period 1. Period 6 startar inbyggnaden. Den produktiva fasen kan beskrivas ha ett lager som i genomsnitt är medel av max- och minvärdena. Area är lika i båda fallen. Matematiskt sker en subtraktion, halva antalet av åtgången för aktiviteten, den första inbyggnadsperioden (period 6) därmed är saldot lika med medelvärde för inbyggnadsperioden. Efter inbyggnaden är klar subtraheras återigen halva antal av åtgången för aktiviteten, se högra delen av Figur 15.



Figur 15: Den vänstra grafen visar en leverans och en aktivitet som börjar tidsperiod 7. I den högra grafen har medelvärde av lagersaldo för aktiviteten. X-axeln visar tidsperioder och y-axeln lagersaldo

$$\sum_{t=1}^N PIS_t = \text{Lagerperioder} \quad (\text{Ekvation 1})$$

$$PIS_t = \sum_{d=1}^D leverans_d - \sum_{a=1}^A aktivitet_{a \text{ start}} - \sum_{a=1}^A aktivitet_{a-1 \text{ slut}} + PIS_{t-1} \quad (\text{Ekvation 2})$$

För den första perioden, $t=1$, ser ekvationen ut på följande sätt:

$$PIS_{t=1} = \sum_{d=1}^D leverans_d - \sum_{a=1}^A aktivitet_{a \text{ start}} \quad (\text{Ekvation 3})$$

$leverans_d$ = antal levererade enheter från leverans d

$$aktivitet_{a \text{ start}} = \frac{\text{totalt antal inbyggda enheter för aktivitet } a}{2} \text{ i tidsperiod } t$$

$$aktivitet_{a-1 \text{ start}} = \frac{\text{totalt antal inbyggda enheter för aktivitet } a-1}{2} \text{ i tidsperiod } t$$

t = Tidsperiod

N = Antal perioder

d = Leveransnummer d period t

D = Antal leveranser tidsperiod t

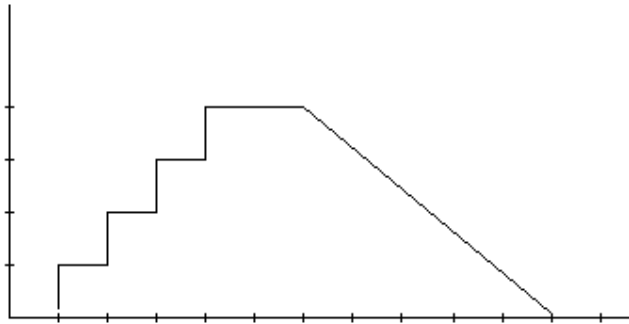
a = Antal levererat material av leverans d period t

D = Antal leveranser tidsperiod t

$$\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N PIS_t = M$$

M = Medellager under tidsperioden för aktuellt material

För att göra ovanstående exempel mindre abstrakt följer ett exempel där allt material inte levereras på en gång utan det sker fyra leveranser av materialet. Vid aktiviteten byggs allt material in, se Figur 16 och Tabell 2. Ligg tiden för leveranserna varierar mellan 2-5 perioder.



Figur 16: Material med fyra leveranser och en aktivitet

Tabell 2: Sammanställning material med fyra leveranser och en aktivitet inklusive lagersaldo och lagerperioder. Period 2 är lika med period 1 för beräkningarna.

Period	Leverans	Lagersaldo	Lagerperioder
1			
2	10	10	10
3	10	20	30
4	10	30	60
5	10	40	100
6		40	140
7		20	160
8		20	180
9		20	200
10		20	220
11		20	240
12		0	240

För att beräkna antal lagerperioder behövs inte lagersaldot utan en indikation när inbyggnad har startat, när inbyggnad har avslutats samt den mängd av materialet som har använts. 20 motsvarar medelsaldo för inbyggnadsperioden.

$$PIS_1 = 10 - 0 - 0 + 0 = 10$$

$$\text{Lagerperioder} = 10$$

$$PIS_2 = 10 - 0 - 0 + 10 = 20$$

$$\text{Lagerperioder} = 20 + 10 = 30$$

$$PIS_3 = 10 - 0 - 0 + 20 = 30$$

$$\text{Lagerperioder} = 30 + 30 = 60$$

$$PIS_4 = 10 - 0 - 0 + 30 = 40$$

$$\text{Lagerperioder} = 40 + 60 = 100$$

$$PIS_5 = 0 - 0 - 0 + 40 = 40$$

$$\text{Lagerperioder} = 40 + 100 = 140$$

$$PIS_6 = 0 - 20 - 0 + 40 = 20$$

$$\text{Lagerperioder} = 20 + 140 = 160$$

$$PIS_7 = 0 - 0 - 0 + 20 = 20$$

$$\text{Lagerperioder} = 20 + 160 = 180$$

$$PIS_8 = 0 - 0 - 0 + 20 = 20$$

$$\text{Lagerperioder} = 20 + 180 = 200$$

$$PIS_9 = 0 - 0 - 0 + 20 = 20$$

$$\text{Lagerperioder} = 20 + 200 = 220$$

$$PIS_{10} = 0 - 0 - 0 + 20 = 20$$

$$\text{Lagerperioder} = 20 + 220 = 240$$

$$PIS_{11} = 0 - 0 - 20 + 20 = 0$$

$$\text{Lagerperioder} = 0 + 240 = 240$$

Under den tidsperiod som materialet har använts är resultatet totalt 240 perioder. Medellagret för denna artikel blir $240/10 = 24$ stycken/period

3.3.2 Kapitalkostnad för kapitalbindning med hänsyn till betalningsvillkoren

En minskad kapitalbindning medför positiva effekter för verksamheten är ett vanligt förekommande mantra. Att minska lagret är ett vanligt sätt att frigöra kapital inom industrin. Dock bör hänsyn tas till konsekvenserna för minskad lagerbindning. Vilka kostnader kan en för drastisk minskning medföra? För att kunna mäta konsekvenserna för kapitalbindning som beror på hur beställningar och leveranser görs bör man mäta så långt som möjligt de kostnader som uppstår till följd av den faktiska kapitalbindningen och därigenom kan en vägning göras mellan kostnad för kapitalbindning kontra kostnaderna för brist som leder till förseningar och stillestånd. Därför bör hänsyn till betalningsvillkoren tas för att kunna beräkna den faktiska kapitalbindningen. Perioderna som är betalningsfria medför ingen kapitalbindning. Ett förenklat antagande för kapitalkostnaden är att när en leverans är inbyggd sker en betalning till byggföretaget. I praktiken kan betalning ske både före och efter. Detta kräver en utökad spårbarhet jämfört med de data som är tänkt att finnas tillgängliga.

$$\frac{\text{antal lagerperioder utan betalningsfria perioder}}{\text{antal perioder för materialet}} = \text{Medellager för materialet}$$

under projektet

$$\text{värdet/st.} \cdot \frac{\text{antal lagerperioder utan betalningsfria perioder}}{\text{antal perioder för materialet}}$$

$$\cdot \frac{\text{antal perioder för materialet}}{\text{antal perioder/år}}$$

Ovanstående formel kan förenklas matematiskt genom att plocka bort "antal perioder för materialet", vilket ger följande utseende:

$$\begin{aligned} \text{Kapitalbindning}_{\text{betalningsvillkor}} &= \\ &= \text{värdet/st} \cdot \frac{\text{antal lagerperioder utan betalningsfria perioder}}{\text{antal perioder/år}} \end{aligned}$$

Kostnad för kapitalbindning:

$$\begin{aligned} \text{Kapitalbindning}_{\text{betalningsvillkor}} &= \\ &= \text{ränta} \cdot \text{värdet/st} \cdot \frac{\text{antal lagerperioder utan betalningsfria perioder}}{\text{antal perioder/år}} \end{aligned}$$

Med styck menas den enhet man har valt att mäta material i. Det kan lika gärna vara kg, liter eller någon annan enhet.

$$\sum_{l=1}^{TD} \sum_{t_l=NN_{l\text{ start}}}^{NN_l} EK_{t_l} = \text{Antal lagerperioder utan betalningsfria perioder}$$

$$\sum_{l=1}^{TD} \sum_{t_l=NN_{l\text{ start}}}^{NN_l} EK_{t_l} = \sum_{t_1=NN_{1\text{ start}}}^{NN_1} EK_{t_1} + \sum_{t_2=NN_{2\text{ start}}}^{NN_2} EK_{t_2} + \dots + \sum_{t_{TD}=NN_{TD\text{ start}}}^{NN_{TD}} EK_{t_{TD}}$$

Ovanstående ekvation gäller med följande villkor

1. Om $t_l - l_{\text{start}} < \text{Betalningsfria perioder för materialet}$ $EK_{t_l} = 0$

Annars

Om $t_l - l_{\text{start}} = \text{Betalningsfria perioder för materialet}$

$$EK_{t_l} = \text{Saldo}_{t_l}$$

Om $t_l - l_{\text{start}} > \text{Betalningsfria perioder för materialet}$

$$EK_{t_l} = \text{PIS}_{t_l}$$

$$Saldo_{t_l-1} = PIS_{t_l-1}$$

EK_{t_l} = Ekonomiska lagerperioder

2. Om $t_l - l_{start} >$ Betalningsfria perioder för leverans l och $Saldo_{t_l} < 0$ då

$l = l + 1$ därmed blir villkor 1 åter aktuellt (för den senare leveransen)

$$Saldo_{t_l} = Saldo_{t_l-1} - \sum_{a=1}^A aktivitet_{a\ start} - \sum_{a=1}^A aktivitet_{a-1\ slut} + leverans_l$$

$$PIS_{t_l} = -\sum_{a=1}^A aktivitet_{a\ start} - \sum_{a=1}^A aktivitet_{a-1\ slut} + PIS_{t_l-1}$$

TD = Totalt antal leveranser

NN_l = Perioden när en leverans går till 0 och beräkningarna fortsätter med nästa leverans

NN_0 = Period 1

l_{start} = Leveransperiod för leverans l

t_l = Tidsperiod t för vilken beräkningar sker för leverans l

Om materialet från den tidigare leveransen tar slut mitt i en aktivitet krävs en alternativ beräkning där aktivitetens medelinbyggnad per period används istället.

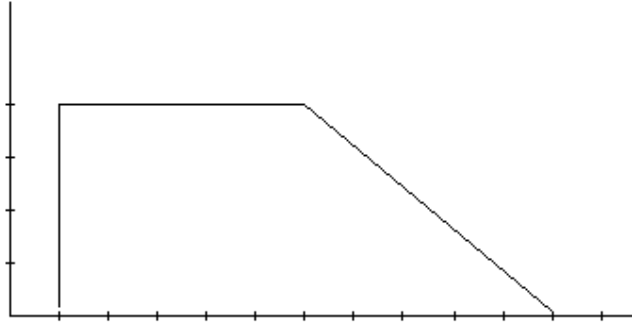
$$Saldo_{t_l} = Saldo_{t_l-1} - \sum_{a=1}^A \frac{aktivitet_a}{K_a} + leverans_l$$

$$PIS_{t_l} = \sum_{a=1}^A \frac{aktivitet_a}{K_a} + PIS_{t_l-1}$$

$$\frac{aktivitet_a}{K_a} = \text{Medelinbyggnad per period}$$

K_a = Antal perioder som aktivitet a pågår

Nedan följer ett exempel. Där en leverans sker period 2 och sedan sker inbyggnad från och med period 6. Antal betalningsfria perioder är 5 och ett år består av 25 perioder. Liggtiden är 5 perioder, se Figur 17 och Tabell 3.



Figur 17: Material med en leverans och en aktivitet

Tabell 3: Sammanställning material en leverans och en aktivitet inklusive lagersaldo, och ekonomiska lagerperioder. Period 2 är lika med period 1 för beräkningarna.

Period	Leverans	Lagersaldo	Lagerperioder	Ek lagerperioder
1				
2	40	40	40	0
3		40	80	0
4		40	120	0
5		40	160	0
6		40	200	0
7		20	220	20
8		20	240	40
9		20	260	60
10		20	280	80
11		20	300	100
12		0	300	100

$$EK_{1_i} = 0 \qquad t_1 - l_{start} < 5$$

$$EK_{2_i} = 0 \qquad t_2 - l_{start} < 5$$

$$EK_{3_i} = 0 \qquad t_3 - l_{start} < 5$$

$$EK_{4_i} = 0 \qquad t_4 - l_{start} < 5$$

$$EK_{5_i} = 0 \qquad t_5 - l_{start} < 5$$

$$EK_{6_i} = 20 \qquad \text{lagerperioder} = 20$$

enligt villkoren $t_l - l_{start} =$ Betalningsfria perioder för materialet och

$$EK_{t_i} = Saldo_{t_i}$$

$$\begin{aligned} Saldo_{6_i} &= Saldo_{t_{i-1}} - \sum_{a=1}^A aktivitet_{a\ start} - \sum_{a=1}^A aktivitet_{a-1\ slut} + leverans_l = \\ &= 40 - 20 - 0 + 0 = 20 \end{aligned}$$

$$EK_{7_i} = 40 \qquad \text{lagerperioder} = 20 + 20 = 40$$

$$PIS_{7_i} = -\sum_{a=1}^A aktivitet_{a\ start} - \sum_{a=1}^A aktivitet_{a-1\ slut} + PIS_{t_{i-1}} = -0 - 0 + 20$$

$$EK_{8_i} = 60 \qquad \text{lagerperioder} = 20 + 40 = 60$$

$$PIS_{8_i} = -0 - 0 + 20 = 20$$

$$EK_{9_i} = 80 \qquad \text{lagerperioder} = 20 + 60 = 80$$

$$PIS_{9_i} = -0 - 0 + 20 = 20$$

$$EK_{10_i} = 100 \qquad \text{lagerperioder} = 20 + 80 = 100$$

$$PIS_{10_i} = -0 - 0 + 20 = 20$$

$$K \text{ Kapitalbindning}_{\text{betalningsvillkor}} =$$

$$= \text{ränta} \cdot \text{värdet/st} \cdot \frac{\text{antal lagerperioder utan betalningsfria perioder}}{\text{antal perioder/år}}$$

$$\text{Kostnad Kapitalbindning}_{\text{betalningsvillkor}} = \text{ränta} \cdot \text{värdet/st} \cdot \frac{100}{25}$$

Utan hänsyn till betalningsvillkoren skulle kostnaden för kapitalbindningen vara tre gånger större vilket kan utläsas i Tabell 2 då lagerperioder utan hänsyn till betalningsvillkoren är 300 jämfört med 100 när hänsyn tas till betalningsvillkoren.

3.3.3 Omsättningshastighet i projektverksamhet

Att översätta de mått som används inom verksamhet som har ”permanenta” lager till projektbaserad verksamhet är inte alltid möjligt att göra med kravet att måttet ska vara relevant. Omsättningshastighet är mycket använt inom traditionell lagerverksamhet och består av kvoten mellan omsättning per år och medellager. Om man för projektlagret låter omsättningen per år motsvaras av den mängd för en viss artikel som kommer att förbrukas under projektet och låter genomsnittslager vara det genomsnittslager som beräknades i avsnittet *Lagerperioder och medellager* ger det ekvationen följande utseende:

$$\text{Omsättningshastighet} = \frac{\text{projektförbrukning}}{\text{medellager}}$$

Genomsnittslagret kan påverka omsättningshastigheten på ett icke önskvärt sätt. Om produktiviteten sjunker kommer genomsnittslagret att minska och därmed kommer omsättningshastigheten att öka. Om liggtiden, tiden efter leverans och innan inbyggnad, är 5 dagar och antalet materialenheter är 40 (samtliga levereras vid ett och samma tillfälle) och tiden för inbyggnad är antingen 5 eller 10 blir genomsnittslagret följande:

5 inbyggnadsdagar

$$\frac{40 \cdot 5 + \frac{40}{2} \cdot 5}{5 + 5} = 30$$

10 inbyggnadsdagar

$$\frac{40 \cdot 5 + \frac{40}{2} \cdot 10}{5 + 10} = 26,67$$

En gränsvärdesanalys, Ekvation 4, visar att genomsnittslagret kommer vid stora värden på inbyggnadsperioden att gå mot det genomsnittliga lagret för inbyggnaden. Det gör att en lägre produktivitet kan verka ha ett lägre genomsnittlig lager och i förlängningen en bättre omsättningshastighet.

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \rightarrow \frac{\text{antal} \cdot b + \frac{\text{antal}}{2} \cdot a}{x} = \frac{\text{antal} \cdot b}{x} + \frac{\frac{\text{antal}}{2} \cdot a}{x} = \frac{\text{antal}}{2} \quad (\text{Ekvation 4})$$

b = antal perioder före inbyggnad

a = antal perioder under inbyggnad

x = totalt antal perioder

$$x = b + a$$

$$b \ll a \quad a \rightarrow x$$

3.3.4 Utfallskvot för perioder inklusive liggtid

Kvot mellan utfall för antal perioder aktivitet inklusive materialets liggtid och planerat antal perioder. Att integrera materialets liggtid ger en ökad tyngd till att leveranser sker i enligt JIT. Om enbart aktiviteternas utfall ska jämföras med den planerade till stryks liggtiden för materialet.

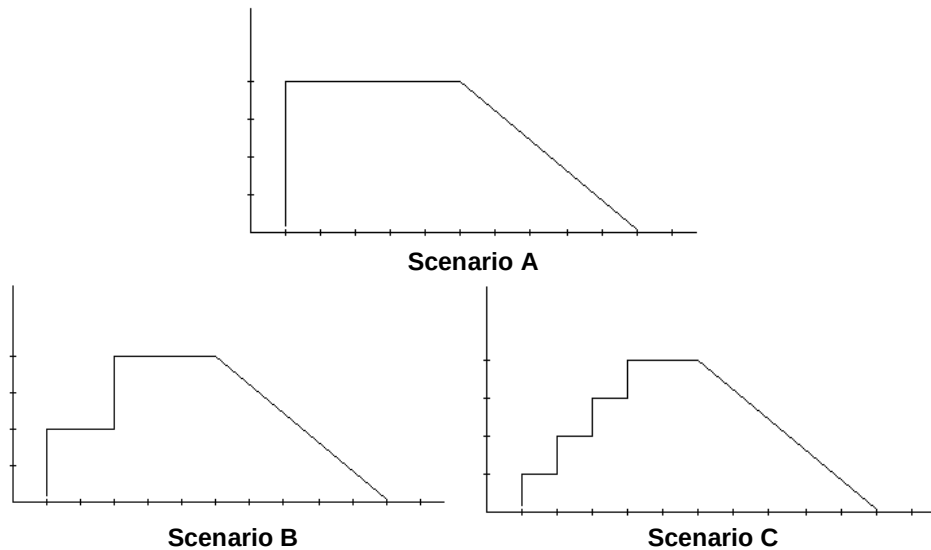
Måttet uttrycker förhållandet mellan utfall inklusive materialets liggtid och det planerade antalet perioder uttryckt i procent, se nedanstående formel. Om vär-

det överstiger 100 har är det faktiska utfallet längre än det planerade. Om flera material med olika leveransdatum ingår kommer kvoten att variera mellan materialen trots att det handlar om samma aktivitet.

$$\frac{\text{antal perioder inklusive liggetid}}{\text{planerad tidsåtgång för aktivitet}} \cdot 100$$

Fördelen med ovanstående mått är att det är lätt att förstå. En begränsning med måttet är att det inte tar hänsyn till hur påfyllningen av materialet har skett utan endast när påfyllningen började.

För exemplifiera begränsningen av måttet utgår vi från tre scenarier, se Figur 18, där materialleveranserna varierar under de fem första perioderna medan inbyggnadstiden är densamma, 5 perioder, och påbörjas alltid period 6 (totalt utnyttjas 10 perioder). Den planerade tiden till inbyggnaden är 5 perioder.



Figur 18: Tre scenarier av olika typer av materialleveranser

Vid scenario A anländer allt material, totalt 40 enheter, samtidigt och liggtiden är 5 perioder innan materialet byggs in. Materialet levereras i två omgångar vid scenario B. Hälften av materialet, 20 enheter, levereras period 1 och den andra hälften levereras i början av period 3. Vid scenario C levereras materialet period 1, 2, 3 och 4. Vid varje leverans är mängden 10 enheter.

$$\frac{\text{antal perioder inklusive liggtid}}{\text{planerad tidsåtgång för aktivitet}} \cdot 100 \Rightarrow \frac{10}{5} \cdot 100 = 200\%$$

3.3.5 Utfallskvot för lagerperioder inklusive liggtid

För att göra kvoten känslig för hur leveranser sker före och även under inbyggnad är lagerperioder lämplig att använda då måttet tar hänsyn till hur påfyllnad och inbyggnad sker. Det som krävs är att det finns en nämnare att jämföra med. Om man räknar med att inbyggnad äger rum utan att materialet har varit nödvändigt att lagra blir nämnare lika med arean för lagerperioder som inbyggna- den ger, enligt ekvationen nedan Här antas produktiviteten vara linjär.

$$\frac{\text{antal perioder för inbyggnad} \cdot \text{antal enheter av materialet}}{2} =$$

$$= \text{Planerat antal lagerperioder}$$

Utfallskvoten för lagerperioder får därmed följande utseende:

$$\frac{\text{Faktiskt antal lagerperioder}}{\text{Planerat antal lagerperioder}} \cdot 100 = \text{Utfallskvot för lagerperioder}$$

De tre scenarios som i samtliga fall medförde att utfallskvoten för tidsperioderna ger följande resultat:

Scenario A

$$\frac{30}{10} \cdot 100 = 300$$

Scenario B

$$\frac{26}{10} \cdot 100 = 260$$

Scenario C

$$\frac{24}{10} \cdot 100 = 240$$

3.4 Kravspecifikation på indata

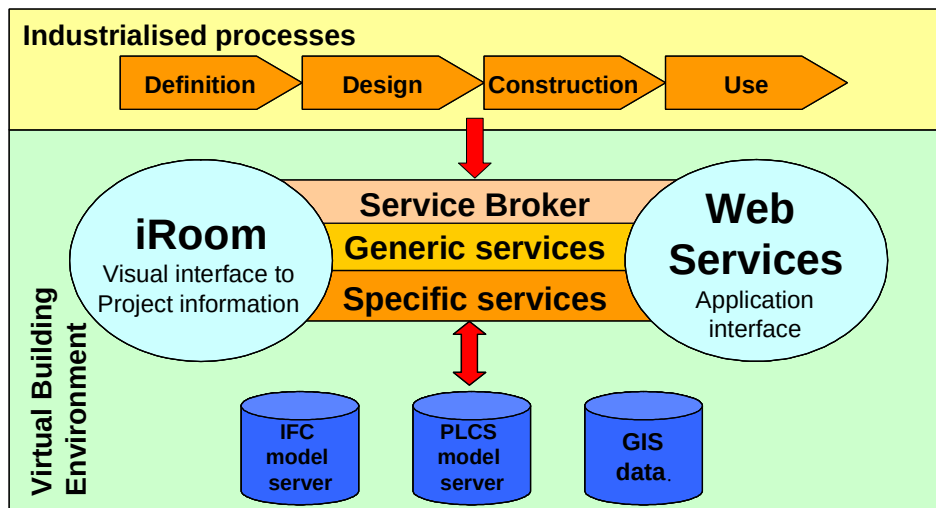
Den information som krävs från byggarbetsplatsen för att beräkna antal lagerperioder är; ankomstdag, inbyggnadsstart samt slutdatum. Om materialet används till flera aktiviteter exempelvis olika våningsplan har varje aktivitet ett unikt nummer. Vidare krävs att information finns på följesedel/faktura som förs in i databasen. Nödvändig information är orderdatum, leveransdatum, önskat leveransdatum, material, mängd, kostnad för material, kostnad för transport och order som faktureras och betalningsvillkor.

Exempel redovisas i Bilaga I.

4 IT – STÖD

4.1 Lagring och hantering av produkt och processinformation

En central lagringsplats behövs för information som skapas av olika applikationsprogram skall vara tillgänglig i byggprocessens design- och produktions-skede. I projektet har möjligheten att använda standardiserade IFC- och PLCS-format i en eller flera modellserver testats. Åtkomsten kan vara fil- eller web-serviceorienterad, se Figur 19.

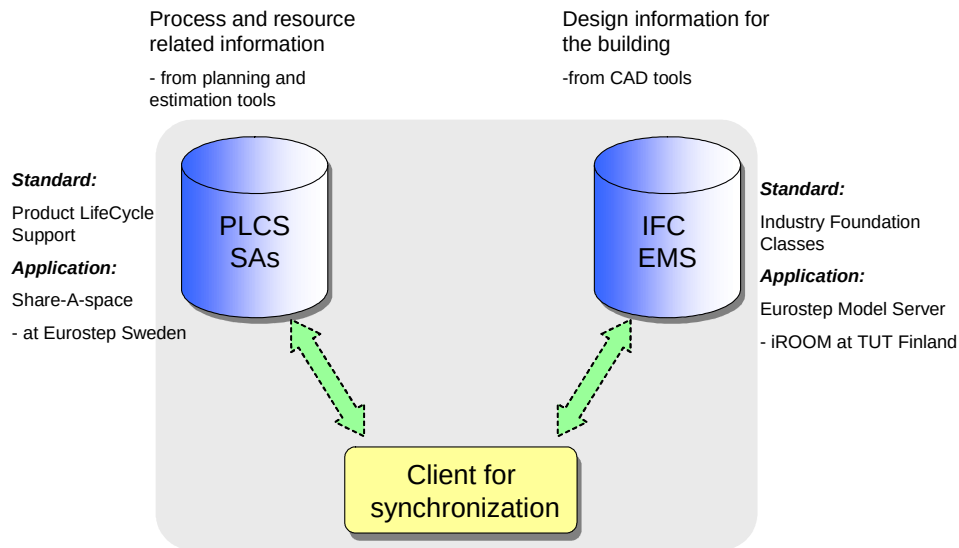


Figur 19: Översiktssbild som visar processens koppling till produkt och processdata.

