



TEKNISK RAPPORT

4D - MODELLERING FÖR AKTIV DESIGN I ANLÄGGNINGSPROJEKT

SBUF PROJEKT 11842

Patrick Söderström och Thomas Olofsson

Luleå 2009

Avdelningen för Arkitektur och Infrastruktur
Institutionen för Samhällsbyggnad
Luleå tekniska universitet
971 87 LULEÅ
www.ltu.se/shb

Förord

SBUF projektet 11842 – ”Aktiv design i anläggningsprojekt” har bedrivits vid Luleå tekniska universitet mellan juni 2006 till december 2008. Till projektet har en projektgrupp varit knutet med medlemmar från Skanska Teknik, Luleå tekniska universitet, Ceko och Atcon. Till projektet har också en referensgrupp kallats till tre möten med deltagare från Skanska, NCC och Vägverket.

Vi vill tacka alla i projektgruppen och referensgrupp som bidragit med många konstruktiva idéer. Sist men inte minst vill vi tacka SBUF som gjort det möjligt för oss att genomföra projektet.

Luleå den 26 november 2008

Patrick Söderström, Thomas Olofsson

Sammanfattning

BIM eller bygginformationsmodellering diskuteras livligt i dagens byggbransch. Speciellt tycks tekniken fått fäste inom hus byggandet där allt fler vittnesmål om teknikens förträfflighet rapporteras. Inom anläggningsbranschen har ny teknik så som GPS, maskinsensor system och maskindatorer i allt högre grad börjat användas på Svenska anläggningsprojekt. De flesta större väg- och järnvägsprojekt har infört maskinstyrningssystem som grund för schakt och fyllnadsarbeten.

Maskinstyrning är att med hjälp av sensorsystem och positionsgivare (oftast GPS) kunna se maskinens läge i förhållande till en digital 3D modell av det som skall utföras. Noggrannheten på visningen är ca 10 mm och t ex en grävmaskinist kan se hur skopan förhåller sig till en vald yta som han skall schakta eller fylla. Genom införandet av maskinstyrningssystem har inte bara tekniken förändrats, även byggprocessen har varit tvungen att anpassas. Tidigare var det vanligt att man undan för undan gjorde utsättning för de moment man just för tillfället arbetade med. Detta betydde också att produktionen genomfördes eftersom och problem som uppkom löstes under tiden. Det som händer idag är att maskinmodellerna måste först skapas innan anläggningsprojektet kan starta. Den tid man tidigare lade ned vid manuell utsättning under hela projektet måste nu användas till att skapa 3D modeller. Detta betyder också att problemställningar i fråga om utformning och tekniska lösningar måste gås igenom mera noggrant innan produktionen startar. Dagens maskinstyrda anläggningsprojekt avsätter alltså mer tid innan produktionen startar för att just lösa hanteringen av utformning och tekniska lösningar i samband med 3D modelleringen.

Att kunna se vart man är i en 3D modell och där se hur man skall utföra arbetet är en stor fördel för maskinföraren men även för projektledningen. 3D tekniken har ju använts i många år som verktyg för att genomföra projekteringsunderlag och volymeräkningar men nu när samma data går att hantera ända ut till maskinerna så kommer 3D modeller att få en ännu större och viktigare roll i framtidens automatisering av väg- och anläggningsprojekt.

Att skapa digitala 3D modeller för maskinstyrning och volym beräkning är bara första steget. Nästa nivå är att integrera modellen med övrig information om den planerade produktionen för att skapa en BIM modell av det planerade projektet. Genom att koppla tidplaner direkt mot 3D modellen så har vi en 4D modell och möjlighet att simulera och spela upp ett tänkt produktionsförlopp. Ofta är det just planeringen som är det stora problemet i anläggningsprojekt, eftersom genomförandet är starkt beroende av geotekniken. På grund av att markförhållandena är osäkra skapas ofta tidplaner grova nog att inrymma dessa osäkerheter. Det försvårar uppföljning och kontroll och därigenom mängdreglering som ofta görs utifrån ett planerat tillstånd inte från det verkliga förhållandet. Genom att skapa tidplaner med direkt koppling till 3D modeller och 4D simulering kan planeringen förfinas. Att veta vilka resurser som skall göra vilka aktiviteter under vilken tid är speciellt viktigt i anläggningsprojekt. Just utsträckningen och de varierande volymerna i anläggningsprojekt gör att just produktionskontrollen är svår. Med 4D så kan man skapa och förädla en produktionsprocess på detaljnivå och tidigt ge indikationer om arbetsmomentens effektivitet. Man kan aktivt i projekten välja mellan olika alternativ när man konstaterat vilka förhållanden som råder. På så sätt kan en detaljerad tidplan göras och aktivt modifieras under produktion.

Målet med projektet är att skapa en plattform för aktiv design av processen för anläggningsprojekt. Information från 3D projektering, produktionsplanering med återkoppling av data från uppföljning förutsätts skapa en säker och effektiv tids-, kostnads- och resursplanering samt möjliggöra simulering av projektets framdrift med hjälp av 4D samt dynamisk uppföljning, kontroll och styrning av framdriften utifrån anläggningsmaskinernas läge och status.