Med hjälp av web-services kan man söka, ändra specifika delar av projektinformation, ända ner till individnivå. Den filorienterade hanteringen klarar bara att exportera/importera information på modellnivå eller hela projekt.

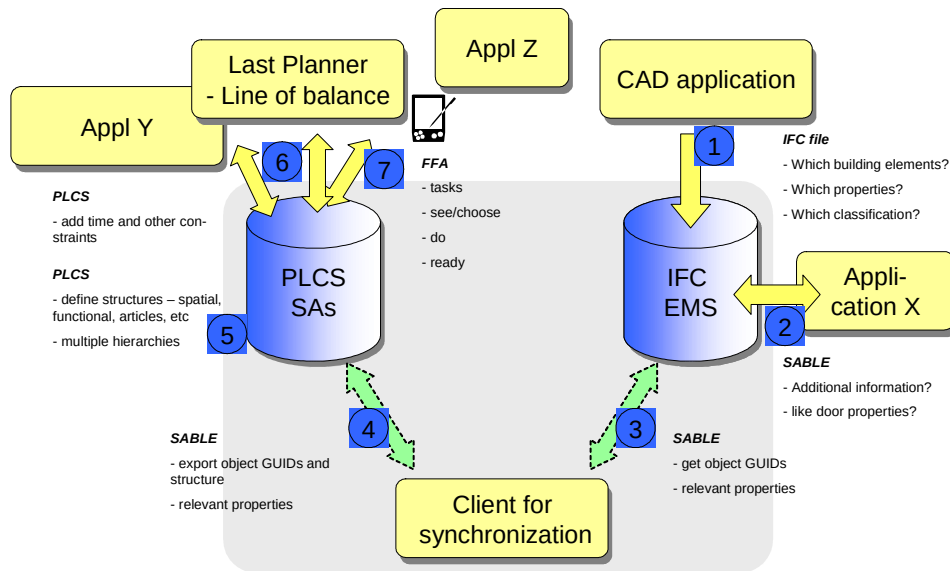
Projekteringsinformationen samlas i en IFC baserad modell-server. I detta projekt används Eurostep Model Server (EMS). Denna information förs över till den PLCS baserade modellservern Share-A-space (SAs), där produktionsrelaterad information kan länkas in och versionshanteras.

En viktig del i den kommande hanteringen av byggsynkroniseringen är ändringshanteringen, som måste få samma status som inom verkstadsindustrin. Det innebär att s.k. Engineering Change Proposal (ECP) och efterföljande Engineering Change Order (ECO) måste kunna hanteras. För att klara detta måste informationen föras över från den projekteringsstödande miljön (EMS) till den produktionsstödande miljön SAs. Denna strategi liknar mer hur verkstadsindustrin har organiserat sina informationsmiljöer där man använder PDM system för att stödja produktutvecklingsprocessen och ERP system för att stödja produktionsprocessen. När en ny produkt utvecklats i EMS så överförs information till det produktionsstödande systemet SAs. Sambanden mellan de två miljöerna visas i Figur 20.



Figur 20: Samband mellan de olika lagringsplatserna och strukturerna

Figur 21 visar de olika typerna av information och applikationer som tillför respektive använder de två miljöerna.



Figur 21: Information och applikationer som verkar i de två miljöerna

4.1.1 IFC - Standard för hantering av projekteringsinformation

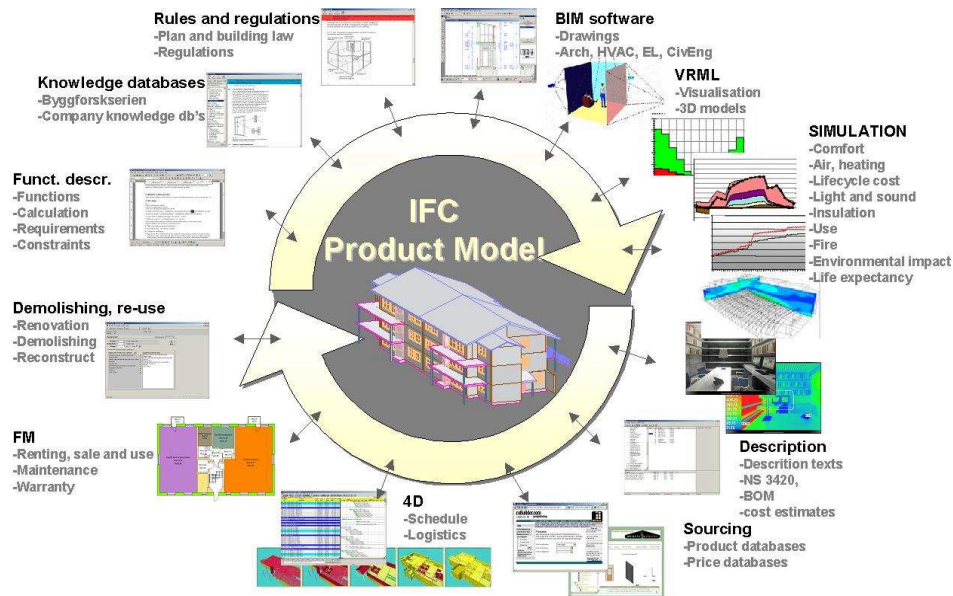
I projekteringen används IFC-standarden för att kommunicera och lagra informationen i projekteringsskedet. Versionen IFC 2x3 används, d v s den senaste versionen av IFC, se <http://www.buildingsmart.com>

IFC bygger på ISO STEP:s geometridelar, d v s samma genomarbetade format som används i bland annat bilindustrin. IFC är nu också en del av ISO STEP-familjen. För mer information och dokumentation om IFC se buildingSMARTs hemsida (tidigare IAI), <http://www.buildingsmart.com>

IFC är idag den ledande öppna internationella standarden för produktmodeller inom plan-, bygg- och förvaltningsprocesserna. Den ger förutsättningar för att:

- utveckla nya och befintliga programvaror som stödjer processerna
- gemensamt dela information på ett nytt sätt mellan aktörer i processerna

Figur 22 visar exempel på användningsområden av en modellserver baserad på IFC.



Pictures from: Selvaagbygg, DDS, Bygghandels, NBLN University of California, CIFE Stanford, Pythagoras and Olof Grankund OY.

Figur 22: IFC som stöd för olika typer av applikationer över hela livscykeln

4.1.2 PLCS - Standard för hantering av processinformation

För en industriell process där produkter/artiklar struktureras och definieras i stora mängder, och dessutom versionshanteras, behövs information om vilka kombinationer och versioner som gäller i varje tillfälle. De viktigaste delarna av konfigurationsledning är identifiering, baskonfiguration, ändringsstyrning och konfigurationsrevision.

För produktionsskedet används därför PLCS-standarden för att kommunicera och lagra informationen, se PLCS, <http://www.plcsinc.org>.

PLCS är förkortning av ISO 10303 (STEP) AP 239, Product Life Cycle Support, och har utvecklats i ett brett internationellt samarbete. Den riktar sig mot alla industrier som har behov av planerat underhåll av konfigurerade och ändringshanterade artiklar.

Utvecklingsarbetet ägde rum mellan 1999 och 2003 i konsortiet PLCS inc, som bestod av försvarsmyndigheter, försvarsindustri och programvaruföretag från de nordiska länderna, England och USA. I januari 2005 blev standarden officiellt en del av ISO 10303. Innehållsmässigt är PLCS inte en helt ny standard. Delar och idéer ur ett stort antal existerande standarder har tagits tillvara, bland annat PDM schema.

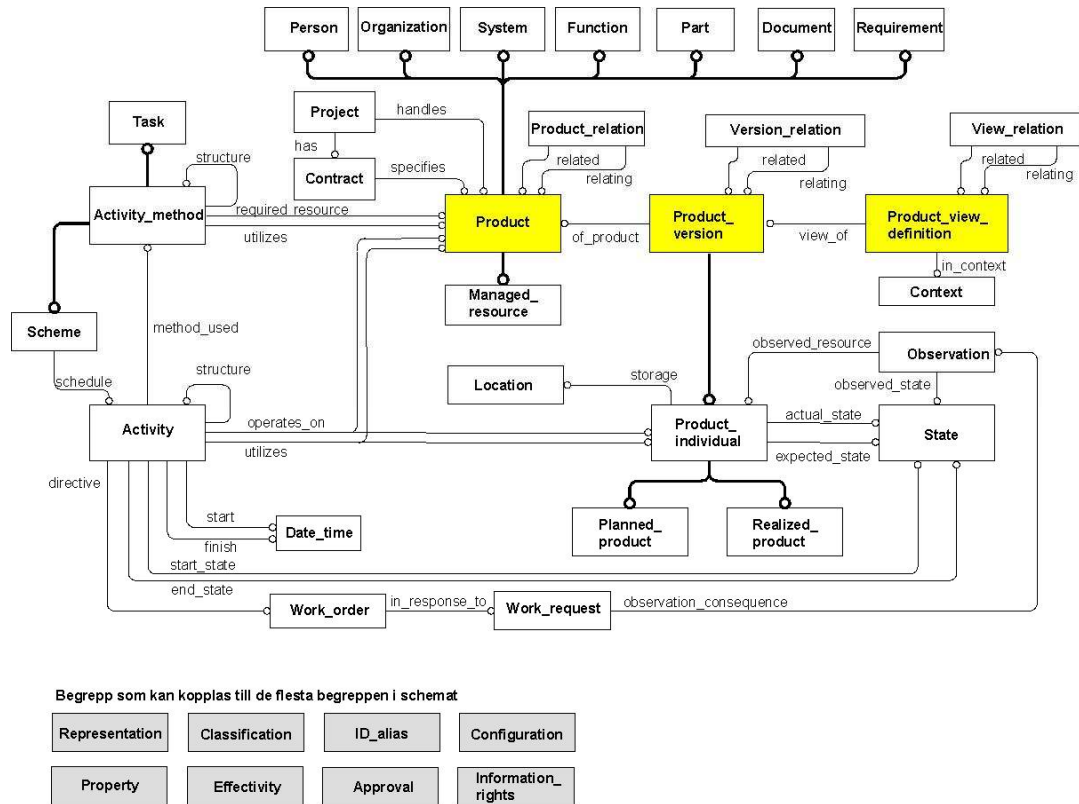
Att PLCS utvecklas inom ramen för STEP stärker användbarheten av PLCS i organisationer och företag där STEP redan stödjer design, beräkningar och tillverkning, som t ex i bil- och flygindustrin.

PLCS-standarderna möjliggör utbyte, delning och arkivering av underhållsdata. Målet är framför allt att förbättra produktens tillgänglighet, reducera kostnader för drift, tekniskt produktstöd och underhåll, att förbättra tillgänglighet och kvalitet på all underhållsinformation, att kunna kommunicera mellan kommersiella programvaror, att underlätta hanteringen av förändringar i produkten, och att skydda investeringen i produktinformation.

PLCS standarderna täcker in:

- Hantering och definition av underhållsrutiner
- Resurshantering
- Konfigurations- och ändringshantering
- Underhåll och återkoppling

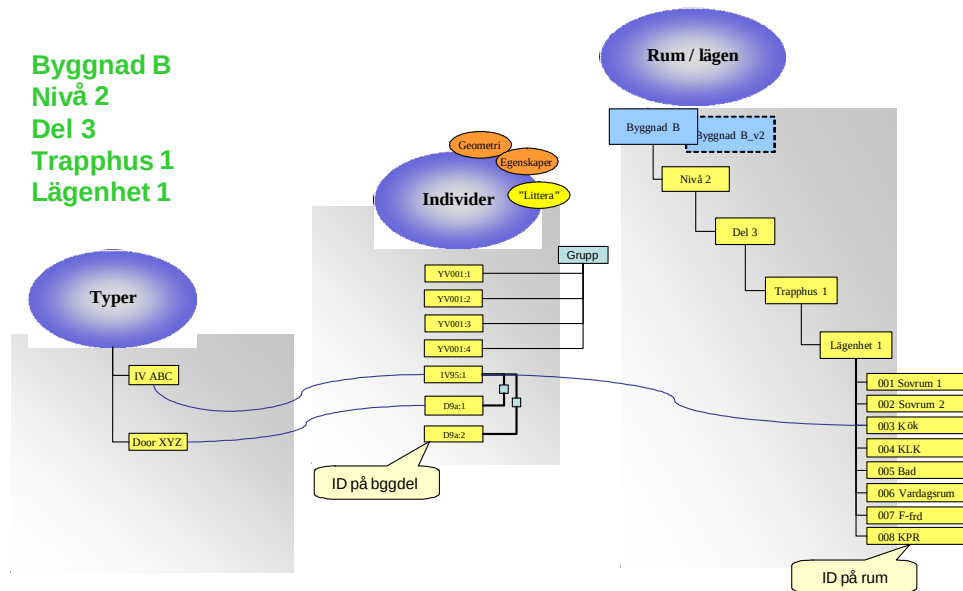
Den centrala delen är produkten som kan ha ett antal versioner som i sin tur kan ha ett antal vyer för olika discipliner och skeden kopplade till sig, se Figur 23. Det är till dessa vyer som egenskaper och dokument kopplas.



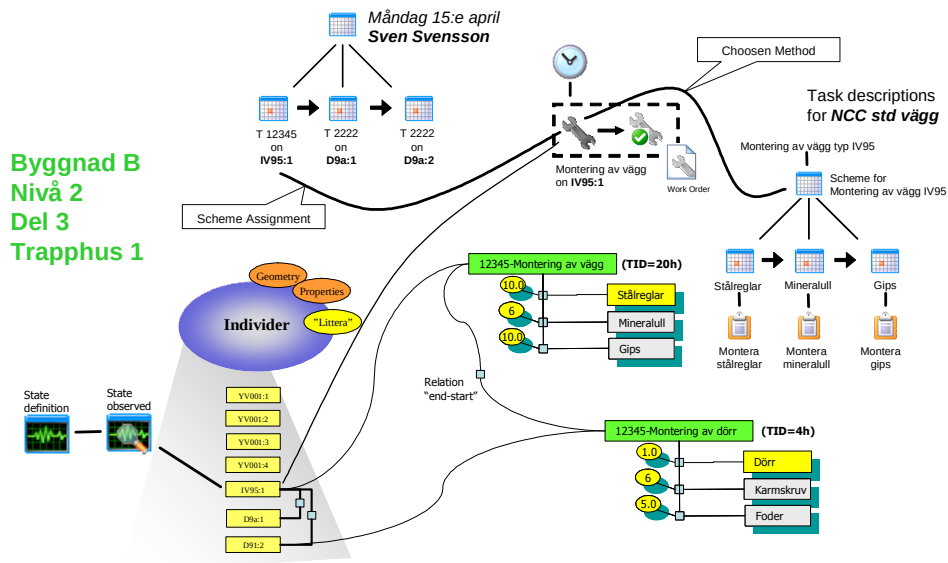
Figur 23: Förenklad översikt av PLCS standarden

Figur 24 nedan visar hur IFC-informationen kan kopplas till PLCS-strukturen i Share-A-space. I PLCS görs skillnad mellan typer och individer. Dessutom hanteras utrymmen i en egen nerbrytning, som kan kopplas ihop med t ex byggdelsindivider i IFC strukturen som har koppling till utrymmet – antingen fysiskt eller logiskt.

Till byggdelsindividerna i PLCS-strukturen kan sedan tider och annan information knytas för att uttrycka t ex planerade aktiviteter med tillhörande resursåtgång, se exempel i Figur 25. Ändrings- och kravhantering samt uppföljning av utförda aktiviteter i förhållande till planerade är exempel på strukturer som kan hanteras i PLCS-modellen.



Figur 24: IFC-informationen överförd till en PLCS-struktur

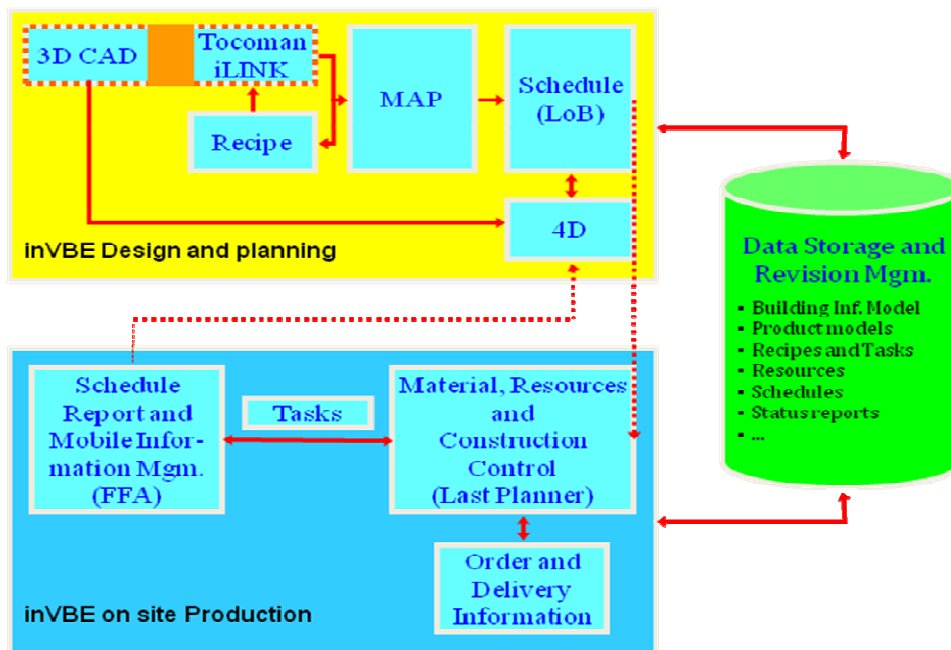


Figur 25: Exempel på hur planerade aktiviteter kan kopplas till individer

Åtkomsten till informationen kan göras via specifika företagslösningar eller via en vanlig webbläsare. Share-A-space tillhandahåller ett centralt datalager för att dela design- och produktionsinformation som har skapats i olika IT-system och på olika platser. Den konsoliderade informationen, åtkomlig enbart via Share-A-space, stärker de befintliga systemen och gör informationen tillgänglig för alla med rätt behörighet.

4.2 Applikationsstöd

I den virtuella bygginformationsmiljön ingår ett antal applikationer vilka beskrivs i Figur 26 nedan. De kan delas in i två faser. I den första fasen, inVBE Design and Planning, används verktyg för att skapa bygginformationsmodell (BIM) samt för att planera och visualisera uppförandet av byggnaden. I den andra fasen, inVBE on-site Production, används verktyg för att planera och styra produktionsprocess och materialhantering på byggplatsen. Systemet för informationslagring, utväxling av data och revisionshantering (EMS och SAs) är redovisat i förgående kapitel.



Figur 26: Beskrivning av den virtuella bygginformationsmiljön

4.2.1 Modellbaserad mängdavgtagning

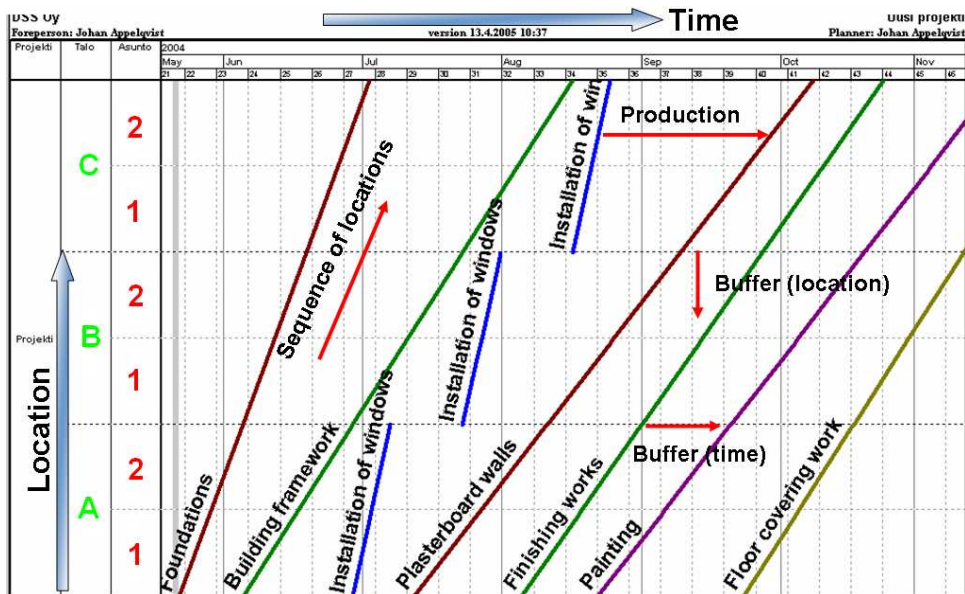
3D-modeller består av objekt vilka i sin tur har olika attribut, till exempel area och volym, med olika värden men dessa attribut saknar den information som krävs för att skapa en kalkyl av projektet. Denna information finns ofta tillgänglig i en databas i form av recept. Ett recept talar om tidsåtgång och vilka resurser som krävs för att skapa en viss mängd (ofta meter eller kvadratmeter) av en byggdelen. Vid traditionellt framtagande av en kalkyl beräknas först alla mängder vilka man senare kopplar ihop med recepten. Tocoman iLink är ett tilläggsprogram för CAD-programvaror som kopplar ihop CAD-systemet med kalkylsystemets databas vilket innebär att man får en automatisk koppling mellan mängder och recept. I och med detta ges möjlighet att ändra modellen under tiden utan att det skapar mer arbete. Denna flexibilitet gör det även möjligt att till exempel gruppera mängderna enligt tänkt arbetssekvens och geografisk indelning av produktionsplatser på byggsplatsen. Detta blir indata till den lägesbaserade produktionsplaneringen.

4.2.2 Lägesbaserad produktionsplanering

Byggproduktion kan beskrivas som ett kontinuerligt flöde av arbete och resurser genom ett antal fördefinierade produktionsplatser på byggsplatsen. Uppgiften och utmaningen för en planerare är att skapa och säkerställa ett jämnt och kontinuerligt flöde av produktivt arbete i en bra och säker arbetsmiljö. Detta karakteriseras av rörliga produktionsenheter som ofta utförs av underentreprenörer. Flödestänkandet stöds inte av aktivitetsbaserad planering eftersom metoden fokuserar på diskreta aktiviteter (Kenley, 2004). Lägesbaserad planering har däremot ett explicit stöd för arbetsflöden. En vanlig metod för lägesbaserad planering är Line of Balance (LoB), se Figur 27 nedan. Metoden är en visuell planeringsmetod som använder linjer i diagram för att representera produktion som utförs av olika arbetslag både i tid och i rum (Seppänen och Kankainen, 2004).

LoB-schemat, eller tidplanen, är tvådimensionell. Den ena axeln, x-axeln, visar tiden och den andra, y-axeln, visar produktionsplatsen. Aktiviteter presenteras i form av linjer i diagrammet och varaktigheten på aktiviteten avgör linjens lutning. Huvudsyftet med LoB är att synkronisera olika arbetslags aktiviteter på den kritiska linjen både i tid och i rum. Principen är att planera för ett jämt arbetsflödet ("takta produktionen") så att arbetslagen kan genomföra sina aktiviteter utan avbrott. (Kankainen och Seppänen, 2005)

LoB används både i inVBE Design and Planning och i inVBE on-site Production. I den första fasen skapas huvudtidplanen med hjälp av LoB. På så vis ges bra förutsättningar för ett kontinuerligt flöde på arbetsplatsen. Tidplanen baseras på de mängder som generats från Tocoman iLink. Här är det viktigt att i ett tidigt skede bestämma hur produktionsplatserna ska fördelas eftersom det måste vara samma indelning i Tocoman iLink som i LoB-schemat. I den andra fasen, när produktionen har startat, jämförs det planerade arbetet med det verkliga. Detta gör det möjligt att lättare förutse och korrigera utrymmeskrockar mellan arbetslag. När en sådan konflikt identifieras finns en rad åtgärder att välja mellan. Man kan till exempel välja att ändra på arbetsordningen mellan arbetslag och rum eller att öka eller minska resurserna vilket i sin tur förändrar produktionsstakten.



Figur 27: Line of Balance schema

4.2.3 Mobila verksamhetssystem

Idag finns det behov av verktyg för effektivare planering, arbetsfördelning och rapportering av fältpersonalens arbete med beaktande av de behov som de dynamiska byggarbetsplatserna har. Följande faktorer ligger till grund för att upprättade tid- och aktivitetsplaner ständigt måste revideras: Leveranser av ma-

terial och materiel försenas. Planerade arbetsmoment visar sig mer komplexa än väntat och leder till förseningar. Transportfordon och maskiner går sönder, personal blir sjuk etc. Eftersom personalen ofta är beroende av att föregående arbetsmoment slutförts innan t ex olika typer av installationer kan ske och att många personer förflyttar sig mellan byggarbetsplatser genomförs omfattande onödigt resande där personen vid framkomsten upptäcker att arbetsuppgiften ej kan genomföras för tillfället p.g.a. att nödvändiga förutsättningar för arbetet ännu saknas.

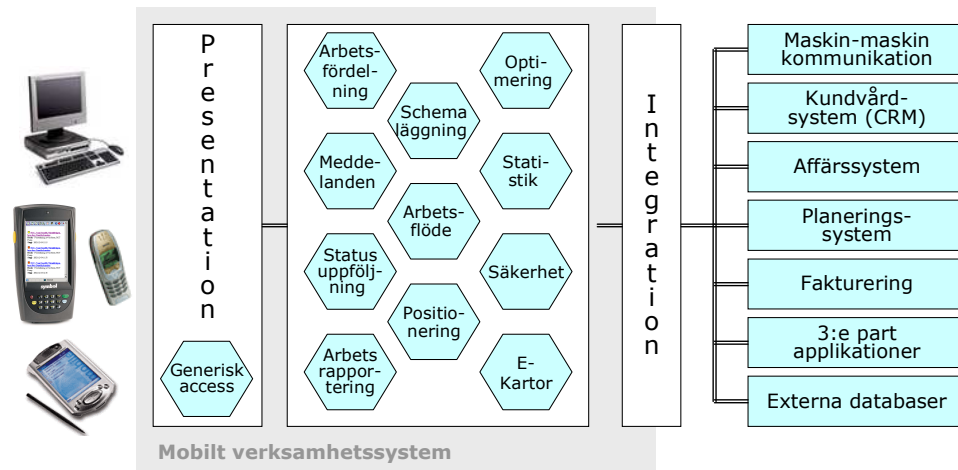
Eftersom mobila verksamhetssystem fokuserar på att hantera dynamiken i det vardagliga operativa genomförandet innebär integration med befintliga planerings- och projekteringsverktyg och ekonomisystem betydande rationaliserings- och kvalitetsökningseffekter.

Nilsson et.al. (2003) ger några exempel på tillämpningsområden för mobila verksamhetssystem är:

- Optimering av arbetsplanering för fältpersonal med beaktande av verklig progress i leveranser och arbetsuppgifter, personalens och arbetsplatsens geografiska position, arbetsuppgifternas krav på kompetens, tillgång till materiel och material etc. för att öka den del av arbetstiden som används för produktivt arbete och minska overhead kostnader i form av väntetider, restider etc.
- Effektiv fördelning av arbetsuppgifter utgående från aktuell behovsbild och tillgängliga resurser. Beaktar t ex vardagliga problemkällor som personal som blivit uppbunden längre tid än planerat med tidigare aktiviteter och därför ej kan tilldelas nya uppdrag, personal som ej är tillgänglig p.g.a. sjukdom, behov att ta hand om sjuka barn med kort varsel etc.
- Enkel avrapportering av utförda aktiviteter; via ändamålsenliga användargränssnitt kan fältpersonal rapportera utfört arbete.
- Automatiserad hantering av inlämnade arbetsrapporter; inlämnade rapporter kan attesteras elektroniskt för generering av faktura och löneutbetalning utan behov av hantering av pappers dokument som är en källa till bristande kvalitet och fördröjd hantering.

- Man kan bli varse om när leveranser av material ankommit till arbetsplatsen, se när personal är på plats, enklare hitta personer när de arbetar över stora områden, meddelandefunktioner m.m.
- Automatisk insamling och sammanställning av uppgifter om verksamheten för statistiskt underlag. Används vid uppföljning för att tillgodo-göra sig erfarenheter av hur effektiv verksamheten är och identifiera områden med stor förbättringspotential

Mobila verksamhetssystem består av ett antal komponenter för att stödja och effektivisera dynamisk fältinriktad verksamhet. Ett mobilt verksamhetssystem skall kunna hantera arbetsplanering, arbetsfördelning, rapportering och uppföljning i realtid, se Figur 28.



Figur 28: Funktionella komponenter i ett mobilt verksamhetssystem samt dess interaktion med användare och andra system och applikationer. (Olofsson och Emborg, 2004)

Vid införandet av mobila verksamhetssystem i inVBE begränsas antalet funktioner i systemet. Detta för att övergången till det nya arbetssättet ska bli så mjuk som möjligt och föra att skapa en så hög användarvänlighet som möjligt. Nedan ges en kort beskrivning av de funktioner som används i inledningsskedet. (Olofsson och Emborg, 2004)

Schemaläggning och status uppföljning

Hjälpmiddel för snabb och enkel schemaläggning av fältaktiviteter allokerade på individer eller arbetsgrupper. Grafisk presentation av schema, status i genomförandet (accepterad aktivitet, avvisad aktivitet inkl. info om orsak, påbörjad, avbruten inkl. info om orsak, slutförd) och information om innehållet i aktiviteten. Fältaktiviteterna hämtas t ex från lägesbaserade planeringssystem. Utfallet som rapporteras av fältpersonalen återförs automatiskt till de övergripande planeringssystemen. Det möjliggör bl a bättre förutsättningar att planera reserande arbete genom att beakta verklig progress.

Optimering

Olika typer av optimeringar kan användas, t ex optimering av tidplaner och allokering av personal med olika kompetensprofiler för aktiviteter i närtid. Optimeringen kan även beakta omställelsestider mellan en yrkesarbeters olika aktiviteter samt ev. transporttider mellan arbetsställen i de fall optimeringen beaktar fler än ett byggobjekt.

Arbetsfördelning

Fördelning av arbetsorder till fältpersonal distribueras automatiskt enligt överenskommelser vid t ex veckomöten. I samband med genomgångarna med yrkespersonalen kan justering av den optimerade aktivitetsplaneringen ske. Distributionen sker via mobilt Internet. Om försening sker i leveranser eller om någon annan typ av förberedande aktivitet nödvändig för utförandet av den nya aktiviteten skett informeras yrkespersonalen så att de kan disponera sin egen arbetstid så rationellt som möjligt för att ej störas av förseningarna. Yrkesarbetarna kan hela tiden se tillgängliga aktiviteter i sin handdator.

Arbetsrapportering

Ändamålsenliga användargränssnitt för att skapa och lämna in elektroniska arbetsrapporter. Genom de begränsade användargränssnitten på mobila terminaler anpassas gränssnittet till den typ av information resp. verksamhet kräver för sina rapporter för att göra fältpersonalens arbete så enkelt som möjligt. Till att börja med rapporteras endast start, avbrott och slut antingen för varje enskild aktivitet eller för en grupp aktiviteter.

Integration

För att erhålla en stor rationaliseringseffekt så integreras det mobila verksamhetssystemet med övriga IT-stöd i inVBE. Leveransinformation erhålls från material- och resursstyrningssystemen. Via en koppling till t ex lägesbaserade produktionsplaneringssystemet och 4D-modellen erhålls en ständigt uppdaterad tidplan respektive 4D-modell. Detta beskrivs mer ingående i avsnitt 3.3 processmodell.

4.2.4 4D-visualisering

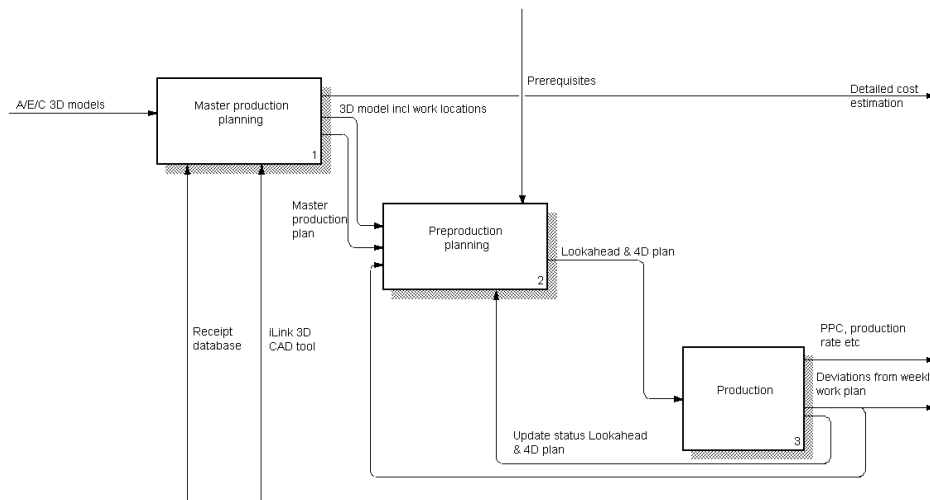
4D, eller produktionssimulering som det ofta kallas, används för att grafiskt visualisera produktionens sekventiella förlopp. Detta sker genom att länka tidplanens aktiviteter med tillhörande byggdel i 3D-modellen. Den kanske allra tydligaste kundnyttan med 4D är att upptäcka planeringskollisioner mellan olika aktiviteter i den virtuella modellen istället för ute på arbetsplatsen. Detta gäller speciellt i installationstäta områden av byggprojektet där många underentreprenörer ska dela på samma utrymme vid samma tidpunkt. Genom att simulera detta i förväg kan sådana utrymmeskollisioner undvikas med stora kostnadsbesparingar som följd. Dessutom kan tidplanen på ett pedagogiskt sätt delges till alla involverade parter i ett byggprojekt, vilket skapar en ökad förståelse för uppgiften. Med 4D kan man enkelt testa olika "What-If" scenarion.

Det är även möjligt att göra 4D-simuleringar av arbetsplatsdispositionsplaner, så kallade APD-planer, för att till exempel visa temporära materiallager, kranplacering, blockerade tillfartsvägar med mera. Det är också möjligt att via 4D-informationen styra logistiken. Förutom att skapa förutsättningar för just-in-time leveranser av inbyggnadsvaror är det även möjligt att utifrån "tidsattribut" kunna beställa en exakt mängd ifrån CAD-modellens databas. 4D har hittills mest kommit att handla om visualisering av byggproduktionen, men den största praktiska nyttan bör i framtiden vara att styra ett byggprojekts hela logistik, inklusive materialförsörjning.

5 RESULTAT – PROCESSMODELLEN

5.1 Processmodell Etapp I

En processmodell har utarbetats med de tre huvudaktiviteterna, Huvudtidplanering (Master production planning), Produktionsberedning (Preproduction planning) samt Produktionsstyrning och uppföljning (Production), enligt Figur 29 nedan.

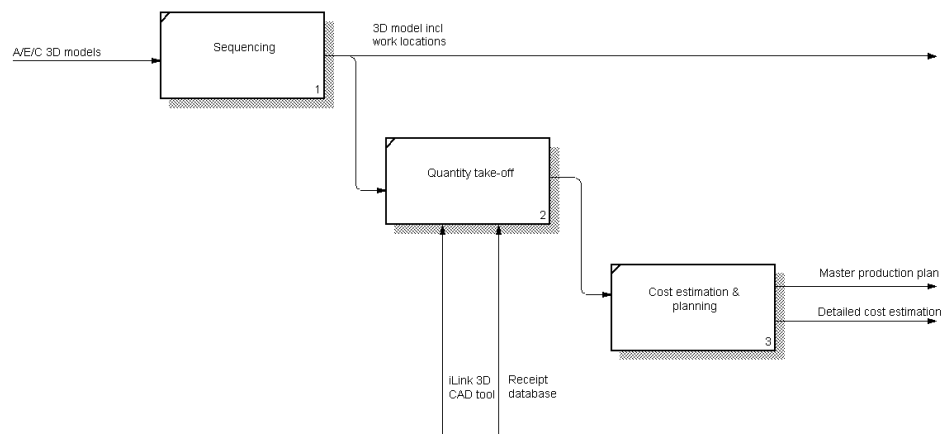


Figur 29: Processmodell över inVBE on-site production planning

Huvudtidplanen skapas genom att först dela in 3D-modellen i arbetsutrymmen vilken sedan länkas till det aktuella kalkylsystemet. Ut kommer då en tidplan som är mängdberäknad enligt de arbetsutrymmen som skapades i 3D-modellen, ett så kallat Line of Balance schema. För produktionsberedningen används ett material- och resursstyrningssystem. De kommande veckornas (vanligtvis sex veckor) planerade aktiviteter förs över från tidplanen in i systemet för att klargöras så att de kan starta inom planerad tid. Här länkas även tidplanen till 3D-modellen för att skapa en 4D-simulering. I den tredje och sista fasen, produktionsstyrning och uppföljning, ska de aktiviteter som plockades in i systemet i den andra fasen vara klargjorda för att kunna påbörjas. Genom återkommande veckomöten diskuteras genomförandet av aktiviteterna, det vill säga att varje aktivitet utförs av ett arbetslag med rätt kompetens samt i vilken ordning aktiviteterna ska utföras. Varje arbetslag rapporterar via handhållna terminaler när en aktivitet startas och avslutas så att tidplan och 4D-modell blir automatiskt uppdaterad i realtid. Produktionsberedningen samt produktions- och uppföljningsprocessen stöds av det mobila verksamhetssystemet. En mer detaljerad beskrivning av de tre momenten ges nedan.

5.1.1 Huvudtidplanering

Huvudtidplaneringen sker i tre steg, Sekvensera arbetet (Sequencing), Mängdberäkning (Quantity take-off) samt Kalkyl och tidplanering (Cost estimation & planning), enligt Figur 30 nedan.

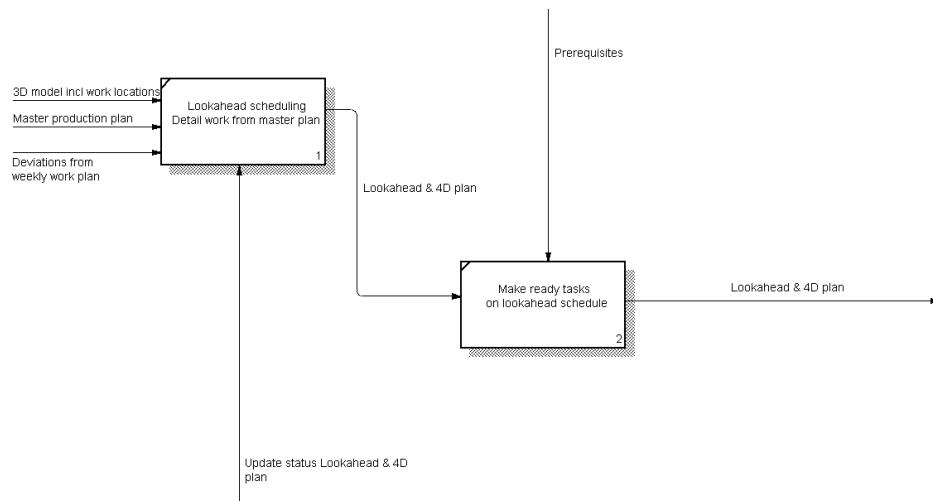


Figur 30: Processmodell över skapandet av kalkyl och huvudtidplan

Skapandet av huvudtidplanen utgår ifrån en byggnadsinformationsmodell (BIM) där valet av vilken typ av modell som ska användas beror av vilken fas som ska planeras. Vid planering av uppförandet av den bärande stommen används en konstruktionsmodell som bas, vid stomkomplettering en arkitektmodell etcetera. Byggnadsinformationsmodellen måste först sekvenseras enligt den tänkta detaljeringsgraden på aktiviteterna som ska skapas i den lägesbaserade produktionsplaneringen. Mängdberäkningen görs med ett insticksprogram (iLink) till CAD-applikationen. Med iLink grupperas först CAD-objekten enligt den sekvensering som gjordes i steget innan. Därefter hämtas nödvändiga recept från en server och kopplas samman med CAD-objekten. Dessa mängder och kostnader exporteras sedan antingen tillbaka till servern eller lokalt till respektive kalkyl- och tidplaneringsprogram. Oberoende av vilket alternativ som väljs görs nu en kalkyl och en huvudtidplan för projektet där huvudtidplanen är i form av en lägesbaserad produktionsplanering.

5.1.2 Produktionsberedning

Produktionsberedningen sker i två steg, Detaljera nästkommande veckors (vanligtvis sex veckor) arbete (Lookahead scheduling) och Uppfyll krav för aktivtetsstart (Make ready tasks on lookahead schedule), se Figur 31 nedan.



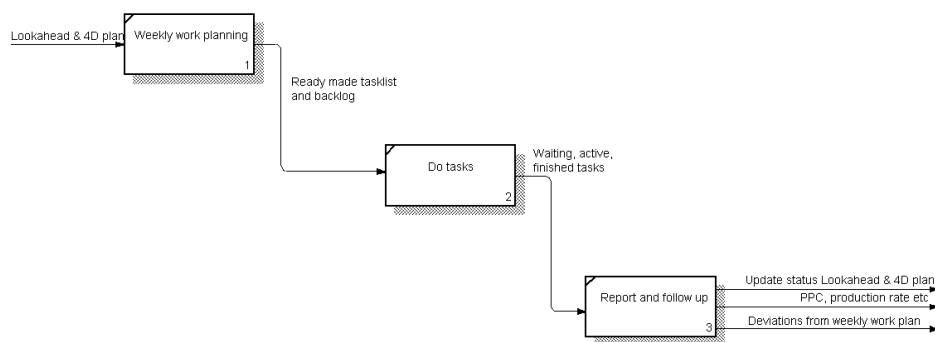
Figur 31: Processmodell över produktionsberedningen

För att säkerställa att en aktivitet kan starta på planerad tidpunkt använder sig platschefen av material- och resursstyrningssystemet. Förberedelserna börjar vanligtvis sex veckor innan planerad aktivitetsstart genom att dela upp aktiviteten i flera, mindre underaktiviteter och specificerar de krav (se Figur 4) som måste vara uppfyllda för att dessa ska kunna utföras. Under de kommande veckorna ska platschefen, med hjälp av arbetsledarna, hinna uppfylla dessa krav så att inte försening uppstår. Informationen om aktiviteterna, det vill säga dess planerade start- och sluttid samt dess uppsatta utförandekrav anges även i mobila verksamhetssystemet. Detta system innehåller en tillståndsmaskin som kan hantera aktiviteternas utförandekrav men till att börja med kommer platschef och arbetsledare själva att rapportera och hantera dessa krav. På sikt kan beroenden i form av leveranser, lagerstatus av material och materiel, delad utrustning och anslutande aktiviteter automatiskt kunna kontrolleras och rapporteras av det mobila verksamhetssystemet när det är fullt utvecklat. Ett sådant system kan också varna för förseningar om en eller flera förutsättningar ej är uppfyllda när tiden för planerad start börjar närma sig.

I det här skedet skapas även en ny lägesbaserad produktionsplanering, baserad på huvudtidplanen men med högre detaljeringsgrad vilken också simuleras i en 4D-modell. Dessa är dels direktlänkade via informationsmiljön mellan varandra och det mobila verksamhetssystemet så aktuell status visas i alla applikationer.

5.1.3 Produktionsstyrning och uppföljning

Produktionsstyrning och uppföljning sker i tre steg, Veckoplanering (Weekly work planning), Utförande (Do tasks) och Rapportering och uppföljning (Report and follow up), se Figur 32 nedan.



Figur 32: Processmodell över produktionsdelen

Vid veckoplanering träffas platschef, arbetsledare och lagbasar för att dels bestämma vilka aktiviteter som ska utföras under den kommande veckan men även för att bestämma vilka som ska göra vad och i vilken ordning arbetet ska utföras för att undvika avbrott i arbetet. Aktiviteterna som planeras på mötet kommer ifrån den rullande tidplanen och kan delas in i två grupper. Den ena gruppen är prioriterade aktiviteter, det vill säga sådana som måste utföras inom utsatt tid för att inte påverka den totala byggtiden, medan den andra gruppen är sådana aktiviteter som måste utföras men inte påverkar byggtiden för tillfället. Dessa aktiviteter har antingen alla krav för start uppfyllda eller saknar endast något enstaka krav. Ett exempel på en sådan aktivitet kan vara att material saknas men är beställt och lovat levereras vid en bestämd tidpunkt under veckan.

Efter veckomötet skickas de antagna aktiviteterna ut till fältpersonalens handdatorer vilka kan välja en aktivitet som överensstämmer med dess kompetensnivå genom att aktivera den i sin handdator. De kan då välja mellan ett antal prioriterade aktiviteter vilka är ordnade efter prioriteringsgrad. Skulle det inte finnas någon prioriterad aktivitet tillgänglig går det att välja någon av de icke prioriterade aktiviteterna. När ett arbetslag väljer att aktivera en aktivitet som ska utföras i ett speciellt utrymme med en speciell resurs, exempelvis nyttjande av byggkran, så är de aktiviteter som antingen kräver samma utrymme eller behöver använda byggkranen inte längre valbara. Detta styrs av den tillståndsmaskin som finns inbyggd i det mobila verksamhetssystemet. När den första aktiviteten väljs ändras tillståndet "arbetsplats ledig" till "arbetsplats ej ledig" samt "byggkran ledig" till "byggkran ej ledig". Vi sådana tillfällen blir övrig personal tvingade att antingen välja en annan prioriterad aktivitet eller om det inte finns någon sådan kan de välja en icke prioriterad aktivitet. Vid det sista alternativet finns det möjlighet att bli informerad, via en ljudsignal eller liknande, när en statusförändring har skett så att det åter igen finns prioriterade aktiviteter att aktivera. Under utförandet av den valda aktiviteten finns det även möjlighet att via handdatorn avbryta denna men då måste anledningen till avbrottet anges. När aktiviteten är slutförd rapporteras det via handdatorn och alla resurser frigörs till övrig fältpersonal.

Det mobila verksamhetssystemet kan successivt lagra data om produktionen i den gemensamma informationsmiljön som den är kopplad till. Data som kan användas för att följa upp tidplanen men även för att ge en noggrannare prognos för utfallet på hela projektet. Information om rapporterat avbrott och orsak kan skickas till beredningen eller projektledning för åtgärder. Projektet som helhet kan utvärderas och problem som uppstått kan analyseras i syfte att återföra erfarenheter och undvika att samma problem uppstår i nästa projekt. Ge-

nom att ange start och stopp för aktiviteten i handdatoren kan den planerade tiden för aktiviteten jämföras med den verkliga. Detta utnyttjas för att uppdatera produktionstakten i recepten för att ta hänsyn till inläringseffekter men även för att detaljera recepten som idag är baserade på medelvärden oavsett under vilka förutsättningar aktiviteten genomfördes. Ett exempel är montering av gipsväggar som har en typ av recept oavsett mängden håltagning för installationer och dörrar. Sådan information kan spåras och analyseras genom att recepten är kopplade till 3D modellen.

Vid varje utförd aktivitet skickas även information till den lägesbaserade produktionstidplanen vilken då tar hänsyn till ändringen och prognostiserar produktionstider för återstående aktiviteter. Detta gör det möjligt att vidta kontrollåtgärder för att kontinuerligt skapa bättre förutsättningar för arbetet på arbetsplatsen. Eftersom den lägesbaserade produktionstidplaneringen är direkt-kopplad till 4D-modellen uppdateras den automatiskt.

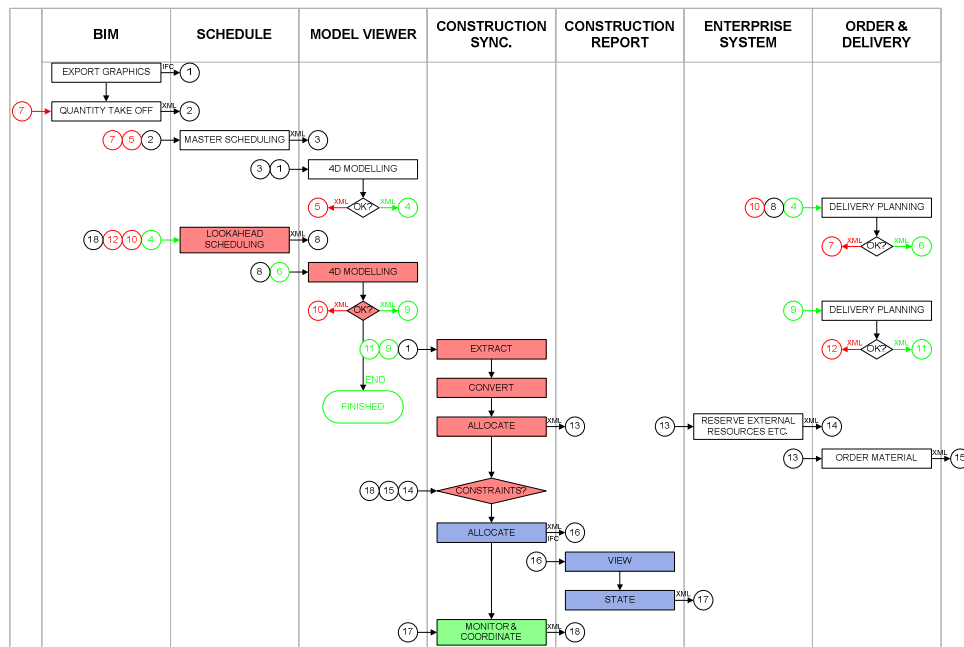
5.2 Processmodell Etapp II

I detta kapitel presenteras den föreslagna processmodellen för produktionsdelen av projektet. Processmodellen är baserad på den processmodell som framtoogs under den första etappen av projektet, d v s denna processmodell består av samma struktur som den tidigare modellen men denna modell har en högre detaljeringsgrad. Modellen är även resultatet av den licentiatuppsats som Håkan Norberg presenterat under projektets gång. Om inget annat anges är materialet i detta kapitel hämtat från denna licentiatuppsats (Norberg, 2008).

5.2.1 Processens huvudsakliga innehåll

Syftet med processmodellens innehåll i Figur 33 är att stödja beredningsmetoden *The Last Planner System of production control (LPS)*, d.v.s. att arbeta på ett systematiskt sätt med arbetsberedning, engagemang och åtagande, samt uppföljning. Aktiviteterna som är markerade med röd färg i Figur 33 representerar arbetsberedningsfasen, aktiviteterna markerade med blå färg representerar processen för engagemang och åtagande, och aktiviteterna markerade med grön färg representerar uppföljningsprocessen.

Innehållet i processmodellen har fastställts genom en litteraturstudie, intervjuer med produktionspersonal, och genom studier av pågående byggprojekt. Modellen innehåller i huvudsak *ByggnadsInformationsModeller (BIM)*, *Lägesbase-rad produktionsplanering*, *4D-modeller*, och *Mobila verksamhetssystem bestående av en synkroniseringsdel och en rapporteringsdel*. Utöver detta bör även *entreprenörens inköps- och affärssystem* vara kopplade mot synkroniseringsdelen. En modellserver, vilken inte visas i modellen, används för att lagra data mellan alla aktiviteter i processen, d.v.s. ingen information bör utbytas via projektportaler, e-post, USB-minnen etc. Varje verktyg i processen bör skicka och ta emot nödvändig information via web services. Där det är möjligt bör även data utbytas via neutrala format, så som *IFC-formatet (Industry Foundation Classes)* och *XML-formatet (eXtensible Mark-up Language)*.