Förutom möjligheten att visualisera produktionsplanen har vi nu ett utmärkt underlag för uppföljning, kontroll och mängdreglering. I nästa steg planeras att undersöka hur positionering av anläggningsmaskinerna kan användas för att följa upp produktionen. Maskindatorerna kan ofta rapportera status och läge, någon som idag främst används av maskinförarna. Genom att centralt på byggplatsen samla in maskindata öppnar sig möjligheten för uppföljning och

kontroll i realtid. Något som på sikt kommer att avsevärt effektivisera anläggningsprojekten.

Förkortningar

4D = Visualisering av produktionsplaner i 3D

GPS = Global Positioning System

GNSS = Global Navigation Sattelit System

TLP = Tid - Läges - Planering eller Time Location Plan

BIM = ByggInformationsmodell

CPT = Critical path technique visas ofta i gantt schema

VDC= Virtual Design and Construction

Innehållsförteckning

FÖRORD	I
SAMMANFATTNING.....	III
FÖRKORTNINGAR	VII
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	IX
1 INTRODUCTION.....	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte och mål.....	2
1.3 Avgränsningar	2
2 FÖRUTSÄTTNINGAR.....	3
2.1 Teoretiska utgångspunkter	3
2.2 Tekniska möjligheter.....	6
2.3 Hinder i dagens process	7
3 4D INTEGRATION	9
3.1 Inledning	9
3.2 Processmodell	9
3.3 Tid-lägesplanering.....	11
3.4 Integration av produktionsplan och terrängmodell	15
4 FALLSTUDIE	17
4.1 Introduktion.....	17
4.2 Skapandet av 4D modell	17
4.3 Visualisering och presentation	18
5 SLUTSATS	25

6 REFERENSER..... 27

1 INTRODUKTION

1.1 Bakgrund

Planering och utförande av byggprojekt utförs ofta baserat på kostnader istället för kontroll av processen. Därför är projektledningen fokuserad på planering och kontroll av de olika entreprenörernas enskilda aktiviteter och kostnader istället för på planering och observationer av produktionsprocessens flöden. På många sätt hindrar denna syn införandet av nya metoder och ny teknologi eftersom risker och nytta oftast inte kan delas mellan de ingående aktörerna i projektet, (Dehlin och Olofsson, 2008).

Nya möjligheter har dock blivit tillgängliga i och med införande av GPS (Global Positioning System). GPS kan ge en 3D position var som helst på jorden till den som är utrustad med lämplig mottagare. Det finns ett ökat intresse att använda GPS positionering och maskinstyrning med hjälp av 3D CAD modeller. Hittills har tekniken som branschen tagit till sig medfört en effektivisering av ett annars manuellt och tidskrävande utsättningsarbete, men möjligheten att effektivisera anläggningsbyggandet är mycket större än så.

Inom anläggningsbyggande så har man idag ett antal delprocesser som måste gås igenom innan projekten är klara. De olika delarna kräver olika arbetsverktyg, utförs av olika grupper och har olika syfte. Kort sagt så har de olika delprocesser olika mål vilket gör att de behandlas som en sluten delprocess. Om man kan integrera informationen i alla olika steg, vidareförädla och digitalisera tankar och beslut så har projektet stora förutsättningar att bli effektivare och lönsammare.

1.2 Syfte och mål

Syftet med projektet har varit att studera hur modelldata som skapas vid 3D projektering av maskinstyrda väg- och anläggningsprojekt kan integreras och utnyttjas vid produktionsplanering, produktionsstyrning och uppföljning. Målet med projektet är att skapa en integrerad projekterings och planeringsprocess som kan stödja snabba förändringar av utformning och produktionsflödet baserat på 3D modeller samt möjliggöra simulering av projektets framdrift med hjälp av 4D.

1.3 Avgränsningar

Projektet har i huvudsak studerat maskinguidade vägprojekt där utformningsmodeller för maskinstyrning varit utgångspunkten för projektet. Förslag på lösningar har begränsats till att ta fram arbetssätt, processmodeller och prototyper av IT lösningar.

2 FÖRUTSÄTTNINGAR

2.1 Teoretiska utgångspunkter

Många anläggningsprojekt i Sverige genomförs med traditionella upphandlingsformer där ersättningen baseras på mängderna som hanteras i projektet. Upphandlingsprocessen skapar sällan incitament för aktörerna i projekterings- och produktionsfasen att samarbeta för att skapa alternativa lösningar för att optimera genomförandet av projektet. Därför saknas ofta en helhetsbild och gemensamma mål för projektet för hur det skall genomföras på bästa sätt, (Howell 1999). Dessutom fokuseras ofta produktionsplanering på kostnadsstyrning vilket leder till antaganden att aktiviteterna är oberoende av varandra och kan utföras i en sekventiell ordning med en i förväg bestämd tidsåtgång för varje aktivitet, (Koskela 1999).