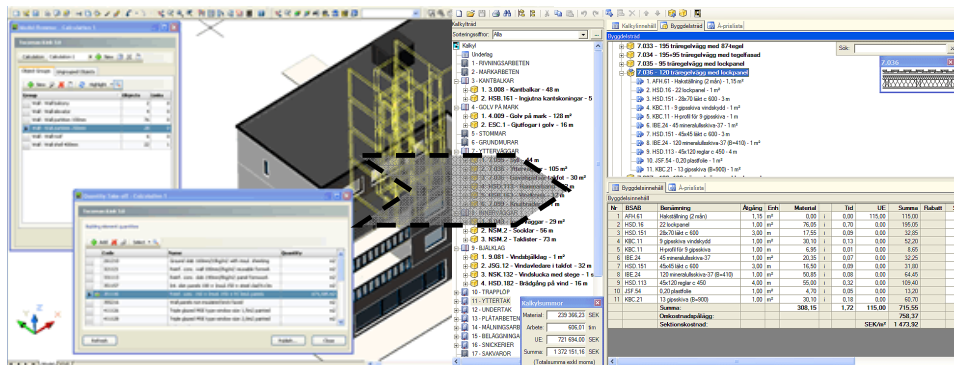
Figur 33: Den föreslagna processmodellen för att hantera resursflödet på byggarbetsplatser. Se även Bilaga II.

5.2.2 Byggnadsinformationsmodeller och mängdavtagning

Byggnadsinfomationsmodeller är den huvudsakliga informationsbäraren i den här processen vilket ställer höga krav projekteringsarbetets aktörer då de måste

förstå vad modellen bör innehålla för slags information och hur den informationen skall användas i produktionen. Detta bör skötas med en väl definierad CAD-manual. Varje aktör bör alltså leverera en eller flera BIM innehållande nödvändig information via modellservern (1). Om det är möjligt är det lämpligt att leverera modellerna i IFC-formatet, men eftersom det formatet ännu är under utveckling kan det till en början vara lämpligt att leverera dem i sitt originalformat.

Modellerna används i den första fasen för modellbaserad mängdavgtagning enligt Figur 34, i det här fallet via ett insticksprogram i CAD-programvaran som hämtar nödvändiga mängder från modellen och länkar dem till entreprenörens recept i en receptdatabas. I det här skedet är det viktigt att bestämma en spatial indelning av projektet som möjliggör en flexibilitet i produktionsplaneringen, d.v.s. en allt för hårt styrd spatial indelning hindrar planeraren att själv kunna styra över hur produktionen skall utföras.



Figur 34: Modellbaserad mängdavgtagning (vänster), vilken baseras på den spatiala nedbrytningen av projektet, förser produktionskalkylen (höger) med mängder.

Projektets kalkylator använder denna information för att utföra en lägesbaserad produktionskalkyl vilken innehåller alla resurser och enhetstider. All data skickas sedan vidare till modellservern, lämpligtvis i XML-format (2). Vid den här tidpunkten innehåller modellservern; 1) BIM-objekten som levererats av projektets konsulter, och 2) den lägesbaserade kalkylen.

5.2.3 Tidplanering och 4D-modellering

Tidplaneringsarbetet börjar med en import av mängderna och recepten som skapades i den lägesbaserade kalkylen till tidplaneringsprogrammet. Detta sker via modellservern och web services (2). Resurserna med tillhörande enhetstider används sedan som grund för att skapa produktionsaktiviteter i en produktions-tidplan. När tidplanen är godkänd, med hänsyn till arbetsflöde etc., skickas tidplanen tillbaka till modellservern (3). Genom att använda lägesbaserad produktionsplanering underlättas även hanteringen av materialleveranser till inbyggnadsplatserna på byggsplatsen, d.v.s. varje material är kopplad till en aktivitet som i sin tur är kopplad till ett inbyggnadsställe, d.v.s. en 3D-koordinat.

För att kunna utföra 4D-modellering krävs 3D-objekten från byggnadsinformationsmodellerna samt den skapade produktionstidplanen. Dessa importeras, via IFC och XML, från modellservern och länkas ihop i en 4D-viewer (1) & (3). Detta möjliggör en tydlig kommunikation mellan projektets intressenter, exempelvis mellan beställare, entreprenör, och underentreprenör. Om tidplanen av någon anledning inte skulle godkännas av någon av projektets intressenter kan planeraren snabbt korrigera den lägesbaserade produktionstidplanen och automatiskt även uppdatera 4D-modellen (5). Med detta arbetssätt finns en hög potential att spara tid i planeringsfasen av projektet.

När tidplanen är godkänd erhåller order- och leveranssystemet information om planerade leveranstidpunkter via modellservern vilket medför att den detaljerade leveransplaneringen kan börja (4). Om tidplanen revideras kommer inköpsavdelningen automatiskt bli informerad om detta och kan i sin tur kontakta sina leverantörer och komma överens om nya leveransdatum. Om det skulle uppstå några problem med leveranserna, t.ex. för långa ledtider eller brist på en specifik artikel, kan även inköpsavdelningen skicka denna information via modellservern tillbaka till planeraren som i sin tur kan göra förändringar i tidplanen eller byta typ av artikel. Om en artikel byts ut kan det även vara möjligt att byggnadsinformationsmodellen måste uppdateras. Den processen beskrivs inte i den här rapporten.

Beredningsarbetet för en aktivitet börjar ungefär mellan fyra och sex veckor innan planerad start av aktiviteten (4), förutsatt att produktionstidplanen är godkänd av alla intressenter. Starten för beredningsarbetet av varje specifik aktivitet bestäms av den längsta ledtiden för en leverans av material, utrustning, ritningar, etc. som aktiviteten innehåller. När beredningsarbetet börjar kan aktiviteterna från produktionstidplanen brytas ner i ett flertal underaktiviteter för att öka detaljeringsgraden på tidplanen. Så fort det sker en sådan ändring

skickas automatiskt en ny version av tidplanen till modellservern vilken kan nås av berörda parter, exempelvis av inköps- och leveranssystemet som får en förfrågan om att ändra leveranstiderna (8).

Om en aktivitet i produktionstidplanen har brutits ner i flera underaktiviteter måste även 4D-modellen uppdateras och nya länkar mellan objekten och aktiviteterna måste skapas. Den nya, mer detaljerade, tidplanen importeras via XML till 4D-viewern (8) där gamla länkar mellan huvudaktiviteterna och 3D-objekten ersätts av nya länkar mellan underaktiviteterna och 3D-objekten. Detta resulterar i en mer detaljerad 4D-modell där även leveranstidpunkterna kan importeras (6) och visualiseras för att jämföras med aktiviteterna i tidplanen. Om 4D-visualiseringen skulle visa någon tid-plats-krock mellan leveranstidpunkterna och tidplanen finns det en möjlighet att revidera någon av dessa planer (10) vilken följs upp av en ny 4D-visualisering. På detta sätt undviks onödiga avbrott i den kommande produktionen.

När planeringen är godkänd exporteras all information automatiskt via XML till modellservern (9) och importeras till inköps- och leveranssystemet (9) där tidplanen antingen godkänns (11) eller icke godkänns (12).

Nu innehåller alltså modellservern; 1) BIM-objekten som levererats av projektets konsulter, 2) den lägesbaserade kalkylen, 3) den övergripande, lägesbaserade produktionstidplanen, 4) länkar mellan 3D-objekten och tidplanens huvudaktiviteter, 5) leveransplaneringen, 6) den mer detaljerade tidplanen, och 7) länkar mellan 3D-objekten och tidplanens detaljerade underaktiviteter. Så fort någon av dessa informationsbärare ändras kommer övriga informationsbärare att automatiskt erhålla en förfrågan om uppdatering.

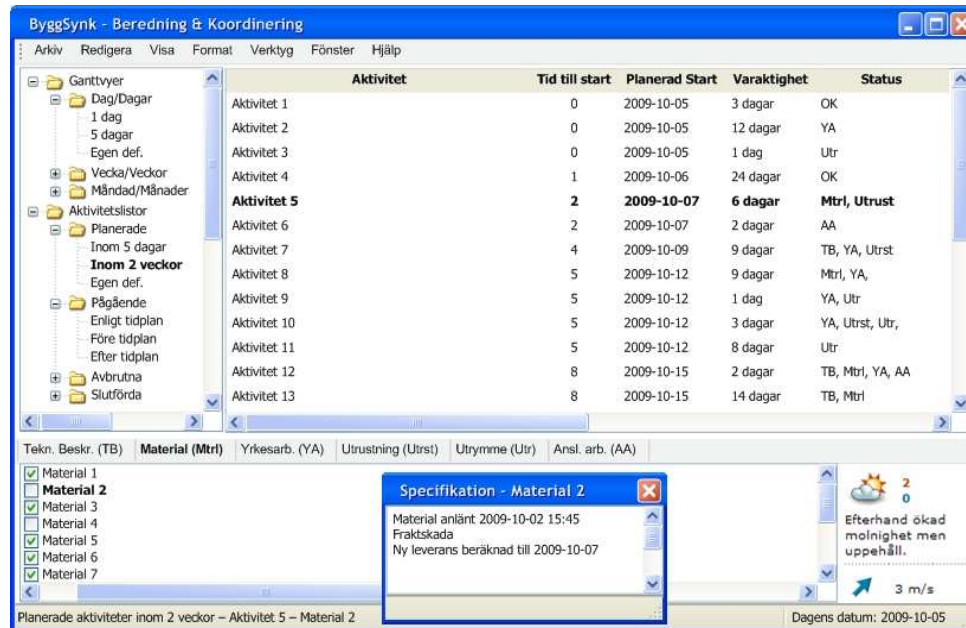
5.2.4 Byggsynkronisering och rapportering

Byggsynkroniseringsverktyget används huvudsakligen av projektets platschef och entreprenadingenjör. Verktyget består av fem huvudfunktioner, *Extrahera*, *Översikt*, *Konvertera*, *Allokera*, och *Skanna & Koordinera*. Extrahera-funktionen importerar all nödvändig information som har skapats under projekterings- och planeringsfasen, d.v.s. den information som finns i modellservern, se (1), (9) och (11) i Figur 33. Översiktsfunktionen består av en användarvy, exempelvis ett Gantt-schema eller en att-göra-lista, där den ansvarige för beredningsarbetet sköter sitt arbete. När en aktivitet importeras för första gången till verktyget kan användaren definiera vilka krav som måste vara uppfyllda för

att aktiviteten ska tillåtas att utföras, exempelvis de förutsättningar som nämns av Koskela (2000). Dessa förutsättningar är grupperade i sex olika grupper i Figur 35, tekniska beskrivningar, material, yrkesarbetare, utrustning, utrymme, och anslutande arbete. Förutom dessa förutsättningar för att få starta en aktivitet är det även möjligt att definiera vilka förutsättningar som måste vara uppfyllda för att få rapportera en aktivitet avslutad, exempelvis städa upp på inbyggnadsplatsen eller att utföra egenkontroller.

Några av förutsättningarna som måste vara uppfyllda för att få starta en aktivitet, exempelvis leveranser till byggplatsen, uppnås genom att skapa beredningsaktiviteter via konverteringsfunktionen, exempelvis *‘Kontakta konstruktör A för att kontrollera leverans av ritning nummer X’* eller *‘Kontakta underentreprenör B och kom överens om ett datum för utförande av aktivitet Y’*. Dessa beredningsaktiviteter allokeras ut via web services till berörd tjänsteman (13) vilken ansvarar för att den tilldelade beredningsaktiviteten utförs, vilket i sin tur medför att den förutsättning som är knuten till respektive beredningsaktivitet uppfylls innan planerad start. Beredningsaktiviteter kan även allokeras ut direkt till entreprenörens inköpsavdelning (13). Denna funktion kan även stödjas av en alarmfunktion som varnar för möjliga förseningar, exempelvis när en förutsättning fortfarande inte är uppfylld fastän det är nära till planerad start av en aktivitet. De förutsättningar som inte styrs av dessa beredningsaktiviteter kontrolleras automatiskt av systemet via skannings- & koordineringsverktyget. Denna funktion kommer att beskrivas närmare senare i detta kapitel.

När alla beredningsaktiviteter är rapporterade slutförda och de förutsättningar som systemet kontrollerar är uppfyllda kommer alla kryssrutor automatiskt att kryssas för och tidplanens aktivitet kan allokeras ut via web services till arbetslagen på byggplatsen (16). Dessa aktiviteter åskådliggörs i översiktsfunktionen av det mobila verksamhetssystemets rapporteringsdel (16) via en dator i byggboden, via en bärbar dator på byggplatsen, eller via en handhållen enhet som sköts av byggplatsens lagbasar.



Figur 35: Byggsynkroniseringsverktygets översiktsfunktion där aktiviteternas status automatiskt kontrolleras med hänsyn till de definierade förutsättningarna.

Aktiviteten kommer att visas i en lista med övriga, redan allokerade, aktiviteter, där arbetslagen kan själva välja en lämplig aktivitet att utföra. På detta sätt förhindras en allt för toppstyrd organisation. Det är även möjligt att hämta all information som har knutits till den allokerade aktiviteten under projektering och beredning till exempelvis den handhållna enheten på byggsplatsen, exempelvis ritningar, materiallistor, nödvändig utrustning, eller en 3D-vy över de byggsdelar som är knutna till aktiviteten.

Aktiviteternas status kan variera mellan *allokerad*, *tillbakavisad*, *påbörjad*, *avbruten*, och *avslutad*. Aktiviteterna får statusen allokerad så fort aktiviteten når aktivitetslistan i rapporteringsverktyget. Om en aktivitet av någon anledning inte kan utföras av det arbetslag den är allokerad till kan lagbasen avvisa aktiviteten följt av en kommentar om varför aktiviteten blivit avvisad.

När ett arbetslag börjar med en aktivitet måste den även rapporteras påbörjad. Vid detta tillfälle kommer alla delade resurser som används av den påbörjade

aktiviteten automatiskt att rapporteras upptagen till övriga aktiviteter som kräver dessa resurser, exempelvis om ett arbetslag påbörjar en aktivitet som kräver ett specifikt utrymme så rapporteras detta utrymme som upptaget till övriga aktiviteter som skall utföras i samma utrymme. På detta sätt minskar risken för störningar i produktionen. Aktiviteten kan rapporteras avbruten om arbetslaget är tvungna att ta ett längre avbrott vilket tillfälligt frigör de delade resurser som användes för aktiviteten och andra aktiviteter möjliggörs att påbörjas. Om en aktivitet rapporteras avbruten så måste även orsaken till avbrottet rapporteras. Det kan till exempel vara på grund av brist på material, ej tillgång till en delas resurs, eller skada. Dessa avbrott kan då senare följas upp för att minimera dessa i framtida projekt.

När ett arbetslag har slutfört en aktivitet måste det rapporteras tillbaka till synkroniseringsverktyget vilket medför att alla delade resurser som använts under aktivitetens gång blir tillgängliga för de aktiviteter som står i kö för att kunna bli allokerade till arbetslagen.

När lägesbaserad produktionsplanering används kan en aktivitet inte vara längre än den definierade spatiala nedbrytningen av projektet. Detta medför att en aktivitet måste rapporteras för varje definierat utrymme.

Skannings- och koordineringsfunktionen i synkroniseringsverktyget känner, via rapporteringsfunktionen (17), av när det sker förändringar på byggsplatsen, d.v.s. funktionen koordinerar de delade resurserna och det anslutande arbetet mellan de planerade och pågående aktiviteterna för att förhindra störningar i produktionen. Verkttyget behöver alltså information om aktiviteternas turordning samt vilka förutsättningar som krävs för varje aktivitet för att sedan kunna automatiskt koordinera arbetet (18).

Skanningsfunktionen används också för att följa upp projektet, både under själva projektets gång, men även efter projektets avslut. Under projektets gång skickar verktyget, via XML och web services, hela tiden tillbaka den aktuella informationen om faktiska start- och sluttidpunkter tillbaka till den lägesbaserade tidplanen (18). Detta möjliggör att hela tiden kunna jämföra planerat arbete med faktiskt arbete samt att se en prognos för kommande arbete vilket även gör det möjligt att snabbt kunna vidta kontrollåtgärder redan i planeringsfasen istället för att senare släcka bränder ute på byggsplatsen. Detta underlättas avsevärt genom att använda sig av lägesbaserad produktionsplanering.

Det faktiska produktionsdatat importeras sedan till 4D-viewern där den jämförs med den planerade produktionen med hjälp av färgkodning av 3D-objekten,

exempelvis vit kulör för aktiviteter som ej är påbörjade, blå kulör för aktiviteter som pågår, grön kulör för avslutade aktiviteter, gul kulör för påbörjade aktiviteter men som är försenade, röd kulör för aktiviteter som inte har startat och är försenade, och ytterligare en kulör för aktiviteter som är avbrutna.

Genom att använda dessa tekniker och metoder skapas automatiskt stora datamängder, vilka är svåra att skapa genom att använda sig av traditionella sätt att styra byggprojekt. Detta medför att en stor mängd data blir lättillgänglig för att följa upp och jämföra projekt vilket i sin tur underlättar att arbeta med ständiga förbättringar och att skapa en lärandeprocess inom företaget. Hur informationen ska användas för detta är ett ytterligare forskningsområde som inte behandlas i denna rapport.

Processen som beskrivs ovan repeteras fram till att den sista aktiviteten i tidplanen är avslutad vilket medför att projektet kan rapporteras som avslutat.

Processmodellen som presenterats ovan är ett utdrag av en större processmodell som även beskriver informationsflödet vid projekteringsskedet av ett byggprojekt men har inte varit i fokus i denna etapp. Den processmodell som även täcker detta kan ses i Bilaga III.

6 UTVÄRDERING AV DEN FÖRESLAGNA MODELLEN

6.1 Husbyggnadsproduktion

En generell synpunkt är att projekt som planeras väl och i god tid oftast fungerar mycket smidigt också på byggplatsen. Med **god framförhållning** beställs all material och utrustning i god tid. På så sätt undviks leveransförseningar. Verksamhetsstödet bör därför utformas så att det ger platschef/arbetsledning förutsättningar att agera pro-aktivt med god framförhållning och därmed agera så att huvudtidplanen följs utan större avvikelser. Det beror på att varje avvikelse ofta påverkar flera olika aktiviteter och aktörer. Avvikelseerna innebär därför omfattande merarbete med koordinering och svårigheter att nyttja yrkespersonalen effektivt.

6.1.1 Mobil tillgång till aktivitetsinformation

Viktiga behov som framkom var att ge yrkespersonalen mobil tillgång till information om uppdragen och stödja smidig rapportering och återkoppling till planeringssystem och 3D-CAD modellen. Ibland upprepas samma arbetsmoment ett stort antal gånger på en byggplats. Till exempel vid stomdrivning av en större fastighet. Det är då lätt för yrkespersonalen att missa de gånger arbetsmomentet förändras. Till exempel ändring av VA-dimensioner på högre våningsplan, inbyggnader av el-skåp vid gjutning etc. Arbetsledningen bör därför ges möjlighet att lägga in "varningar" då sådana förändringar sker så att yrkespersonalen verkligen

uppmärksammar ändringen. Det är också värdefullt att ge yrkespersonalen mobil tillgång till arbetsbeskrivningar för att minska risken för byggfel.

6.1.2 Automatiska varningar vid risk för försening

Såväl beredningsaktiviteter som produktionsaktiviteter bör hanteras i ett verksamhetsstödande system. Det bör finnas möjlighet att erhålla **automatiska varningar** om såväl ej tilldelade som tilldelade aktiviteter riskerar att försenas. Varningar bör erhållas i så god tid att problemet kan lösas utan att kritiska linjen riskerar att påverkas negativt. Varningarna bör kategoriseras så att det tydligt framgår vilka varningar som har stor påverkan på byggprojektet. Det ska vara möjligt att konfigurera varningarna så att enbart de viktigaste varningarna framträder.

6.1.3 Automatisk synkronisering mellan aktiviteter

En annan värdefull funktion är automatisk **synkning mellan uppdrag** som är beroende av varandra så att personalen på byggplatsen får vetskap om nya möjliga produktionsuppdrag utan att allting måste hanteras av platschefen.

Det är viktigt att arbetet på byggplatsen sker i **”rätt” tempo**. Eftersom det är väldigt många inblandade i både leveranser av material och arbetsmoment så är det inte bara förseningar som orsakar oönskade störningar. Det är inte heller bra att forcera arbetet på byggplatsen i onödan eftersom det innebär behov av tidigareläggning av gjorda beställningar. Det fungerar inte i praktiken. Därför måste verksamhetsstödet på byggplatsen fokusera på att stödja arbetet så att uppgjorda leveransplaner hålls.

6.1.4 Information om var yrkespersonalen befinner sig

Det ansågs mycket värdefullt att erhålla **realtidinformation om var olika team/individer befinner sig** på byggarbetsplatsen. En möjlighet är naturligtvis reservering av plats i byggnaden där de arbetar (jfr. Line-of-Balance). Även om personalen ges tillgång till mobila tjänster där de hanterar denna typ av information är det inte alltid som de prioriterar att rapportera detta och därför i praktiken befinner sig på andra platser. Om det är möjligt att via GPS få möjlighet

att automatiskt se var personalen befinner sig så skulle det bli mycket enklare att hitta dem vid behov. Men det kräver i så fall speciell positioneringslösning eftersom vanlig GPS inte fungerar inomhus.

6.1.5 Synkronisering av planeringsdokument

En stor komplexitet för platschefen är ***synkronisering av ett tiotal icke hop-länkade planer***. Det finns produktionstidplaner, inköpstidplaner, yrkesbemanningskurvor, leveranstidplaner, maskinplaner, utrustningsplaner, ... Alla dessa planer skapas och hanteras i olika applikationer från olika leverantörer. I olika projekt kan det dessutom förekomma att produkter från olika leverantörer används för samma funktionalitet. Ett stort behov är att sammanföra planerna i "Last Planner" så att det blir enkelt att se och styra aktiviteter med beaktande av de olika planerna. Men det är en grannlaga uppgift. Det genomförs lämpligen i form av ***fördjupad förstudie*** där de tekniska förutsättningarna för en sådan integration klarläggs.

6.1.6 Integration mellan IT-applikationer

Det ansågs värdefullt med den typ av utvecklad Last Planner och mobil klient funktionalitet som presenterades. Dessa funktioner bör integreras med Line-of-Balance/4D-CAD datalagringen. Det är nödvändigt att all funktionalitet och data hänger ihop i en väl fungerande helhet. Om detta är möjligt att åstadkomma undersöks lämpligen genom en mer genomgripande förstudie där också målsättningen med satsningen preciseras. Integrationen baseras lämpligen på XML-gränssnitt. När underlaget tagit form förankras det lämpligen i form av beslutsunderlag inför en mer genomgripande satsning.

6.1.7 Statistik

Statistikunderlag på UE-nivå är mycket värdefull för att bl.a. erhålla information om överenskomna utfästelser verkligen genomförts enligt överenskomsten.

Statistik från statusrapporteringen kan användas för att kalibrera recepten. Men att ändra arbetsvolymuppskattningen för recepten innebär MBL förhandling. Det är därför inte aktuellt att införa "automatisk" receptkalibrering även om det är tekniskt enkelt att genomföra.

6.1.8 Inriktning på fältprov

Det är lämpligt att ett fältprov på byggarbetsplatsen fokuseras på att ge yrkespersonalen tillgång till 3D vy via robust **tablet-PC** samt funktionalitet för statusrapportering av produktionsuppdrag. Detta är de allra viktigaste behoven som skapar störst mervärde.

NCC genomför en omfattande satsning på 3D i hela byggprocessen. I etapp 1 som påbörjats projekteras och visualiseras alla flerfamiljshus och kontor som byggs i egen regi i 3D CAD. I nästa fas kopplas 3D modellerna till MAP-kalkyler. Då börjar även mark och anläggningsprojekt använda 3D CAD. I tredje fasen ska Bygginformationsmodeller (BIM) nyttjas i projekten. Den föreslagna verksamhetsprocessen och verksamhetsstödet för On-Site Production kan skapa stora mervärden. Det är därför lämpligt att utvärdera detta i begränsat fältprov under tiden som fas 2-3 i 3D CAD projekteringen breddinförs på NCC. Om resultaten visar på stora mervärden skapas därmed förutsättningar att föra in detta arbetssätt då samtliga faser i 3D-CAD projekteringen införs.

Vid diskussioner om hur den nya arbetsprocessen och verksamhetsstödjande funktionaliteten bör fältprovas rekommenderades att fältprov bör delas upp i två faser. Fas 1 bör stödja stomdrivning av större fastighet. Det är en relativt enkel verksamhet där huvudentreprenörens egen personal utför huvuddelen av arbetet. Denna fas är främst avsedd för att vänja yrkespersonalen med utrustningen och säkerställa att verksamhetsstödet fungerar enkelt och tillförlitligt. Fas 2 avser vara den verkliga utvärderingen av metodens mervärden. Fas 2 bör inkludera uppgifter som kräver engagemang av flera olika yrkesgrupper som dessutom bör ha beroenden mellan varandras uppdrag. Såväl invändig som utvändigt ytskiktkomplettering är lämpliga för ett sådant fältprov.

6.2 Anläggningsproduktion

6.2.1 Mätgrupp

Mätning är en tämligen speciell och komplex verksamhet inom mark och anläggning. Det krävs speciell kompetens samt flertal IT-applikationer inkl. GPS. I dag har alla projekt en mättekniker. I en del projekt är mätteknikern undersysselsatt medan mätteknikern i andra projekt har en alldeles för hög arbetsbelast-

ning. FFA funktionaliteten möjliggör att mätteknikerna kan fungera som ”fria” resurser engagerade i flera projekt. Det kunde t ex vara mer ändamålsenligt att mätteknikerna får organisatoriska hemvisten NCC Teknik än att de som i dag tillhör projektorganisationen. Förslaget är därför att prova FFA för fördelning och rapportering av mätuppgdrag i en lämpligt avgränsad del av t ex Mark verksamheten som. Om det slår väl ut är det då enkelt att motivera att den nya arbetsformen för mättekniker bör tillämpas också för övriga verksamheter.