I verkligheten är de flesta aktiviteter interrelaterade och ju mer tidspresen ökar i projektet desto mer ökar också detta beroende. Det blir svårt att koordinera produktionen på grund av att de olika aktiviteterna ofta utförts av olika underentreprenörer som suboptimerar sina egna aktiviteter. Detta leder till olika former av slöseri på arbetsplatsen som medför merkostnader för projektet som helhet, (Josephson and Saukkoriipi 2005)

Anläggningsprojekt som väg-, damm- och tunnelbyggnad innehåller också andra risker för planering och utförande eftersom de geotekniska förhållandena är relativt osäkra. Utformning, val av maskinpark och därför kostnaderna är starkt beroende av markförhållandena. Möjligheter att snabbt kunna ändra utformningen och eller produktionsprocessen när projektförutsättningar bli mer kända under utförandefasen, s.k. aktiv design, är en framkomlig väg att få en bättre anläggningsprocess, Nicholson et al. (1999).

Tre teoretiska ramverk har legat som grund för projektets förslag att effektivisera planering och genomförandet av maskinstyrda anläggningsprojekt:

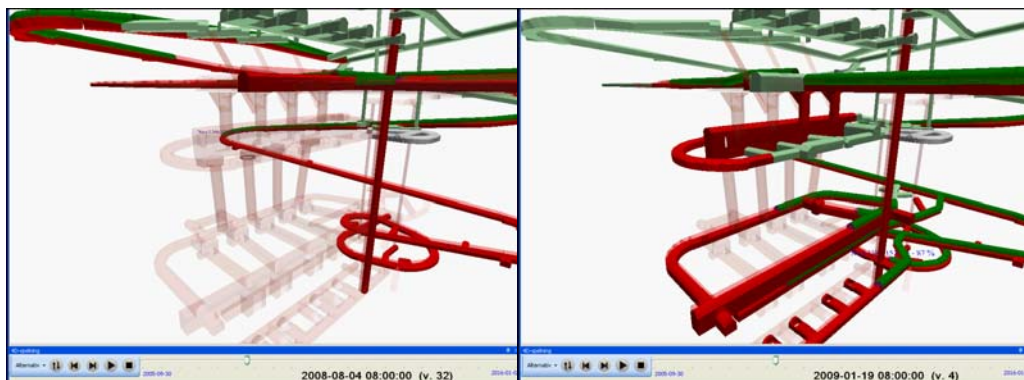
- Influenser från lean production har inspirerat forskare inom byggområdet att utveckla processer, metoder och verktyg som sammanfattas i termen lean construction: *“Managing construction under Lean is different from typical contemporary practice because; it has a clear set of objectives for the delivery process, is aimed at maximizing performance for the customer at the overall project level, designs concurrently product and process, and applies production control throughout the life of the project”*, Howell (1999),
- Inom geoteknik har osäkerheten som ofta råder i fält inspirerat forskare att föreslå och utveckla teorin om *The observational method* (s.k. aktiv design): *“The Observational Method in ground engineering is a continuous, managed, integrated, process of design, construction control, monitoring and review that enables previously defined modifications to be incorporated during or after construction as appropriate. All these aspects have to be demonstrably robust. The objective is to achieve greater overall economy without compromising safety”*, Nicholson et al. (1999). Det finns två typer av observationer som är av vikt i vägbyggnadsprojekt, dels geotekniska data om markförhållanden som kan användas för att optimera utformningen och dels produktionsdata som kan användas för att följa upp och styra produktionen.
- Nya metoder, s.k. Virtual Design and Construction - VDC, har på senare tid utvecklats med hjälp IT verktyg och 3D projektering. Fischer and Kunz, (2004) definierar VDC som: *“The use of multi-disciplinary performance models of design-construction projects, including the product (i.e. facilities), organization of the design-construction-operation team, and work processes, to support explicit and public business objectives”*.

Vägverkets styrande dokument, VVTK Väg (fd ATB Väg) , används normalt för projektering av vägar i Sverige. Projekteringen ligger sedan till grund för upphandlingen av entreprenören vilket ofta medför att man inte tar hänsyn till de verkliga markförhållandena eftersom det ofta saknas detaljerade geotekniska undersökningar. SwePave, (Peab 2008), är ett exempel på en utvecklad metod baserad på observationer i fält för utformningen av bärlager. Metoden bygger på att bärlagrets utformning optimeras under produktionsfasen genom laborieförsök och fälttestprogram i produktionen av vägen.

Navon m. fl. (2004) presenterade en modell för automatiserad uppföljning av maskinstyrda projekt. Modellen baseras på att från mätningar av indirekta indikatorer kunna beräkna progressen i produktionen. Den geografiska positionen av maskinerna i ett vägbyggnadsprojekt är en sådan indikator som kan användas. Maskinerna kan rapportera positionen med reguljära intervall med hjälp av GPS positionering.