6.2.2 Ruttoptimering

En viktig FFA-funktion för mättekniker är optimerad ruttplanering mellan mätuppgdrag. Det har visat sig att ca 15-20% av alla mätningar reklameras och måste göras om. Trots ordentliga försök att förbättra mätmetoder etc. har det visat sig att det inte går att undvika denna nivå på reklamationer. Den ruttoptimering som visat sig fungera bäst är att låta mättekniker utföra uppgdrag i ”cirkelform” där rutt-cirklarna läggs ut på så sätt att de överlappar varandra. Det innebär att det alltid ska finnas en mättekniker på icke alltför långt avstånd från varje mätplats för att minska sträcka/tid till reklamationsplatserna. Denna strategi för optimeringen har visat sig betydligt effektivare än då mätteknikernas avstånd/tid mellan mätuppgdragen minimeras eftersom det då blir alltför långa transporter till de frekventa reklamationsuppgdragen vilka har hög prioritet.

6.2.3 Presentation av möjliga uppgdrag

Eftersom mätteknikerna förflyttar sig över stora avstånd är det önskvärt med en FFA applikation där de enkelt ser vilka andra mätuppgdrag det finns i närområdet. När de har tid kan de då passa på att utföra dessa uppgdrag då de ändå befinner sig på den avlägsna platsen så att de slipper genomföra den långa och tidskrävande transporten vid ett senare tillfälle.

Ett viktigt motiv till att ge mätteknikerna goda möjligheter att själva styra uppgdrag är att planeringen oftast spricker av olika skäl. Det är därför effektivast att ge dem själva möjligheter att optimera sin egen arbetsfördelning.

6.2.4 Arbetsledarrollen

I konventionell mark och anläggningsverksamhet finns det alltid en arbetsledare som leder och följer upp arbetet. Genom införandet av 3D och maskinstyrning så är det naturligt att förarna av anläggningsmaskinerna arbetar självständigt. De får all information om uppdragen via IT-systemen och rapporterar fortlöpande progressen. Den konventionella arbetsledarrollen är därför på väg bort. När det gäller att utveckla IT-funktionaliteten är det därför viktigt att utgå från att de nya funktionerna ska stödja självgående förare av anläggningsmaskiner.

6.2.5 Snabb omplanering då hinder för pågående mark och anläggningsarbete upptäcks

När det gäller mark och anläggning är det viktigt att vara medveten om att det hela tiden inträffar störningar i arbetet. Det har med mark och anläggningsverksamhetens natur att göra. Vi har inte komplett information om vad som döljer sig under markytan. Det gäller därför att ge förarna stöd att ta rätt beslut då olika former av störningar inträffar. Om det visar sig att det inte går att fortsätta med en grävning som planerat gäller det att se till att föraren får information om andra grävuppdrag i närheten så snabbt som möjligt. I dag stoppas ofta arbetet upp under längre tid utan att den dyra maskintiden nyttjas i alternativa arbeten tillräckligt snabbt. Något som ger stor negativ påverkan på projektets ekonomi. Här kan FFA applikationer skapa stort ekonomiskt mervärde!

6.2.6 Uppdateringar av karta/3D

Maskinstyrning har i begränsad omfattning införts på ett mycket framgångsrikt sätt. Det har inneburit att produktiviteten på grävmaskinerna är flera gånger högre än vad som är fallet vid manuell styrning. Snabbheten har inneburit problem när det gäller revideringar av kartor/3D modeller. Många gånger har grävmaskinen redan hunnit gräva enligt ”gamla” revisionen innan uppdateringen kommit fram. Det är därför önskvärt med snabbare elektronisk hantering av revisioner av kartor/3D-modeller så att grävmaskinisten hinner få tillgång till slutversionen innan grävningen utförs.

6.2.7 Information om lager av olika typer av material

Ett annat behov är att hålla reda på mellanlagring av krossprodukter. Genom att möjliggöra enkel rapportering inkl. GPS koordinater där mellanlagring av material sker blir det enklare att avgöra om material ska hämtas vid krossanläggning eller om det redan finns material på närmare håll som kan användas.

6.2.8 Grovlogistik av maskiner

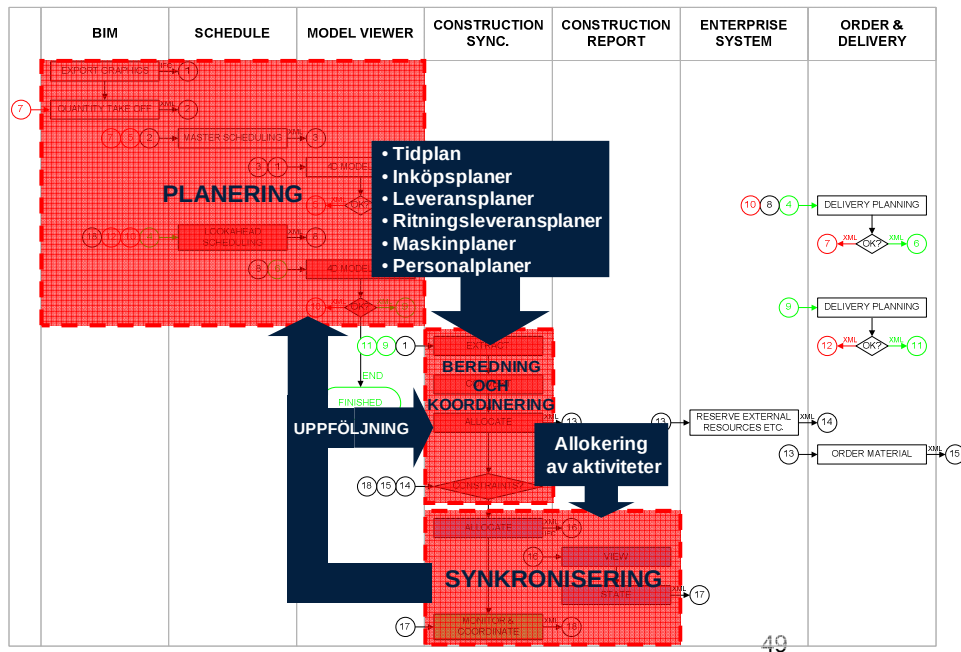
Ett annat intressant område är logistikstöd på mark- och anläggningsplatserna. Maskintiden är väldigt dyr så det gäller att de nyttjas produktivt i så stor omfattning som möjligt. Det är möjligt att arbetsfördelning och synkronisering mellan transporter av material och anläggningsmaskinerna möjliggör högre nyttjandegrad.

6.2.9 Provmiljö för nya arbetssätt och verksamhetsstödjande applikationer

För att nå full effekt vid införande av ny teknik behövs ofta organisatoriska förändringar typ de som beskrivs ovan för mättekniker, arbetsledare, förare av mark- och anläggningsmaskiner etc. Det är ofta svårt att få personalen att ändra inställning, prova nya arbetsmetoder etc. Det beror på att flertalet människor är ovilliga mot förändringar. Men det finns samtidigt personer som trivs med att prova nya metoder, utrustningar etc. För att snabba upp förändringsprocessen kan det därför vara lämpligt att utveckla lagom stor del av de olika verksamheterna till enheter där nya arbetsmetoder och teknologier utprovas. De lockar då till sig mer förändringsbenägen personal som utbildas till att hitta problem i dagliga arbetslivet, föreslå och prova lösningar för förbättring. Det gäller att dessa öar av förändringsbenägna verksamheter blir tillräckligt stora för att möjliggöra organisatoriska förändringar. Ofta är såväl personalansvar som budget alltför begränsad för att kunna göra annat än mindre teknikprov. Det är därför värt att beakta att stimulera de framgångsrika grupperingarna så att de får allt större verksamhetsmässig och ekonomisk omfattning så att den positiva spiralen snabbt fortplantar sig i allt större delar av hela organisationen.

6.3 Förslag till fältprov

Den del i processmodellen som hanterar beredning/koordinering, synkronisering, rapportering och uppföljning (se Figur 36) skapar stora möjligheter till kvalitets- och produktivetsförbättringar på byggplatserna. Vid slutseminariet var flera byggföretag intresserade att prova och utvärdera om förväntade kvalitets- och produktivetsförbättringar erhålls i praktiken genom fältprov.



Figur 36: Processmodell för effektivare beredning/koordinering, synkronisering, rapportering och uppföljning av produktionen på byggarbetsplatserna. Baserad på figur 5.1 i Norberg (2008)

6.3.1 Produktivitetsmål för fältprov

En ansats till produktivitetsmål för ett sådant fältprov är att förkorta produktionstiden och arbetsvolymen för de delar i byggprojektet som fältprovet fokuserar på att stödja med 10%. De delar i byggproduktionen som anses bäst lämpade för fältprov är invändig- resp. utvändigt stomkomplettering samt ytbeläggning.

Målsättningen kan förverkligas genom att fler aktiviteter kan genomföras parallellt genom bättre stöd att reservera mindre utrymmen för olika team/aktiviteter. Att inga aktiviteter tilldelas yrkespersonalen förrän alla nödvändiga genomförandeförutsättningar är uppfyllda. Genom att ge yrkespersonalen information om alternativa aktiviteter redo att utföra då det visar sig att pågående aktiviteter trots allt inte kan slutföras för tillfället. Ökat ansvar för att verkligen slutföra aktiviteter enligt plan genom den arbetskultur utveckling lean production metodiken innebär.

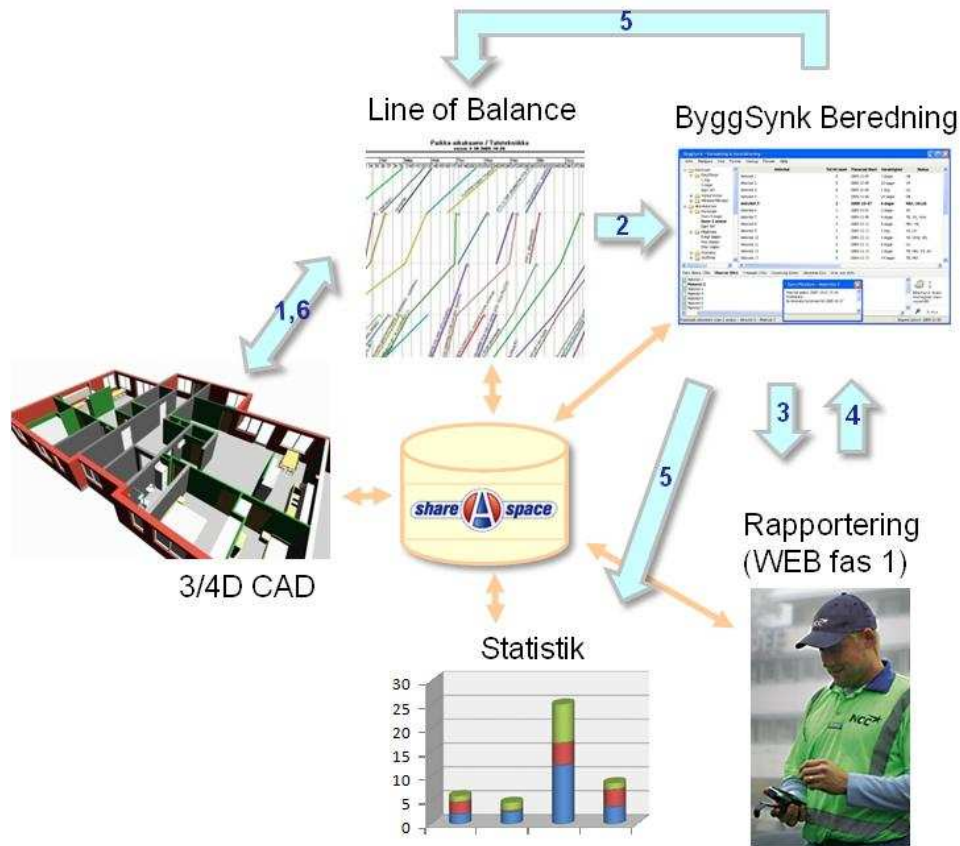
6.3.2 Kvalitetsmål för fältprov

En ansats till kvalitetsmål för fältprov är att öka produktionskvaliteten så att 50% mindre arbetsvolym blir nödvändig för genomförande av avhjälpande aktiviteter i samband med slutbesiktning.

Målsättningen kan förverkligas genom införande av IT-stöd för mottagningskontroll samt flexibel egenkontroll och avvikelshantering i samband med genomförandet av produktionsaktiviteterna. Genom att identifiera brister och genomföra åtgärder redan under genomförandefasen blir resursbehovet betydligt mindre än om åtgärden ska utföras i samband med slutbesiktningen. Det beror på att risken för att bristen återupprepas minskar, yrkespersonalen finns på plats, har tillgång till nödvändig utrustning och har aktiviteten i färskt minne. De kan därför ofta åtgärda problemet snabbare än vad som är fallet då arbetet med denna typ av aktivitet avslutats. Flexibel egenkontroll stärker dessutom kvalitetsmedvetandet hos yrkespersonalen varför omfattningen av bristerna reduceras.

6.3.3 Förslag till realisering av fältprov

Figur 37 nedan beskriver de produkter/applikationer som bör ingå i fältprovet samt hur de samverkar med varandra.



Figur 37: Samverkan mellan produkter/applikationer vid ByggSynk fältprov.

3/4D CAD

Byggprojektet bör vara projekterat i 3D CAD. Det är värdefullt att 4D-CAD verktyg används för att möjliggöra visualisering av huvudtidplanen samt visa verklig progress under produktionsfasen.

Platsbaserad projektplanering

Det är lämpligt att använda Vico Control eller annat platsbaserat planeringsverktyg för line-of-balance planering. Genom att stödja presentation av verklig progress i det grafiska gränssnittet blir möjligt att i tidigt skede identifiera kommande konflikter om utrymme mellan aktiviteter/arbetslag.

ByggSynk Beredning

Verktyg som gör det enkelt för platschef och annan personal som medverkar vid beredningen att hantera produktionstidplaner, leveranstidplaner, bemaningskurvor, maskintidplaner etc. på mer rationellt sätt. I detta ingår även hantering/uppföljning av anslutande aktiviteter, stöd för tilldelning av aktiviteter till team/individer.

ByggSynk Rapportering

IT stöd för team/yrkespersonals rapportering av påbörjade/avslutade aktiviteter. Stödjer även ankomstregistrering och flexibel egenkontroll.

Statistik

Visuell och tydlig statistik över produktionen på byggplatsen. Det inkluderar t.ex. arbetsvolym och löptider för olika produktionsaktiviteter, omfattning av olika typer av avvikelser etc.

Share-A-Space

Share-A-Space används bl.a. för datalagring av bygginformationsmodellen, revisionshantering samt rapporteringsdata och statistik.

7 RESULTAT - FALLSTUDIE

7.1 Kv. Råddjuret

Som fallstudie används ett pågående bostadsprojekt (Brf Robertsvik, Kv Råddjuret) i Luleå centrum där NCC bygger två huskroppar med totalt ca 80 bostadsrätter, se Figur 38. Byggstart var augusti 2008 och beräknad inflyttning är februari 2009.



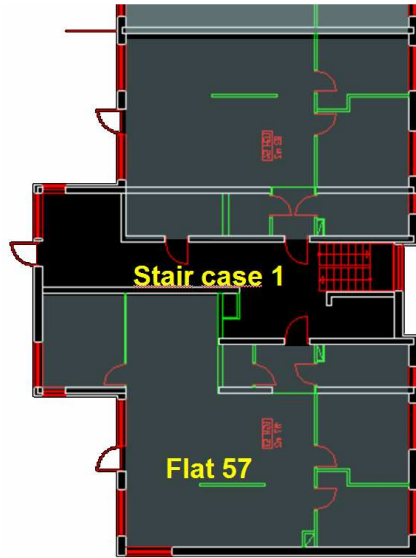
Fakta:

- Byggherre: HSB Norr
- Arkitekt: Tirsén & Aili Arkitekter
- Entreprenör: NCC
- Entreprenadform: Partnering

Figur 38: Arkitektskiss över bostadsprojektet (Källa: Tirsén & Aili Arkitekter)

Huskropparna är av typen sex våningars lamellhus med totalt sex trapphus där varje trapphus ger åtkomst till mellan två och tre lägenheter per plan. Stommen består av prefabricerade ytterväggar och bjälklag med platsgjutna innerväggar.

7.2 IFC-modell för test av informationsflöde

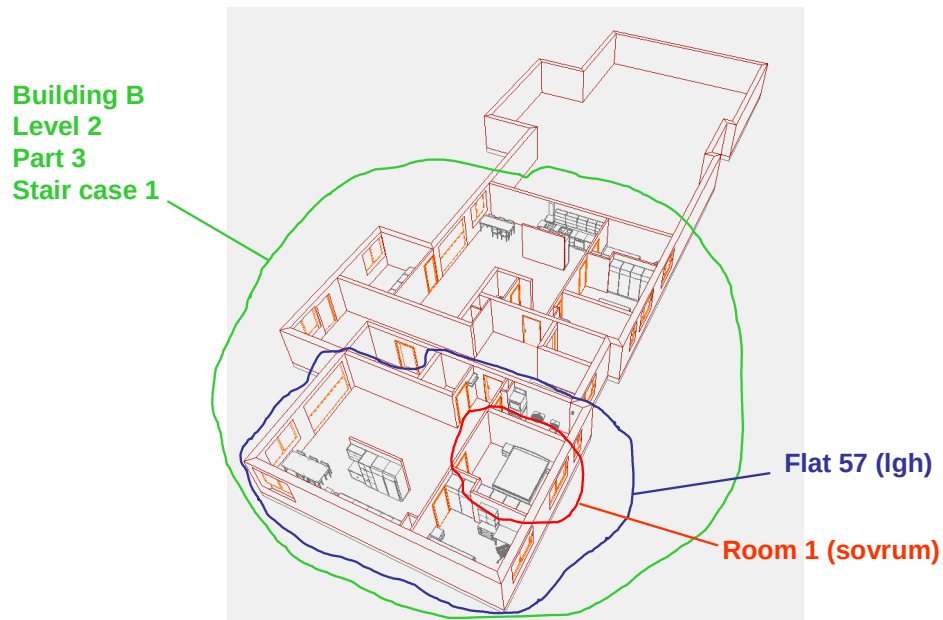


Byggnaderna är projekterade i CAD-verktyget ADT, se Figur 39, som visar några lägenheter på ett våningsplan. Från denna CAD-modell har sedan IFC-filer förts över till Archicad där den kompletterande informationen för de enskilda byggdelarna och rummen har lagts till för studiens behov.

Den fortsatta hanteringen i produktionsplaneringen kräver unika identiteter och versioner på alla objekt, på den detaljeringsnivå som kan bli aktuell, beroende av hur arbetslag och enskilda vill sortera underlaget för de olika aktiviteterna som de skall utföra.

Figur 39: Del av planritning ritad i ADT 2007.

Från Archicad-modellen med de kompletterade värdena skapades sedan en IFC-fil, vilken visas i Figur 40, i "viewer"-programvaran från DDS.

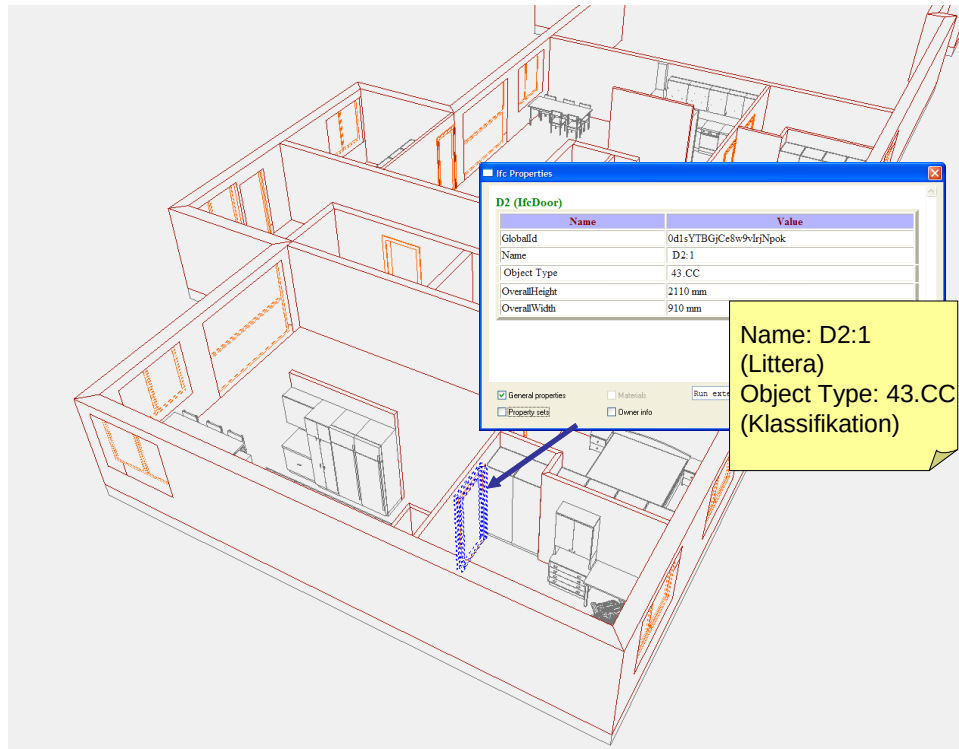


Figur 40: IFC filen från Archicad visad i DDS viewer

De olika bygghedlarna och rummen har nu fått unika identiteter som kan följas i den fortsatta processen, se Figur 41.

Littera, d v s typ med tillhörande löpnummer, definierar dessa tillhörande egenskaper. Dörrar får då heta t ex D2, som är typen, och därefter försedda med löpnummer som kan vara D2:1.

Dessa litteran blir då unika och kan skrivas ut på ritningarna för att lättare kunna identifieras. De unika globala identiteterna i IFC, GUID, är för långa för att kunna användas i kommunikationen mellan människor. Det blir därför viktigt att CAD-systemen kan skapa dessa litteran och skriva ut dem i modellen.

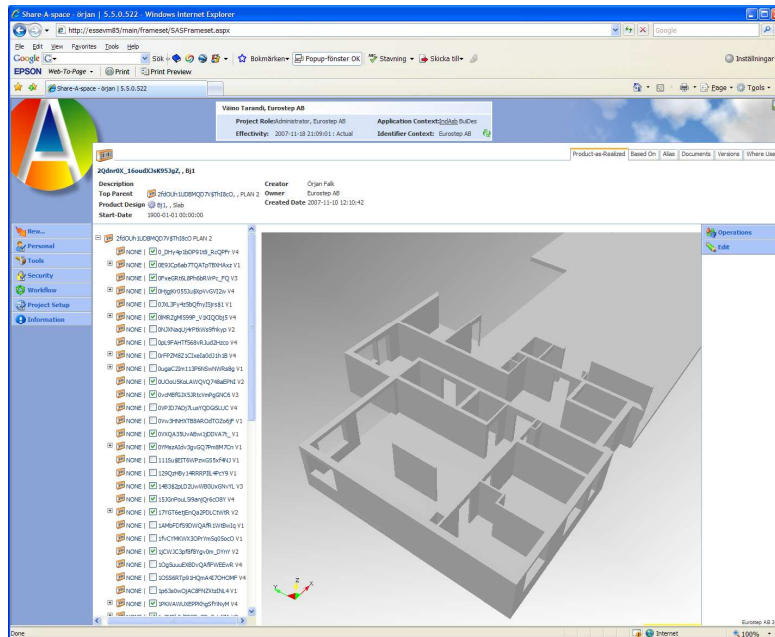


Figur 41: Unik identitet m h a littera för dörren

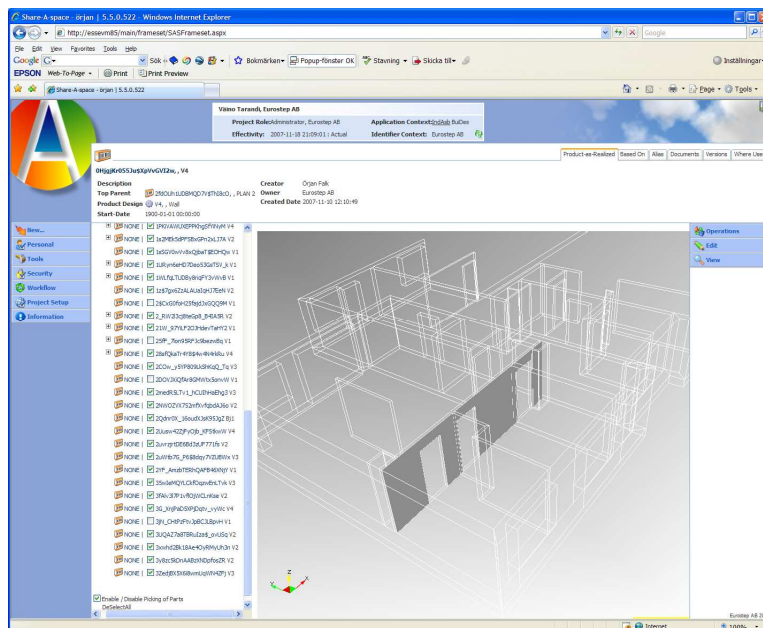
IFC-modellen lästes sedan in i Share-A-space, se Figur 42. Share-A-space är en PLCS-baserad modell-server, där de olika objekten hanteras med unika identiteter, med versioner, samt med relationer och koppling till typobjekt med de gemensamma egenskaperna för typen. Endast de unika egenskaperna för varje individ i förhållande till typen finns på individen.

I den följande figuren, Figur 43, visas hur en vägg representeras med sina öppningar. Dörren i Figur 44 med sina egenskaper, i detta fall bredd och höjd samt littera sitter i väggen. Den är en individ av typen D2, se Figur 45.

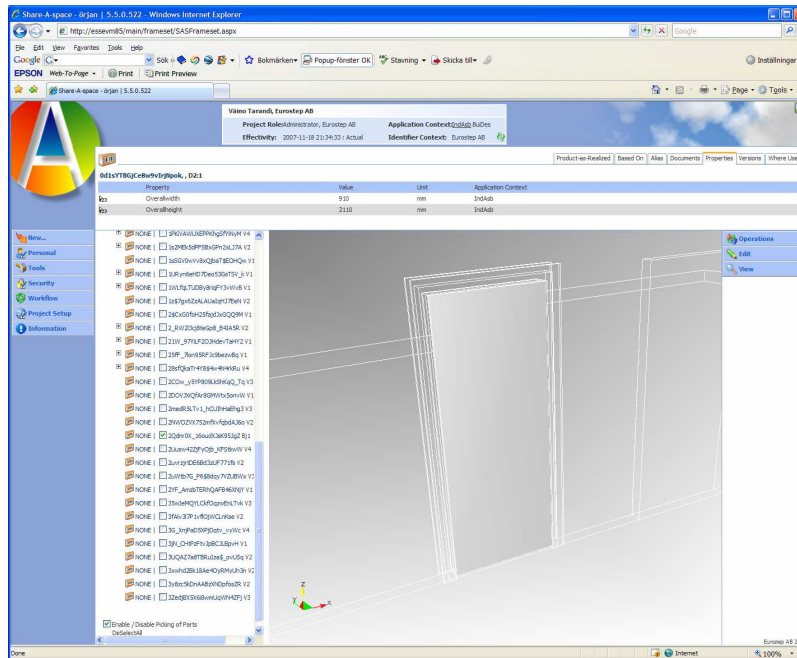
SBUF projekt 12021 - Etapp I & II



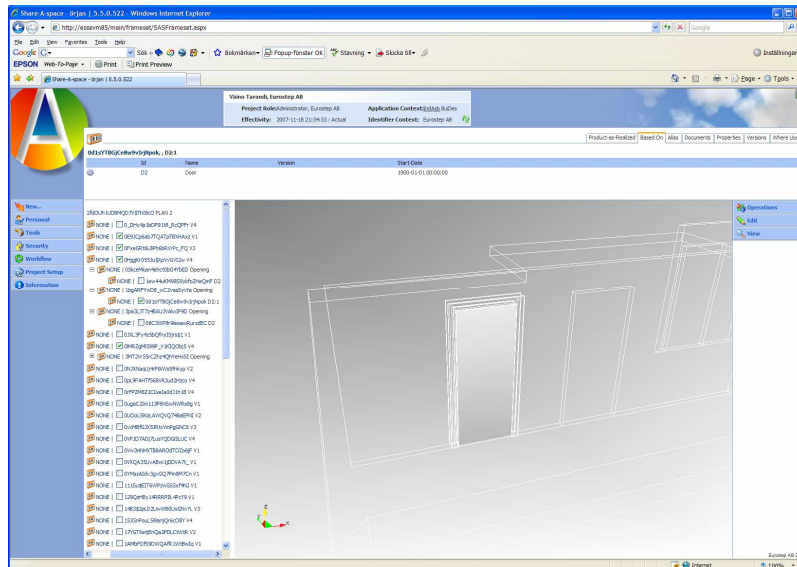
Figur 42: En del av ett våningsplan visas i Share-A-space



Figur 43: En vägg med tre öppningar, i vilka det sitter dörrar



Figur 44: Dörren med egenskaper

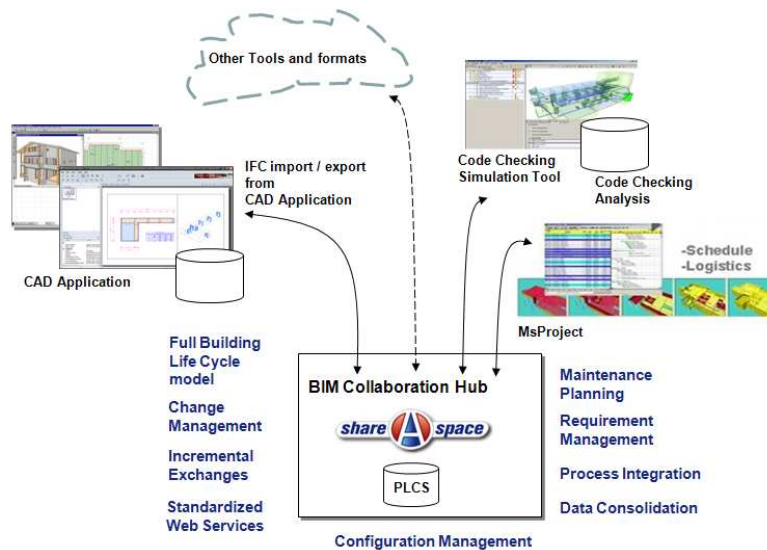


Figur 45: För dörren D2:1 visas typ D2, på vilken den är baserad

Versionshantering på objekten i CAD-systemet infördes och testades i etapp II av studien. Det innebär att ändringshantering på individnivå kan införas, vilket gör att förslag på ändring, Engineering Change Proposal (ECP) och genomförande av ändring, Engineering Change Order (ECO) kan knytas till strukturen och de enskilda användarna.

8 ARKITEKTUR FÖR EN STANDARDISERAD VIRTUELL BYGGINFORMATIONSMILJÖ (VBE)

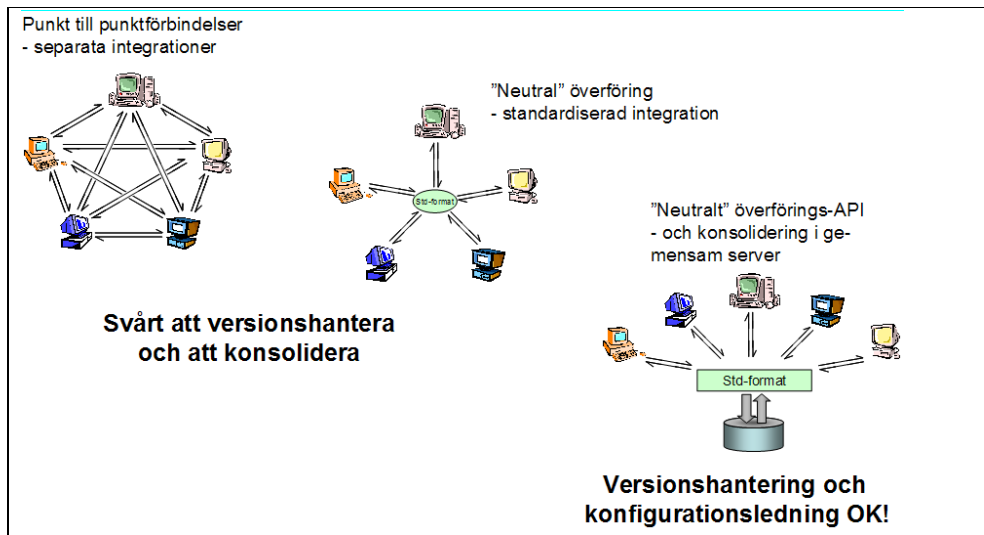
Arkitekturen bygger på en s k modellserverlösning där byggdelsobjekt importerar från bl a CAD-system i IFC-formatet till BIM Collaboration Hub, byggd på programvaran Share-A-space, som baseras på PLCS-standarden. Den integrerade och konsoliderade informationen kan därefter användas av andra tillämpningar som läser och skriver IFC-filer.



Figur 46: Översikt av modellserverlösningen i projektet

8.1 Informationens struktur

Informationen som skapas i projekten måste kommuniceras mellan de olika involverade aktörerna. Det finns flera olika principer för detta, vilket illustreras i Figur 47.



Figur 47: Principer för informationsöverföring

Två av dem bygger på standardiserade format. I det ena fallet sker kommunikationen fortfarande punkt till punkt med fil-/API-överföring, medan informationen i det andra fallet lagras på en för projektet gemensam lagringsplats, där informationen kan versionshanteras och konfigurationsledas. Denna funktion möjliggör ändringshantering och spårbarhet för såväl de enskilda objekten som för större aggregerade enheter, som system och byggnader.

För att detta skall kunna fungera måste alla medverkande programvaror på något sätt måste kunna hantera grundläggande funktioner för någon form av versionshantering utöver att de har unika identiteter.

Genom att använda standarden IFC tillsammans med PLCS får man tillgång till de funktioner som behövs för en effektiv konfigurationsledning av byggprojektinformation.

All den funktionalitet som traditionellt använd i tillverkningsindustrin blir nu tillgänglig för openBIM eftersom IFC-objekten mappas/avbildas mot PLCS och importeras och lagras i Share-A-space. IFC-standarden ISO/PAS 16739 stödjer bl a:

- byggdelar
- material
- egenskaper
- geometri
- placering

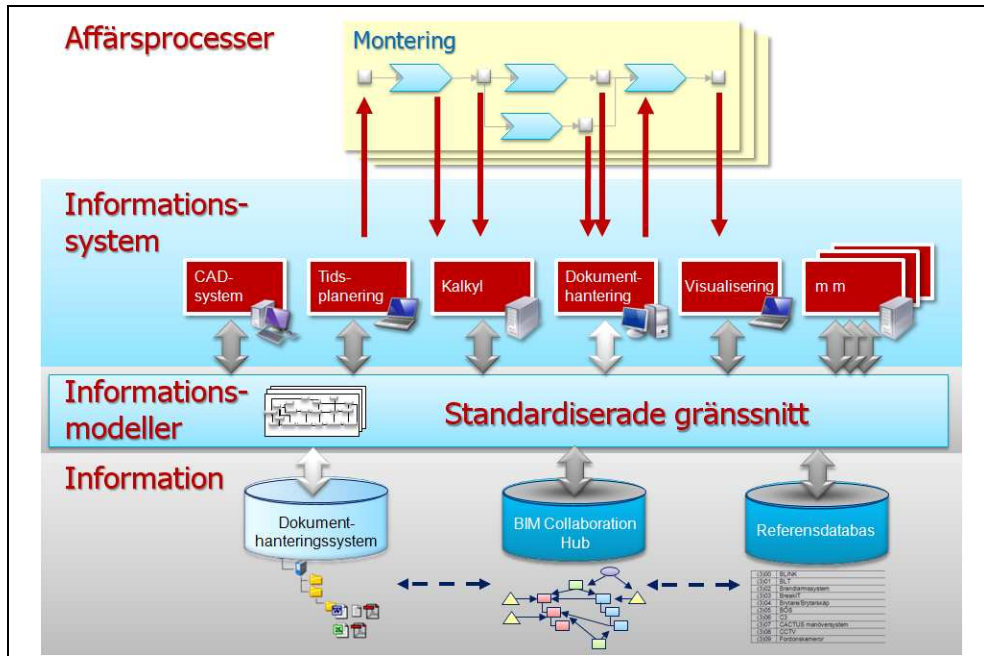
Alla IFC-objekt som importeras till Share-A-space representeras med egenskaper, versioner, relationer och geometri. I tillägg till IFC-geometrin kan originalCADformat, VRML och specifika 3D visualiseringsformat läggas till när så behövs. I detta arbete har VRML och Spinnfire 3D bifogats för visualiseringen i Internet Explorer.

Kombinationen med ISO 10303-239 (PLCS) utökar funktionaliteten med bl a:

- ändringshantering
- versionshantering
- konsolidering
- kravhantering
- individhantering – med serienummer
- underhåll

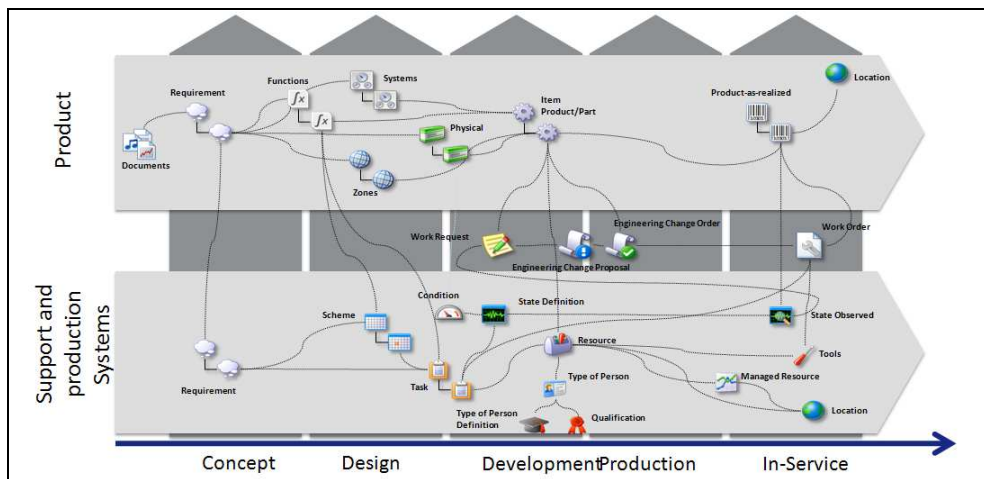
Koppling mellan processer och information går genom standardiserade gränssnitt, som baseras på web services standardiserade inom OASIS och OMG. Det ger möjligheter till modularisering och återanvändning av gränssnittsdefinitionerna.

I Figur 48 visas hur olika informationsmängder relateras till en process via dessa gränssnitt.



Figur 48: Arkitekturs lager – processer, IT-system och information

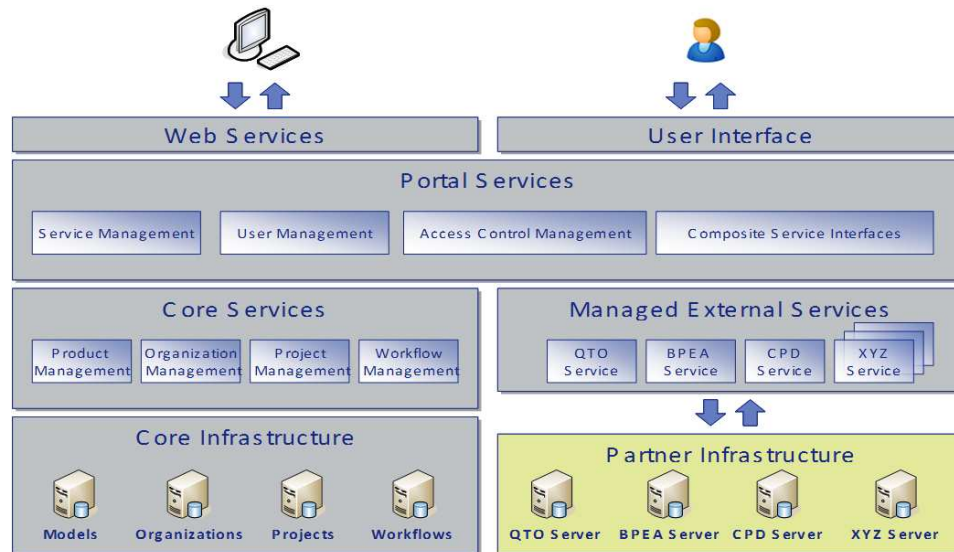
Ett gränssnitt baserat på PLCS-standarden möjliggör att tillverknings och underhållsinformation kan knytas till produktinformationen under hela livscykeln. I Figur 49 visas de olika begreppen, och sambanden dem emellan, som nu blir tillgängliga för bygg- och förvaltningssektorn.



Figur 49: Begreppen och sambanden i PLCS-standarden

Tjänster

BIM Collaboration Hub är baserad på resultat från det europeiska VIVACE-projektet (2004-2007) för flygindustrin, där ett resultat var "the Virtual Enterprise Collaboration Hub". Huvudstrukturen av "navet" visas i Figur 50.



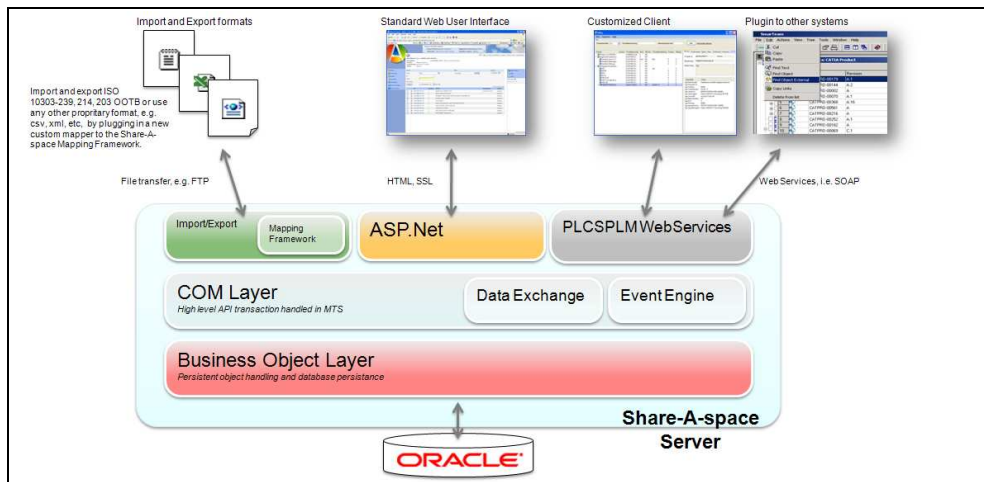
Figur 50: De olika delarna i "the Virtual Enterprise Collaboration Hub"

Detta är en samarbetsplattform som möjliggör för slutanvändare från olika organisationer, med olika roller och verktyg, att samverka i alla faser i livscykeln för projekt och byggnadsverk.

I denna plattform är Service Oriented Architecture, SOA, en mycket viktig del.

Serverlösning

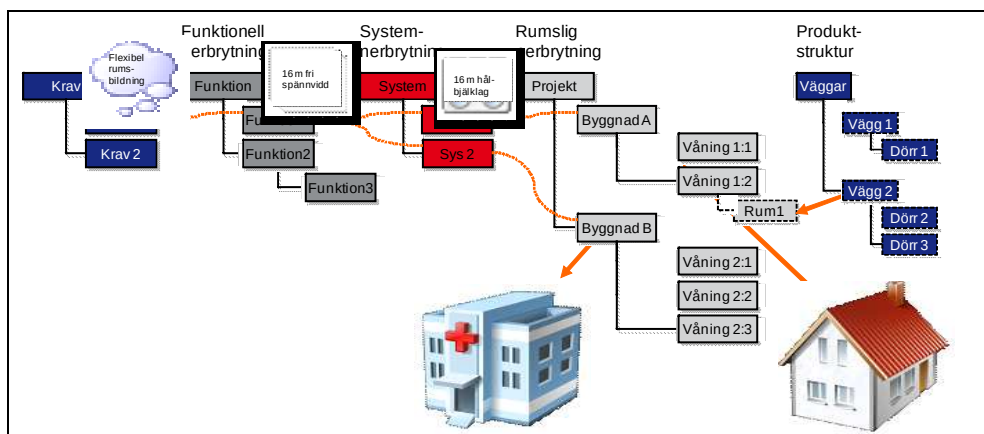
Share-A-space har ett antal sätt att kommunicera på: det traditionella Graphical User Interface (GUI), åtkomligt via Internet "browsers", filimport/-export med "mappning" för ett antal format mot PLCS samt standardiserade web services för OASIS PLCS PLM web services liksom för OMG PLM web services, se Figur 51.



Figur 51: Arkitekturen i Share-A-space

Relationer mellan krav och lösning

En mycket viktig funktion är nerbrytningen av krav som länkas till funktionella och systemnerbrytningar. I Figur 52 är de olika strukturerna från krav till produkt illustrerade. Detta visar möjligheterna att länka krav till funktion till system och i detta exempel till ett utrymme. Om och när ett krav ändras, så kan detta spåras till de individuella rum som påverkas. Notifieringar, beroende på vilka objekt eller objekttyper som man prenumererar på, skickas då för information och åtgärder.

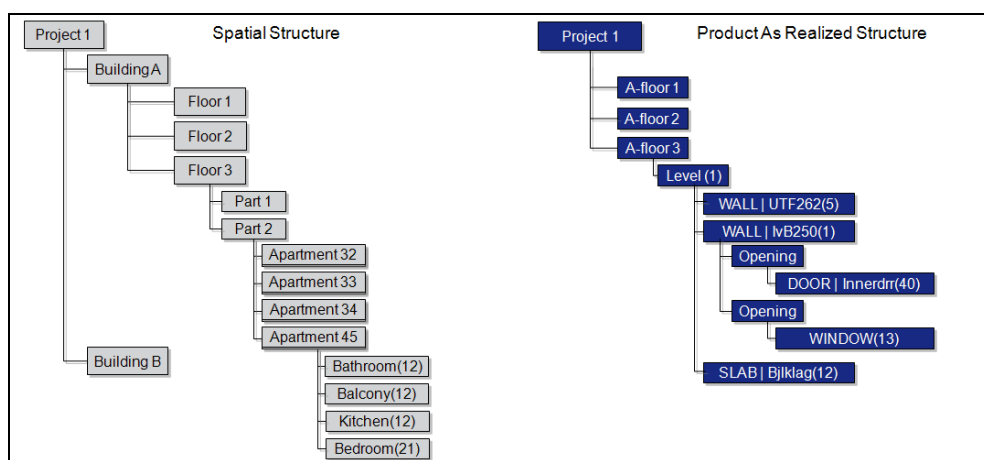


Figur 52: PLCS ger stöd för hela livscykeln från krav via system till produkten

8.2 Informationen i typfallet

Vid import av IFC-filer från Archicad skapas två parallella strukturer, en för den spatiala nerbrytningen och en för den fysiska strukturen, se Figur 53

Mellan dessa strukturer byggs automatiskt, vid importen, länkar som gör att man kan navigera ner i en struktur och hitta relationer från det valda objektet till ett objekt i en annan struktur. Detta kan göras manuellt eller av datorer via användargränssnitt mot modellservern respektive ett datorgränssnitt, s k API.



Figur 53: Rumslig och fysisk nerbrytning av byggnadens olika delar

För användningen av planeringsunderlaget ute på byggplatsen behöver byggdelar och produktionsresultaten kunna sökas och hittas på olika nivåer i strukturerna.

Följande nivåer är de mest användbara:

Byggnad

- Plan
- Bygg- och installationsdelar som ligger direkt under byggnaden

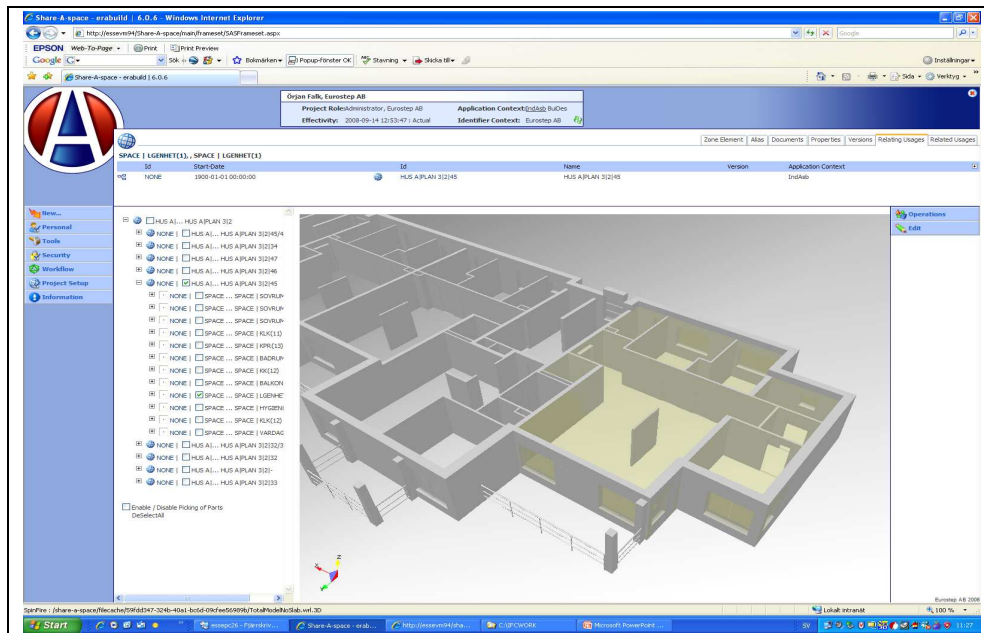
Till byggnadsnivån kan t ex installationssystem, som går över flera våningsplan, knytas.

Plan

- Utrymmen – zoner och lägenheter
- Bygg- och installationsdelar som ligger under planet

Till våningsplanet skall man kunna knyta det som har med stommens rumsliga indelning och produktion att göra, t ex bärande väggar och bjälklag. Till trapphuset – del av våningsplan – skall man kunna knyta t ex lägenhetsskiljande väggar.

I Figur 54 visas hur ett plan har kopplingar till byggdelar – bl a bjälklag, väggar, fönster och dörrar – samt till lägenheter.



Figur 54: Våningsplanet håller samtliga byggdelar och utrymmen. Här är en av lägenheterna markerad som exempel.

Lägenhet

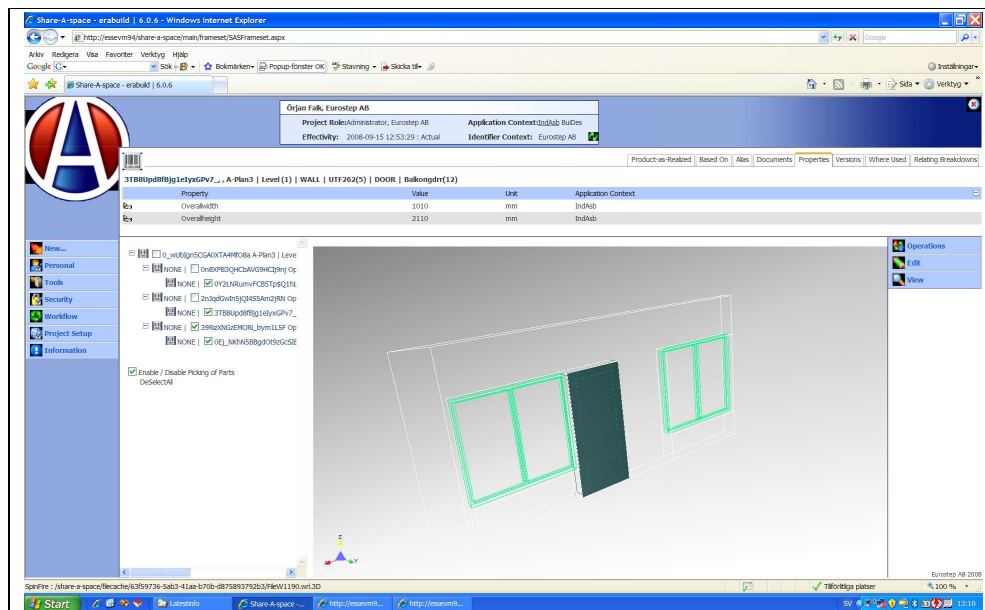
- Utrymmen – rum
- Bygg- och installationsdelar med kopplingar till lägenheten

Lägenheterna som utgör en viktig indelningsgrund skall kunna hålla reda på vilka innerväggar och fönster som har anknytning till dem. För rummet som är den lägsta nivån, se Figur 53, knyts alla dörrar, ytskikt och rumskompletteringar som skåp och handfat.