Dessa är två exempel på uppföljning och kontroll av utformning och produktion av maskinstyrda vägbyggnadsprojekt. Avvikelse från planerat tillstånd kan åtgärdas dynamiskt när mer fakta blir tillgängligt om informationsflödet mellan projektering och realiseringen är integrerat. En förändring av t.ex bärlagrets geometri måste snabbt kunna planeras om och matas in i maskinerna om detta skall kunna ske dynamiskt.

VDC teknologin brukar också benämnas Bygginformationsmodellering inom husbyggnad, där substantivet betecknar en digital representation av en **produkt** som omfattar geometri, rumsliga relationer, geografisk information och egenskaper av ingående komponenter. Verbet BIM beskriver den **process**, dvs skapandet, användandet och underhållet av substantivet BIM under hela dess livscykel. I klartext betyder det att man med hjälp av IT vill analysera, simulera och förutsäga kvaliteten på produkten (vägen, tunneln, dammen) och processen att bygga och underhålla den. 4D är en sådan virtuell teknik som kan användas för att kommunicera och analysera produktionstidplanen, se Figur 1.



Figur 1: 4D simulering av tunneldrivning där olika aktiviteter är färgkodade, Ceko (2008).

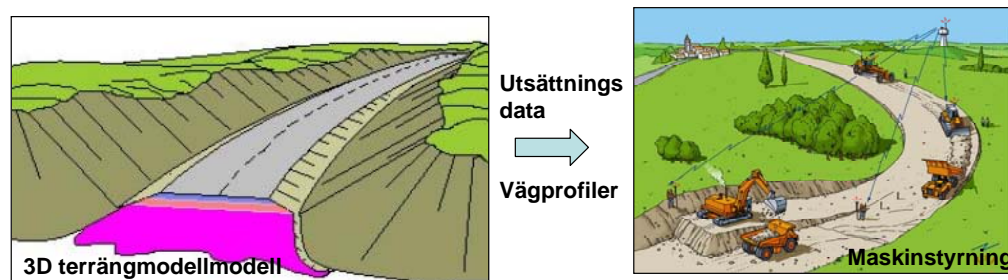
4D modeller skapas genom att länka byggdelar i 3D modellen med aktiviteter från gantt schema eller s.k. tid-läges diagram (Koo och Fischer 2000, Jongeling 2006). 4D modellerna ger en klar, direkt bild och medverkar till att kommunicera planerna till berörda aktörer i produktionen. De kan också

användas till att analysera och simulera olika alternativa i förväg i datorn innan arbetet utförs på arbetsplatsen (Fischer och Kunz 2004). Nakagawa (2005), visade på vikten av visualisering för att upprätthålla ett synkroniserat och jämt arbetsflöde. En stor del av slöseriet på en byggarbetsplats beror på att fokuseringen på det egna arbetet gör att olika aktiviteter inte blir synkroniserat med väntan, arbete som inte blir utfört i rätt ordning m.m. som konsekvens.

Visualisering hjälper till att skapa en gemensam bild av projektet vilket ökar samordning mellan inblandade aktörer som i sin tur leder till bättre beslut och koordination (Woksepp och Olofsson 2006, Jongeling 2006). Idag används 4D modellering i huvudsak som hjälpmedel att i stora drag visualisera produktionen, men forskningen om 4D kommer att utvidga användningen av tekniken i framtiden, (Akbas 2004, Jongeling 2006).

2.2 Tekniska möjligheter

Att kunna hantera 3D modeller och direkt föra över de till maskiner med maskinkontrollsystem är en av de nya tekniker branschen tagit till sig. Utformningsmodeller såsom terrängmodeller överförs till anläggningsmaskiner som hjullastare, vägghyvlar, schaktmaskiner i maskinstyrda vägprojekt. Informationen tillsammans med sensorer och positionering används för att guida maskinförarna i byggandet av vägen, normalt med en precision av ca 10 mm. Positioneringen görs enklast med hjälp av s.k. GNSS system (Global Navigation Satellite System, normalt GPS) eller optiska mätinstrument s.k. totalstationer. Eftersom maskinstyrda projekt kräver att en 3D-modell utvecklas så finns en digital representation av produkten, dvs. grunden för VDC eller BIM finns tillgänglig, se Figur 2.