Rum

- Bygg- och installationsdelar med kopplingar till rummet

I Figur 55 visas hur en vägg som gränsar mot ett rum innehåller fönster och en dörr som är av intresse att planera på rumsnivå.



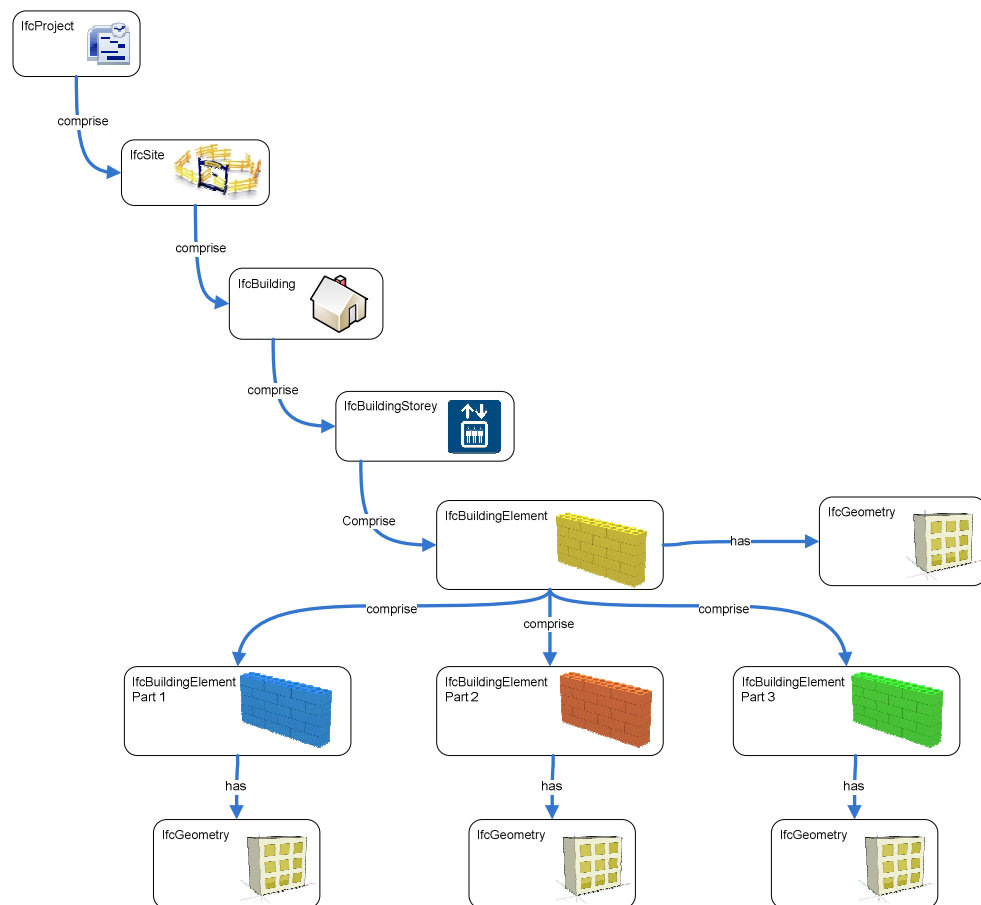
Figur 55: Dörr i vägg som gränsar mot rum. Den har koppling till två rum

För produktionsplaneringen behöver man definiera:

- Vilka byggdelstyper som knyts till vilka areanivåer
- Namn och identiteter på byggdelarna, dels för att identifiera och dels för att hitta för produktionspersonalen

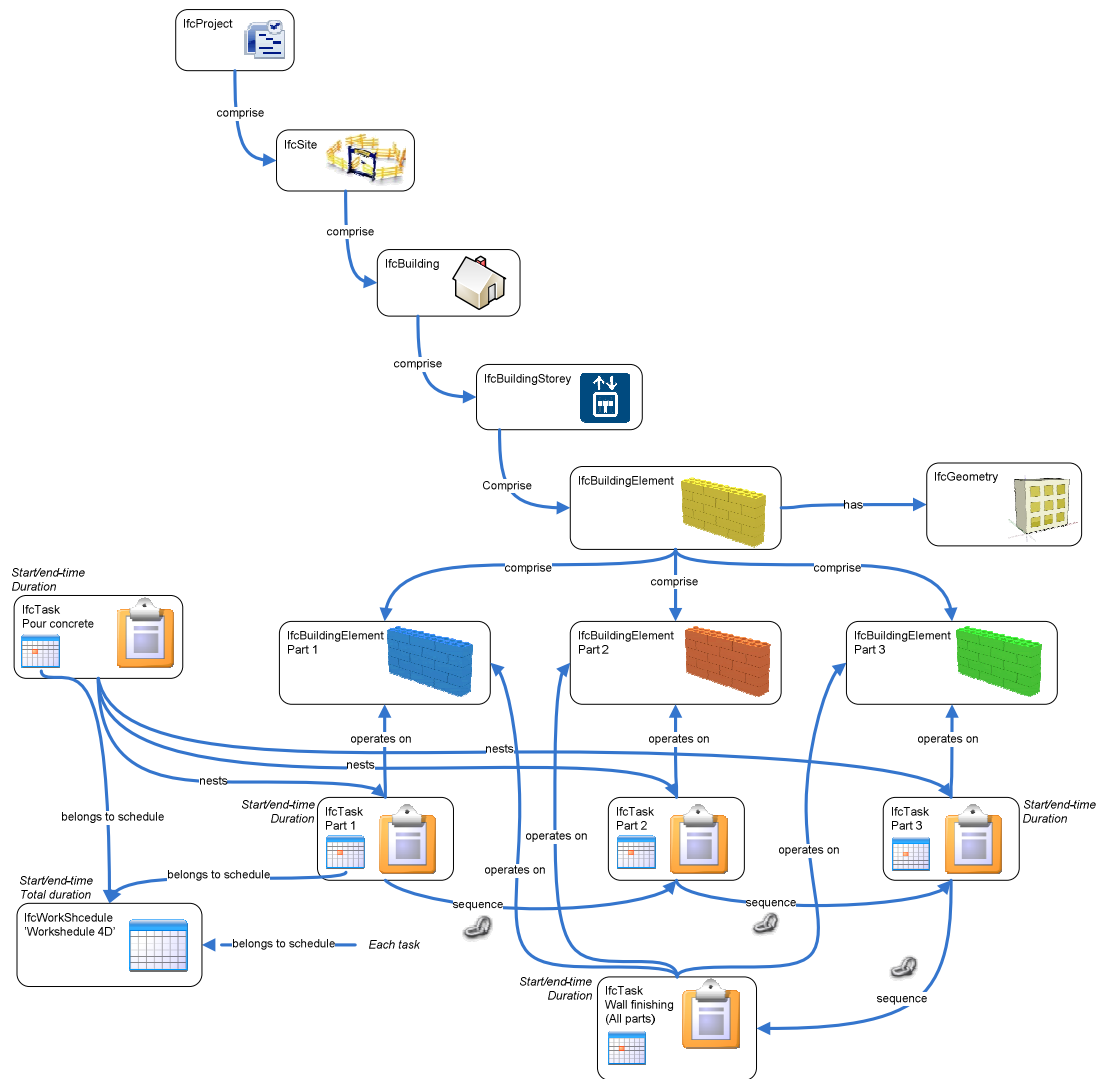
8.3 Tidsplanering

Ett enkelt exempel visar hur IFC och PLCS samverkar genom att bidra till olika delar av livscykeln. I detta fallet visas hur den tidiga informationen från IFC-objekt samt geometri är ursprunget för planeringen.



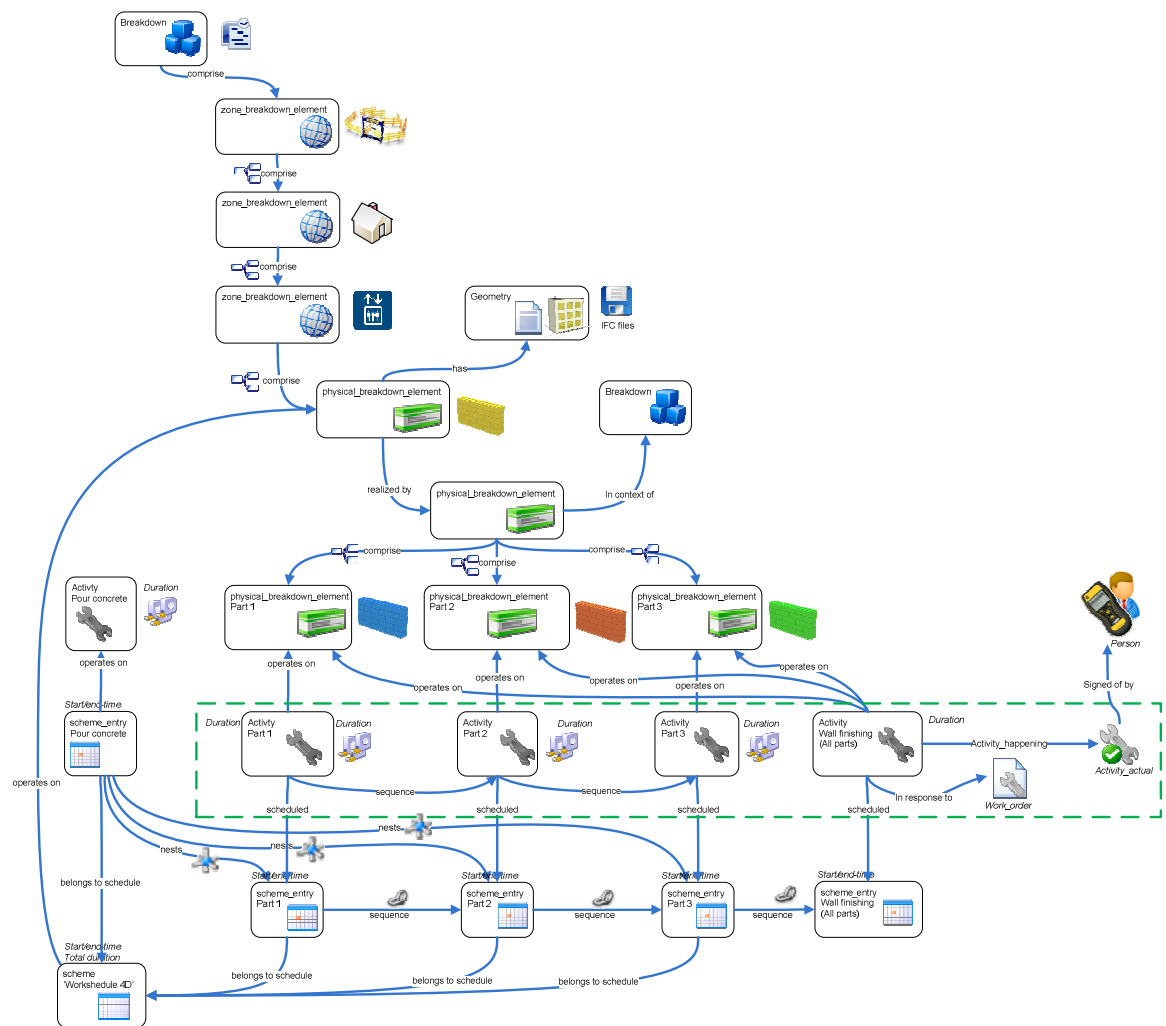
Figur 56: Ingångsinformation för tidsplanering

Vid tidsplaneringen kopplas aktiviteter ihop med respektive byggnadselement, se Figur 57.



Figur 57: Aktiviteter ihopkopplade med bygghetar

PLCS-standarden bidrar med ytterligare möjligheter att använda befintlig information i senare livscykelkedan. I Figur 58 visas hur informationen via PLCS blir åtkomlig i t ex ett mobilt verksamhetssystem och därigenom möjliggör en elektronisk inrapportering av utförda, avvisade eller ändrade aktiviteter.



Figur 58: Översiktlig PLCS-representation av exemplet ovan.

8.4 Överföringsvyer – Model View Definitions, MVD

Som ett resultat av studierna i projektet har fem förslag på vyer av informationen för överföring mellan olika processer/aktiviteter definierats. De är inte specificerade i detalj, vilket är ett omfattande konsensusarbete som kräver ett nationellt eller ännu hellre, ett internationellt samarbete.

Avsikten är att förslagen skall överlämnas till den internationella standardiseringen inom buildingSMART International, d v s organisationen som standardiserar IFC-tillämpningarna.

De fem förslagen är:

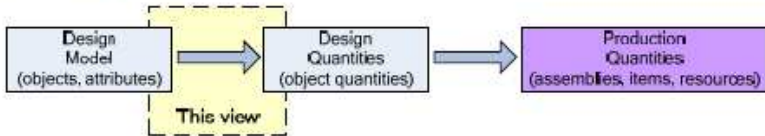
- A/E/C design to sequencing
- Sequencing to quantity take-off
- Quantity take-off to cost estimate
- Cost estimate to scheduling
- Scheduling to 4D simulation

De beskrivs vart och ett i den följande texten i kapitel 7.4.1 till 7.4.5.

Vy-definitionerna beskriver vilken information enligt IFC-modellen som skall överföras. De ingående objektklasserna med tillhörande egenskaper definieras och förklarande text kompletterar användningen.

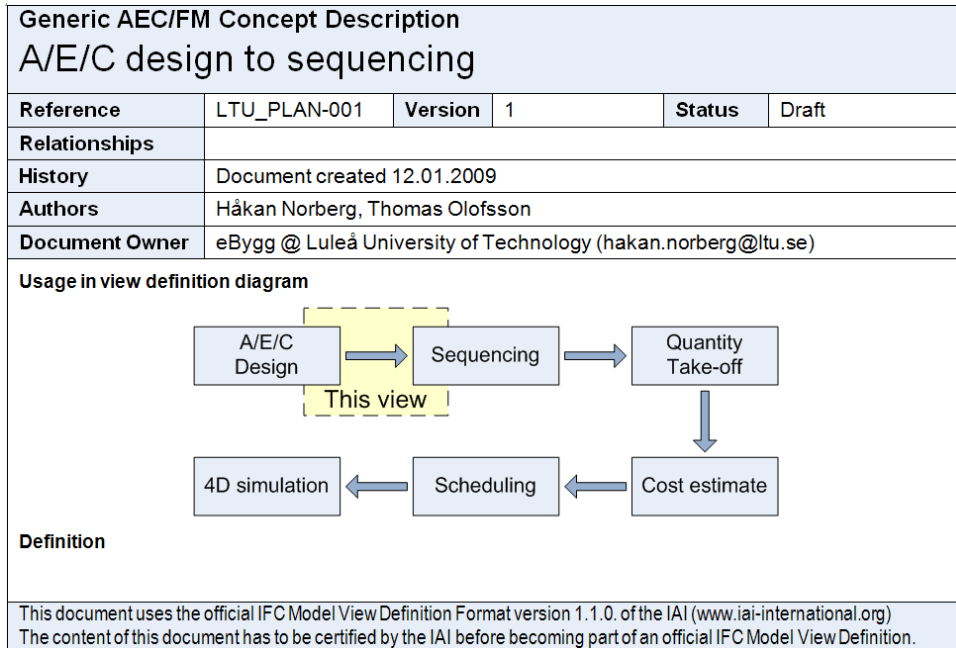
Avsikten är att definitionerna skall vara så detaljerade och tydliga att man kan verifiera skickade och mottagna IFC-filer mot dem. Det skall gå att avtala om användning av dem i affärsprocesserna.

I Figur 59 visas ett förslag på en MVD för mängdavtagning från arkitektens modell till en mängdförteckning. Den visar den övergripande beskrivningen, inte detaljerna på objektklassnivå.

Generic AEC/FM View Description					
Architectural Design to Quantity Take-off					
Reference	VBE-011	Version	1	Status	Draft
History	Based on BLIS view 'Arch. design >> Quantities take off / cost estimating' (2000) Based on SABLE DAPI 'Quantity Information for Cost Estimation' (2004) Document created 20.10.2006				
Authors	Jiri Hietanen				
Document Owner	Tampere University of Technology (jiri.hietanen@tut.fi)				
Description					
This view defines the subset of the data created in architectural design software, which is useful for quantity take-off purposes.					
 <pre>graph LR DM[Design Model (objects, attributes)] --> DQ[Design Quantities (object quantities)] DQ --> PQ[Production Quantities (assemblies, items, resources)] subgraph ThisView [This view] DM DQ end</pre>					
The basic idea behind this view is that architects (and other designers) provide design object quantities (e.g. gross area of a wall), which can be used as 'raw material' for creating production quantities (e.g. material, labor, equipment etc. involved in building a wall). Designers think in terms of spaces, building elements and their functional properties. Quantity take-off focuses on assemblies, items and the resources required for these assemblies and items.					
In scope for this view are: • Spaces • Surface elements • Building elements • Furniture and fixtures					
For each of these the following data is needed • Identification → used for grouping design objects in a way that is meaningful to quantity take-off • Quantity → used as 'raw material' for production quantities • Location → used for organizing the production quantities					
For identification this view relies on type information, such as the construction type and space type. In the exchange type information may be reduced to simple string attributes.					
This view only defines quantities that are internationally applicable; it does not specify any quantities calculated by national/local calculation rules. Such quantities can be derived from the more generic quantities defined by this view. This view for example defines a gross area for walls, areas for opening elements and the relationship between walls and opening elements. It is the responsibility of the receiving application to use this information for calculating the area of the wall using national/local calculation rules, e.g. that those openings smaller than one square meter should be ignored.					
For quantity information it is crucial to define exactly and in detail what each quantity means. It is also important to document all cases in which a quantity cannot be provided or may have an invalid value. For example if complex walls, e.g. walls with an arbitrary footprint, do not have all quantities found on simpler walls.					
Location information is included whenever it is defined by the architect. However, it is acknowledged that the architect may not provide all location information needed by quantity takeoff, e.g. construction sections.					
Out of scope for this view are cost information, scheduling information and production information (assemblies, items and resources). Out of scope are libraries of construction types and space types.					
This document uses the official IFC Model View Definition Format version 1.1.0. of the IAI (www.iai-international.org) The content of this document has to be certified by the IAI before becoming part of an official IFC Model View Definition.					

Figur 59: Ett förslag på MVD för mängdavtagning från arkitektens design

8.4.1 A/E/C design to sequencing



Figur 60: Förslag till MVD för A/E/C design till sekvensering

Den grundläggande idén bakom denna vy är att arkitekten (och andra designers) tillhandahåller definierade objekt som väggar, fönster, dörrar, toaletter, fläktar, kanaler, rör m m. De arbetar med begrepp som utrymmen, byggdelar, installationsdelar och deras funktionella egenskaper. Sekvenseringen fokuserar på gruppering av objekten i lämpliga arbetspaket. Det är då man bestämmer hur detaljerad den kommande tidplanen har möjlighet att bli. Dessa bygg- och installationsdelar skall monteras och/eller färdigställas på byggarbetsplatsen i dessa grupperingar.

Denna vy innehåller:

- Byggdelar
- Installationsdelar
- Utrymmesobjekt

För var och en av dessa behövs följande data:

- Identifikation – används för att identifiera objekten på ett meningsfullt sätt för sekvenseringen
- Läge – används för att organisera och gruppera objekten för produktionen.

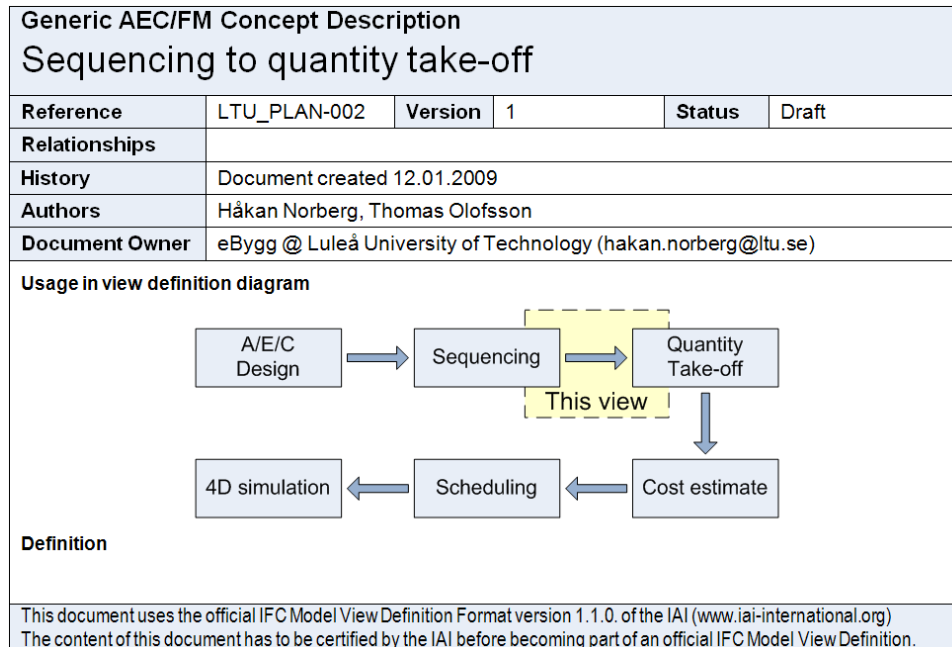
För identifikation av objekten behövs information om objekttyp (vägg, bjälklag, fönster, utrymme, etc.), objektets egenskaper (bredd, höjd, tjocklek, etc.) och BSAB-kod för att kunna skilja på bärande väggar etc. För utrymmesobjekt krävs det även information om vilken typ av utrymme som objektet syftar på (hall, kök, sovrum, etc.).

För identifikation av läge krävs information om var objektet befinner sig (byggnad, trapphus, våning, lägenhet, rum, etc.). Dessa exempel gäller bara för husproduktion.

För lägesdefinitionen är det viktigt att lägesindelningen görs redan i det tidiga designarbetet, så att objektindelningen från början är harmoniserad med produktionsplaneringen. Det är emellertid inte alltid möjligt att känna till alla produktionssteg i tidiga skeden, vilket därför ställer krav på möjligheter att göra lägesindelning senare för t ex gjutetapper. Problem uppstår när konsulten modellerar ett objekt över flera utrymmen, exempelvis vid modellering av fasadväggar som sträcker sig över flera lägenheter. För att undvika detta ställs höga krav på den CAD-manual som används i projektet.

I denna vy ingår inte kvantiteter och kostnader.

8.4.2 Sequencing to quantity take-off



Figur 61: Förslag till MVD för Sekvensering till mängdavtagning.

Här överförs grupperna med objekten i arbetspaket från sekvenseringen.

Denna vy innehåller:

- Grupper av bygg- och installationsdelar samt utrymmesobjekt

För dessa grupper behövs följande data:

- Identifikation – används för att identifiera grupperna på ett meningsfullt sätt för mängdavtagningen
- Läge – används för att organisera och gruppera objekten för produktionen.

- Kvantiteter – används för att beräkna mängder för den kommande kalkyleringen

För identifikation av grupperna krävs att de är döpta efter objekttyp och läge (ex. Betongpelare 300 – Trapphus 2 – Våning 1).

För identifikation av objektens kvantiteter krävs mått på objektens geometri (längd, bredd, tjocklek, area, volym, omkrets, etc.).

Utöver detta krävs ingående poster i kalkylen, d.v.s. kalkylen måste vara förberedd för att importera mängderna från modellen. Detta p.g.a. det är posterna i kalkylen (vilka är kopplade till recept) som bestämmer vilka mängder som ska beräknas från modellen.

I denna vy ingår inte kostnader.

8.4.3 Quantity take-off to cost estimate

Generic AEC/FM Concept Description					
Quantity take-off to cost estimate					
Reference	LTU_PLAN-003	Version	1	Status	Draft
Relationships					
History	Document created 12.01.2009				
Authors	Håkan Norberg, Thomas Olofsson				
Document Owner	eBygg @ Luleå University of Technology (hakan.norberg@ltu.se)				
Usage in view definition diagram					
<pre>graph LR; A[A/E/C Design] --> B[Sequencing]; B --> C[Quantity Take-off]; C --> D[Cost estimate]; D --> E[Scheduling]; E --> F[4D simulation]; subgraph "This view" C; D; end</pre>					
Definition					
This document uses the official IFC Model View Definition Format version 1.1.0. of the IAI (www.iai-international.org) The content of this document has to be certified by the IAI before becoming part of an official IFC Model View Definition.					

Figur 62: Förslag till MVD för mängdavtagning till kalkyl.

Här överförs mängdposterna per arbetspaket från mängdavtagningen.

Denna vy innehåller:

- Kvantiteter per arbetspaket
- Utrymmesobjekt

För var och en av dessa behövs följande data:

- Identifikation – används för att identifiera arbetspaket och innehållet på ett meningsfullt sätt för kalkyleringen
- Klassifikation av mängdposten på byggnivå och eventuellt också på lägre nivå för produktionsresultaten

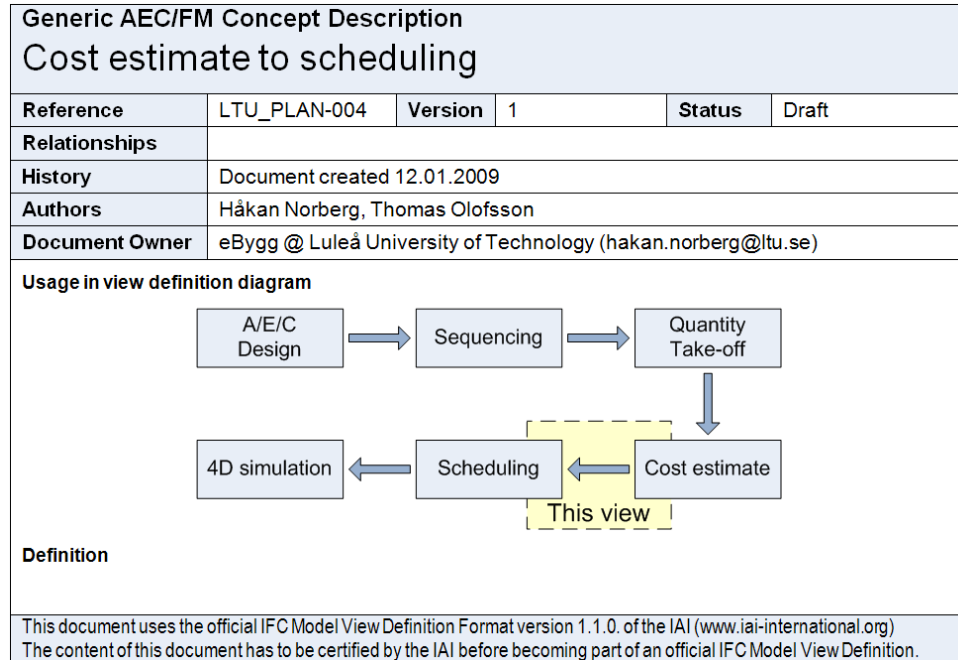
- Läge – används för att sortera mängdposterna för produktionen och materialleveranser.

För identifikation av grupperna behövs information om objekttyp (vägg, bjälklag, fönster, utrymme, etc.) och produktionsresultattyper.

För identifikation av läge krävs information om var mängdposterna befinner sig (byggnad, trapphus, våning, lägenhet, rum, etc.).

I denna vy ingår inte kostnader.

8.4.4 Cost estimate to scheduling



Figur 63: Förslag till MVD för kalkyl till tidsplanering.

Här överförs mängdposterna per arbetspaket från kostnadsberäkningen.

Denna vy innehåller:

- Kvantiteter, kostnader och tider (timmar) per arbetspaket
- Utrymmesobjekt

För var och en av dessa behövs följande data:

- Identifikation – används för att identifiera arbetspaket och innehållet på ett meningsfullt sätt för tidsplaneringen

- Klassifikation av mängdposten på byggdelsnivå och eventuellt också på lägre nivå för produktionsresultaten
- Läge – används för att sortera mängdposterna för produktionen.

För identifikation av grupperna behövs information om objekttyp (vägg, bjälklag, fönster, utrymme, etc.) och produktionsresultattyper.

För identifikation av läge krävs information om var mängdposterna befinner sig (byggnad, trapphus, våning, lägenhet, rum, etc.).

8.5 Scheduling to 4D simulation

Generic AEC/FM Concept Description					
Scheduling to 4D simulation					
Reference	LTU_PLAN-005	Version	1	Status	Draft
Relationships					
History	Document created 12.01.2009				
Authors	Håkan Norberg, Thomas Olofsson				
Document Owner	eBygg @ Luleå University of Technology (hakan.norberg@ltu.se)				
Usage in view definition diagram					
<pre>graph LR; A["A/E/C Design"] --> B["Sequencing"]; B --> C["Quantity Take-off"]; C --> D["Cost estimate"]; D --> E["Scheduling"]; E --> F["4D simulation"]; subgraph "This view"; F; E; end</pre>					
Definition					
This document uses the official IFC Model View Definition Format version 1.1.0. of the IAI (www.iai-international.org) The content of this document has to be certified by the IAI before becoming part of an official IFC Model View Definition.					

Figur 64: Förslag till MVD för tidsplanering till 4D-simulering.

Här överförs mängdposterna per arbetspaket från tidsplaneringen.

Denna vy innehåller:

- Kvantiteter, kostnader och tider (start och slut) per arbetspaket
- Utrymmesobjekt

För var och en av dessa behövs följande data:

- Identifikation – används för att identifiera arbetspaket och innehållet på ett meningsfullt sätt för presentationen i 4D
- Klassifikation av mängdposten på byggnivå och eventuellt också på lägre nivå för produktionsresultaten
- Läge – används för att sortera mängdposterna för produktionen.

För identifikation av grupperna behövs information om objekttyp (vägg, bjälklag, fönster, utrymme, etc.) och produktionsresultattyper.

För identifikation av läge krävs information om var mängdposterna befinner sig (byggnad, trapphus, våning, lägenhet, rum, etc.).

9 SLUTSATSER ETAPP I & II

- Byggdelar och utrymmen måste identifieras unikt med littera respektive rumsnummer i projekteringen. Dessa identiteter måste sedan föras över i IFC-filerna till PLCS-modellen för att där åter bli unikt sökbara.
- Objekten måste också vara versionsbetecknade för att klara av en säker ändringshantering. Informationen kan kompletteras i PLCS systemet och göras tillgänglig för de olika tillämpningar som behövs för produktionsberedning och produktion, bland annat med hjälp av handhållna enheter ute på byggarbetsplatsen. Allt detta är förutsättningar för den fortsatta hanteringen av informationen i produktionsplaneringen och utförandet, där ändringar och nya versioner av objekten måste hanteras effektivt och säkert.
- Processmodellen bygger på principerna där förutsättningarna för ett produktivt arbete bereds innan arbetet utförs och att produktionen taktas för att åstadkomma ett jämnt flöde på byggplatsen. Det ställer stora krav på att platschefen skall vara väl informerad om leveranser och tillgängliga resurser i produktionsfasen.
- Idag finns det ett antal olika IT - stöd som kan skapa ett organiserat informationsflöde för att underlätta beredningen för platschefen. Det ställer dock krav på att använda 3D modeller i projektering och planering av produktionen. Genom att strukturera, sekvensera produktionen i tid och rum är det möjligt att skapa mer eller mindre automatiska stöd i produktionsprocessen där nästa länk i kedjan blir informerad när en viss aktivitet med beroenden av gemensamma resurser och utrymmen kan utföras.

- I etapp I har ett antal mätetal identifierats och utvecklats, t. ex PPU (last planner), produktionstakt per utrymme, lagerperioder, omsättningshastighet m.m. Dessa mätetal skulle kunna automatiskt mätas och följas upp av ett mobilt verksamhetssystem. Dessutom kan mätetalen användas för erfarenhetsåterföring och ”benchmarking” av leverantörer och projekt.
- Det är av stort värde att ge platschef/arbetsledning bättre stöd för detaljplanering, beredning, arbetsfördelning, rapportering och statistikuppföljning inkl. återkoppling till CAD-modellen. Det finns några väl lämpade applikationer som klarar en del av dessa behov. Men det finns också stora vita fläckar som måste utvecklas. Applikationerna bör sedan utvärderas genom fältprov för att säkerställa att de fungerar smidigt tillsammans och ger produktionsledning och yrkespersonal nödvändigt stöd i det dagliga arbetet.
- I etapp II har fokus varit på att integrera en modellbaserad projekteringsprocess med produktionen på plats. Den modellbaserade projekteringen ger en ökad möjlighet att med platsbaserade planeringsmetoder skapa realistiska produktionsplaner. Dessa planer måste detaljeras ytterligare i ett beredningsskede så att sunda och effektiva aktiviteter skapas i produktionen. Dessa aktiviteter kan sedan följas upp i realtid med mobila verksamhetssystem för att på ett bättre sätt stödja platschefen i det dagliga arbetet att skapa en produktiv arbetsplats.

10 REFERENSER

Ballard, G. & Howell, G. (2003) Lean project management. *Building Research & Information*, 31, 119 - 133.

Christopher M. (2005). *Logistics and Supply Chain Management: Creating Value Adding Networks* (3. ed.). Harlow: Prentice Hall/Financial Times

Hopp, W. and Spearman, M. (1996). *Factory Physics*. Irwin McGraw-Hill, Boston.

Kankainen, J., Seppänen, O. DSS. (2005) " A Line-of-Balance based schedule planning control system." Dynamic system schedule, Helsingfors, Finland

Kenley, R. (2004) "Project micromanagement: practical site planning an management of work flow." In S. Bertelsen, Formoso, C.T. (eds) *IGLC-12, 12th Conference of the International Group for Lean Construction*, Helsingor, Denmark, 194-205.

Koskela, L. (2000) An exploration towards a production theory and its application to construction. Espoo, Finland, Technical Research Centre of Finland

Koskela, L J and Ballard, G and Howell, G and Tommelein, I (2002). 'The foundations of lean construction' , in: *Design and construction: building in value* , Butterworth Heinemann, Oxford, UK, pp. 211-226.

Nilsson, K., Isaksson, L., Levander, G., Olofsson, T. (2003). Mobila verksamhets-system i byggandet, *Teknisk rapport 2003:10*, Luleå tekniska universitet,

Norberg, H. (2008) On-site production synchronization – Improving the re-source-flow in construction projects. Institutionen för samhällsbyggnad. Luleå, Luleå tekniska universitet.

Olofsson, T. & Emborg, M. (2004) Feasibility Study of Field Force Automation in the Swedish Construction Sector. *Journal of Information Technology in Construc-tion*, 9, 297-311.

Segerstedt A., (2008). *Logistik med fokus på material- och produktionsstyrning* (Upplaga 2). Malmö: Liber

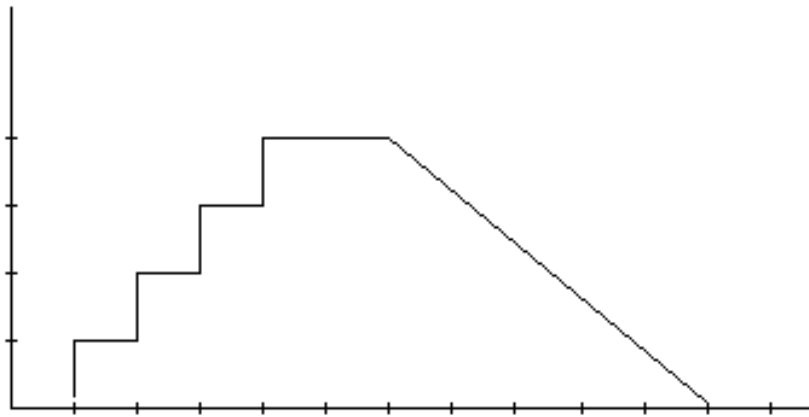
Seppänen, O., Kankainen, J. (2004) "Empirical research on deviations in produc-tion and current state of project control." In S. Bertelsen, Formoso, C.T. (eds) *IGLC-12, 12th Conference of the Internal Group for Lean Construction*, Hel-singor, Denmark, 206-219.

Wallström, P, Segerstedt, A, Norberg, H & Olofsson, T (2009), Inventory and production management in construction industry: an introduction, Paper pre-senterat vid International Symposium on Inventories, Budapest, Ungern. 22. - 26. augusti.

BILAGA I:STYRNING OCH UPPFÖLJNING AV LEVERANSER

Numeriskt exempel för lagerperioder

För att göra ovanstående exempel mindre abstrakt följer ett exempel där allt material inte levereras på en gång utan det sker fyra leveranser av materialet. Vid aktiviteten byggs allt material in, se Figur 16 och Tabell 2. Ligg tiden för leveranserna varierar mellan 2-5 perioder.



Figur 65: Material med fyra leveranser och en aktivitet

Tabell 4: Sammanställning material med fyra leveranser och en aktivitet inklusive lagersaldo och lagerperioder. Period 2 är lika med period 1 för beräkningarna.

Period	Leverans	Lagersaldo	Lagerperioder
1			
2	10	10	10
3	10	20	30
4	10	30	60
5	10	40	100
6		40	140
7		20	160
8		20	180
9		20	200
10		20	220
11		20	240
12		0	240

För att beräkna antal lagerperioder behövs inte lagersaldot utan en indikation när inbyggnad har startat, när inbyggnad har avslutats samt den mängd av materialet som har använts. 20 motsvarar medelsaldo för inbyggnadsperioden.

$$PIS_1 = 10 - 0 - 0 + 0 = 10$$

$$\text{Lagerperioder} = 10$$

$$PIS_2 = 10 - 0 - 0 + 10 = 20$$

$$\text{Lagerperioder} = 20 + 10 = 30$$

$$PIS_3 = 10 - 0 - 0 + 20 = 30$$

$$\text{Lagerperioder} = 30 + 30 = 60$$

$$PIS_4 = 10 - 0 - 0 + 30 = 40$$

$$\text{Lagerperioder} = 40 + 60 = 100$$

$$PIS_5 = 0 - 0 - 0 + 40 = 40$$

$$\text{Lagerperioder} = 40 + 100 = 140$$

$$PIS_6 = 0 - 20 - 0 + 40 = 20$$

$$\text{Lagerperioder} = 20 + 140 = 160$$

$$PIS_7 = 0 - 0 - 0 + 20 = 20$$

$$\text{Lagerperioder} = 20 + 160 = 180$$

$$PIS_8 = 0 - 0 - 0 + 20 = 20$$

$$\text{Lagerperioder} = 20 + 180 = 200$$

$$PIS_9 = 0 - 0 - 0 + 20 = 20$$

$$\text{Lagerperioder} = 20 + 200 = 220$$

$$PIS_{10} = 0 - 0 - 0 + 20 = 20$$

$$\text{Lagerperioder} = 20 + 220 = 240$$

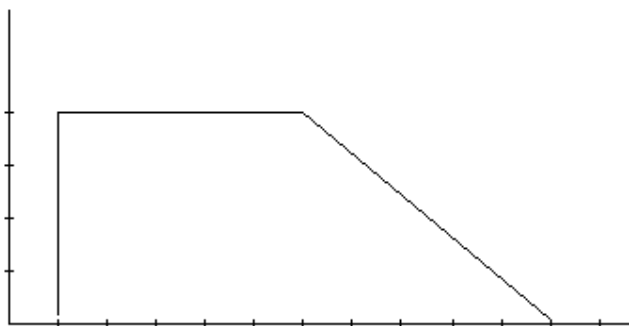
$$PIS_{11} = 0 - 0 - 20 + 20 = 0$$

$$\text{Lagerperioder} = 0 + 240 = 240$$

Under den tidsperiod som materialet har används är resultatet totalt 240 perioder. Medellagret för denna artikel blir $240/10 = 24$ stycken/period

Numeriskt exempel för kapitalkostnad för kapitalbindning med hänsyn till betalningsvillkoren

I nedanstående exempel sker en leverans i början av period 2 (1-2 på x-axeln). Inbyggnad sker med början i period 6. Antal betalningsfria perioder är 5 och ett år består av 25 perioder. Liggtiden är 5 perioder, se Figur 17 och Tabell 3.



Figur 66: Material med en leverans och en aktivitet

Tabell 5: Sammanställning material en leverans och en aktivitet inklusive lagersaldo, och ekonomiska lagerperioder. Period 2 är lika med period 1 för beräkningarna.

Period	Leverans	Lagersaldo	Lagerperioder	Ek lagerperioder
1				
2	40	40	40	0

3		40	80	0
4		40	120	0
5		40	160	0
6		40	200	0
7		20	220	20
8		20	240	40
9		20	260	60
10		20	280	80
11		20	300	100
12		0	300	100

$$EK_{1_1} = 0$$

$$t_1 - l_{start} < 5$$

$$EK_{2_1} = 0$$

$$t_2 - l_{start} < 5$$

$$EK_{3_1} = 0$$

$$t_3 - l_{start} < 5$$

$$EK_{4_1} = 0$$

$$t_4 - l_{start} < 5$$

$$EK_{5_1} = 0$$

$$t_5 - l_{start} < 5$$

$$EK_{6_1} = 20$$

$$\text{lagerperioder} = 20$$

enligt villkoren $t_l - l_{start} =$ Betalningsfria perioder för materialet och

$$EK_{t_l} = \text{Saldo}_{t_l}$$

$$\text{Saldo}_{6_1} = \text{Saldo}_{t_l-1} - \sum_{a=1}^A \text{aktivitet}_{a \text{ start}} - \sum_{a=1}^A \text{aktivitet}_{a-1 \text{ slut}} + \text{leverans}_l =$$

$$= 40 - 20 - 0 + 0 = 20$$

$$EK_{7_1} = 40$$

$$\text{lagerperioder} = 20 + 20 = 40$$

$$PIS_{7_l} = -\sum_{a=1}^A \text{aktivitet}_{a \text{ start}} - \sum_{a=1}^A \text{aktivitet}_{a-1 \text{ slut}} + PIS_{t_l-1} = -0 - 0 + 20$$

$$EK_{8_t} = 60$$

$$\text{lagerperioder} = 20 + 40 = 60$$

$$PIS_{8_t} = -0 - 0 + 20 = 20$$

$$EK_{9_t} = 80$$

$$\text{lagerperioder} = 20 + 60 = 80$$

$$PIS_{9_t} = -0 - 0 + 20 = 20$$

$$EK_{10_t} = 100$$

$$\text{lagerperioder} = 20 + 80 = 100$$

$$PIS_{10_t} = -0 - 0 + 20 = 20$$

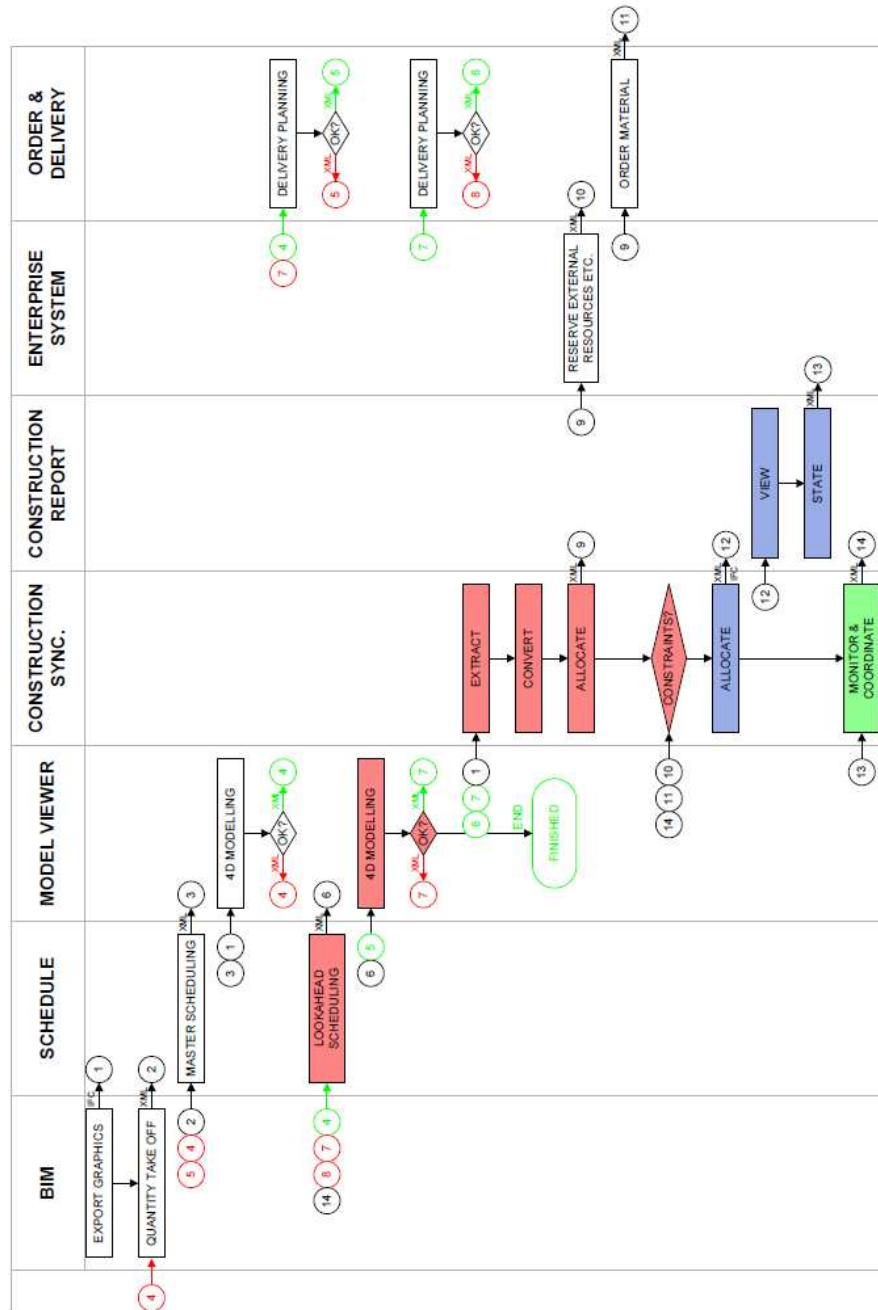
$$K \text{ Kapitalbindning}_{\text{betalningsvillkor}} =$$

$$= \text{ränta} \cdot \text{värdet/st} \cdot \frac{\text{antal lagerperioder utan betalningsfria perioder}}{\text{antal perioder/år}}$$

$$\text{Kostnad Kapitalbindning}_{\text{betalningsvillkor}} = \text{ränta} \cdot \text{värdet/st} \cdot \frac{100}{25}$$

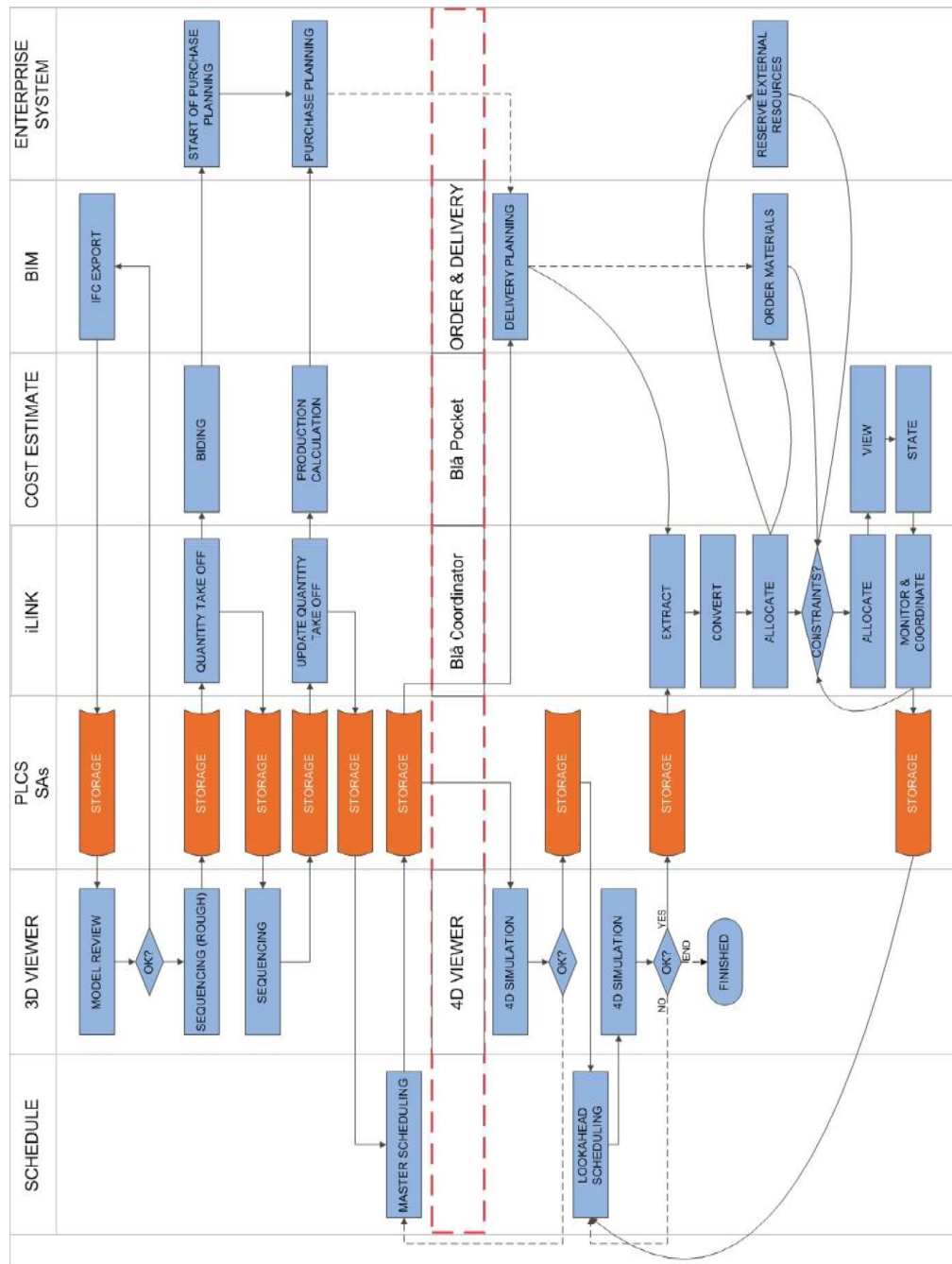
Utan hänsyn till betalningsvillkoren skulle kostnaden för kapitalbindningen vara tre gånger större vilket kan utläsas i Tabell 2 då lagerperioder utan hänsyn till betalningsvillkoren är 300 jämfört med 100 när hänsyn tas till betalningsvillkoren.

BILAGA II: PROCESSMODELL



Figur 67: Processmodell

BILAGA III: SEKVENSDIAGRAM



Figur 68: Sekvensdiagram