Figur 2: Maskinstyrda anläggningsprojekt

Just nu använder man teknik för att guida och styra maskinerna mot dess position för att de skall veta vad de skall göra. Att i realtid använda

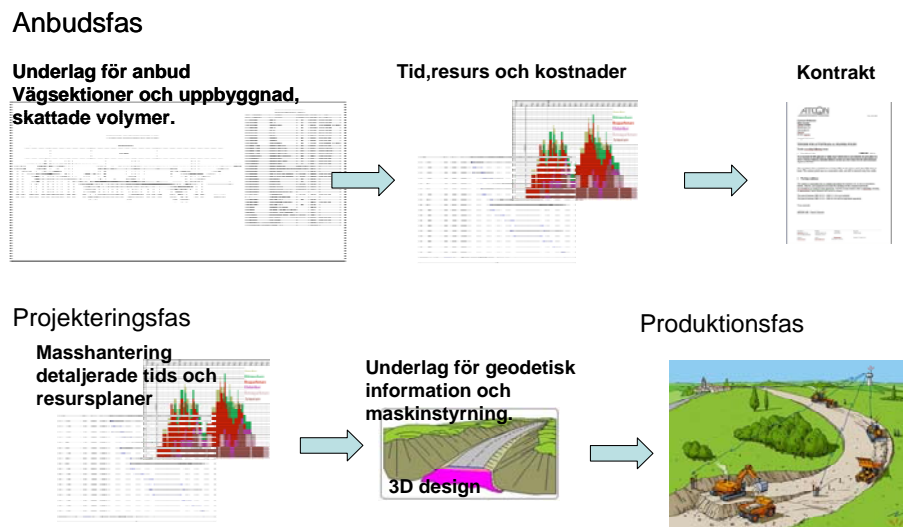
maskinernas position i förhållande till den tänkta modellen ger nya förutsättningar för övriga att se vad som har gjorts och hur arbetet ligger i förhållande till planerat. Genom att skapa en komplett virtuella modell där man i realtid kan analysera en resurs läge mot planerad aktivitet och resurs i t. ex en 4D modell, kan man också skapa en plattform för effektiv uppföljning och erfarenhetsåterföring.

2.3 Hinder i dagens process

Ett traditionellt vägbyggnadsprojekt är ofta behäftade med följande svagheter:

- Information saknas ofta i anbudsfasen; kostnads kalkyler baseras på osäkra uppgifter om mängder och bristfällig planering där uppgifter från tidigare projekt och anbud från underentreprenörer ofta används för att fylla i informationsluckor.
- Fokus är på kostnader i planeringsfasen; mycket liten tid används på att planera logistiken och hanteringen av produktionsresurser.
- Det finns ofta ingen information om mängder i tidplanerna; tidplanerna innehåller normalt bara aktiviteter och milstolpar.
- Planerade aktiviteter kontrolleras inte och följs inte upp mot hanterade mängder; Eftersom de flesta tidplanerna saknar detaljerad information om mängder är utbetalningar ofta baserade på planerade aktiviteter istället för hanterade mängder.
- Brist på information vid kostnadsregleringar av vägprojekt; Kostnaderna regleras ofta med hjälp av information om hanterade mängder i projektet inklusive de massor som berörs vid ändrings- och tillägsarbeten. Brist på sådan information gör det svårt att hantera ändringar i projektet.
- Det saknas systematisk erfarenhetsåterföring: Brist på information, tid och hanterade mängder, gör det svårt att följa upp projektets effektivitet.

Figur 3 visar en översiktlig bild på arbetsprocessen i dagens maskinstyrda anläggningsprojekt.



Figur 3: Översiktlig arbetsgång i dagens maskinstyrda anläggningsprojekt

De olika delprocesserna anbuds-, projekterings- och produktionsfasen har idag inte ett integrerade informationsflöde utan utförs ofta med olika syften och mål. Så till exempel borde det vara naturligt att använda utformningsmodellen (3D) som underlag för detaljplaneringen av masshantering och produktionsflöde. Idag används utformningsmodellen i huvudsak för maskinstyrning och mängdberäkning men det bara som ett tillfört komplement till produktionen.

3 4D INTEGRATION

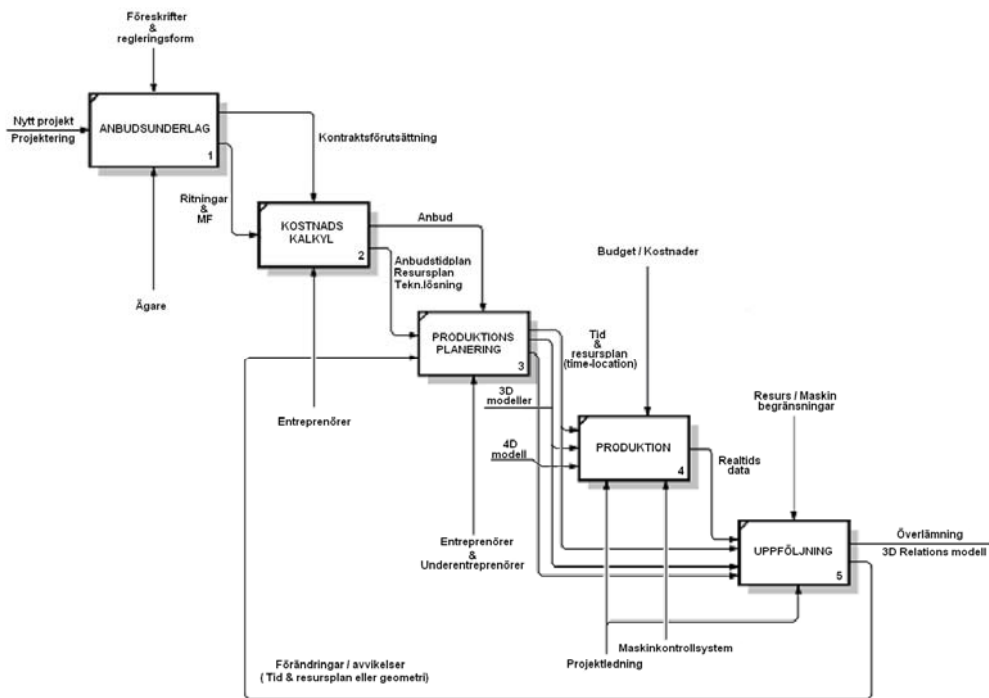
3.1 Inledning

Eftersom 4D modellering bara är ett sätt att samla, integrera och visualisera informationen från de ingående delprocesserna måste vi kunna identifiera och litterera information om produkten vi skall använda samt beskriva hur de ingående aktiviteterna skall organiseras för att kunna skapa en process som effektivt kan skapa, integrera och utnyttja information i anläggningsprojektet.

Grunden i en BIM modell för ett vägprojekt utgörs av geometrin som finns i utformningsmodellen som används för maskinstyrning. Genom att använda en geometrisk modell som i detta fall identifieras i tvärsektioner kan man identifiera andra typer av anläggningsprojekt med samma generella hantering av data och beräkningar, t ex järnvägar, tunnlar, allmän grundläggning och gruvbrytning. Problemet är egentligen inte i identifieringen av geometrier och volymer utan ligger i hur informationen skall integreras och användas i produktionsprocessen.

3.2 Processmodell

Figur 4 visar ett förslag på en översiktlig processmodell över framtida maskinstyrda anläggningsprojekt.



Figur 4: En föreslagen processmodell för ett framtida anläggningsprojekt med integrerad data och maskinstyrda maskiner.

Processen består av 5 delprocesser:

1. Anbudsunderlag:

Anbudsunderlaget har vi antagit består av i huvudsak samma information som ges i dagens upphandlingar med ett väsentligt undantag. Det måste ges spelrum för ändringar om det visar sig att antagna förutsättningar, t.ex. geotekniska förhållanden inte stämmer. På sikt rekommenderar vi en övergång till funktionsentreprenader där man specificerar de funktioner som t.ex. vägen eller schakten skall uppfylla för att på så sätt utnyttja den geotekniska kompetensen som finns i de entreprenadbolag som lämnar anbud.

2. Kostnads kalkyl:

Entreprenadbolaget föreslår en teknisk lösning och lämnar en kostnadsuppskattning, en översiktlig tids- och resursplan för projektet. Kostnads-, tids- och resursuppskattningen bygger på mängdberäkningar utifrån anbudsunderlaget. Idag finns bra verktyg för planering baserat på

massoptimering, t.ex DynaRoad™, (DynaRoad 2008) . En liten ändring av vägens dragning kan leda till en mer ekonomisk massbalans i projektet och en lägre kostnad för beställaren. Därför måste det vara möjligt att föreslå sid oanbud om det kan visas att funktionalitet och säkerhet inte påverkas.

3. *Produktionsplanering:*

När kontrakt har upprättats skapas en 3D utformningsmodell av projektet. Utformningsmodellen kommer att vara basen i planering, mängdreglering, maskinstyrning och uppföljning. När tid-läges plan och resursplan skapats integreras dessa med utformningen i en s.k. 4D modell.

4. *Produktion:*

3D modellen som nu utgör underlaget för maskinstyrningen används i produktionen. Tidplanen kopplas ihop med 3D modellen i en 4D modell som används för att kommunicera och för att visualisera produktionsplanen och nuvarande status. 4D modellen

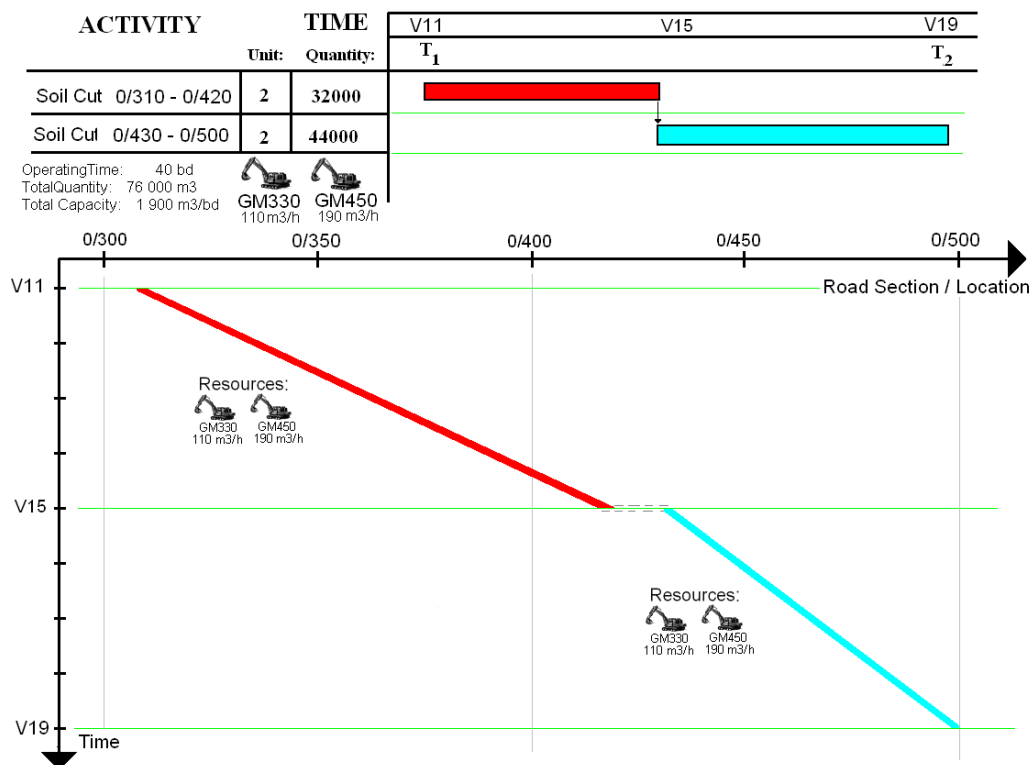
5. *Uppföljning:*

Anläggningsmaskiner är utrustade med maskinsystem och positionsgivare som rapporterar position och status till en gemensam databas. Genom ett mjukvarugränssnitt kan man ladda ned data, inställningar och monitorera händelser, se t ex. Trimble (2008). Utifrån denna information kan åtgärder som ändrad utformning och/eller ändrad planering ske under pågående produktion.

3.3 Tid-lägesplanering

För närvarande används olika verktyg för hanteringen av 3D modeller men dessa är inte kopplade till hanteringen av tid och resurser. Idag skapas tidplaner, s.k. CPT planer med Gantt scheman, med hjälp av olika projektplaneringsverktyg, t.ex MsProject, rent grafiskt och den information som den innehåller är ej strukturerad eller innehåller tillräckligt med information för att förädla vidare. Fokus är att bestämma starttider, varaktighet samt kopplingar mellan olika aktiviteter. Det räcker inte för att skapa en 4D modell över ett anläggningsprojekt, anläggningsmodellen måste kopplas till tidplanen, dvs läget på en aktivitet måste också specificeras.

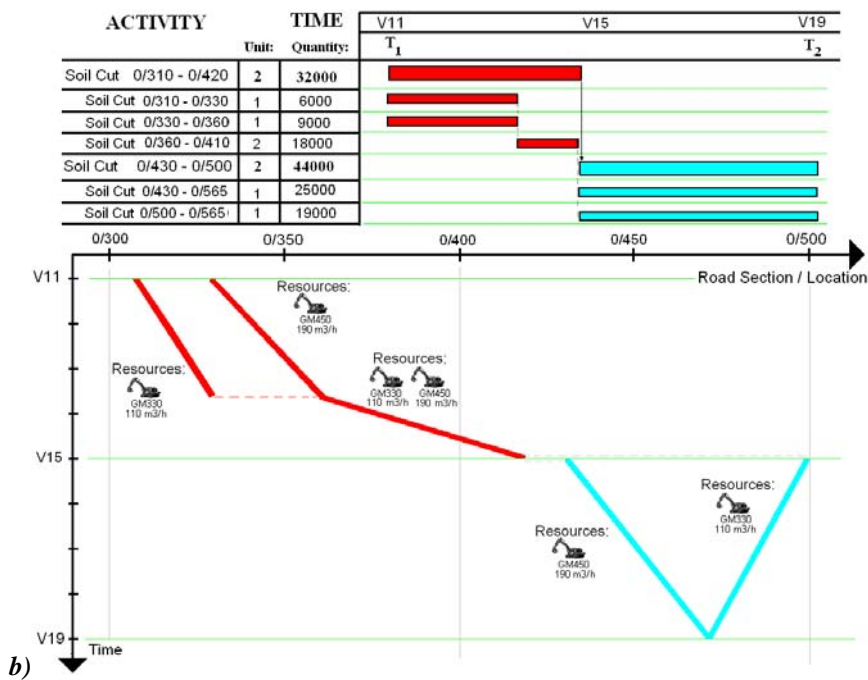
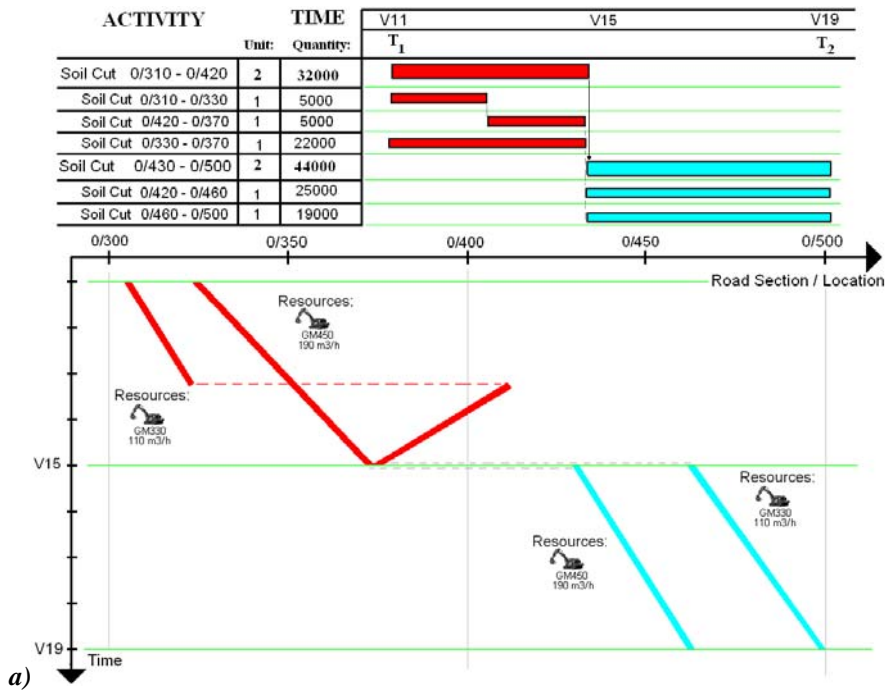
Ett alternativt planeringssätt är s.k. tid-lägesplanering (TLP) där aktiviteterna har en utsträckning både i tid och rum. Nedan visas ett exempel på hur aktiviteter definierade enligt en normal CPT plan kompletteras med information om var aktiviteten skall utföras, se Figur 5.



Figur 5: Gantt schema med två aktiviteter T1 och T2 där båda resurserna startar i början och vid samma tid (övre bild) som kompletteras med lägesinformation och visas i ett Tid-läges diagram.

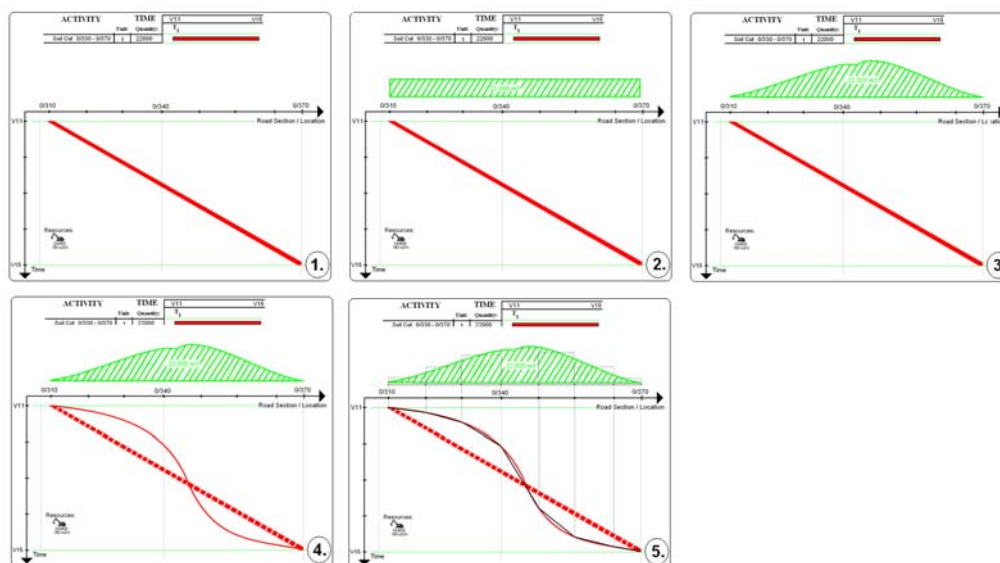
Figur 6 visar ett exempel där resurserna fördelas på olika sätt över produktionssträckan. Av tid-läges diagrammen får man en klar bild hur de två grävmaskinerna kommer att arbeta.

Exemplet i figuren illustrerar tid-läges diagrammens visuella styrka jämfört med gantt-scheman även om man i aktivitetstexten kan addera lägesinformationen som i Figur 6 a) och b). Det finns åtminstone två kommersiella program som arbetar med tid-läges planering, DynaRoad, (DynaRoad 2008) och Tilos (Asta Development 2008). DynaRoad är specialiserat på vägbyggnad och har stöd för massbalansering, beräkning av transportsträckor och ekonomisk optimering samt utvärdering av olika planeringsalternativ. Tilos är ett mer generellt tid-läges planeringsprogram där man också kan kombinera tid-läges planering med traditionell byggplanering av t.ex. broar. Tilos har fått stor spridning i Tyskland vid byggande och underhåll av järnvägar.



Figur 6: Gantt schema och motsvarande Tid-läges diagram med olika fördelning av resurserna över sträckan 0/300-0/500.

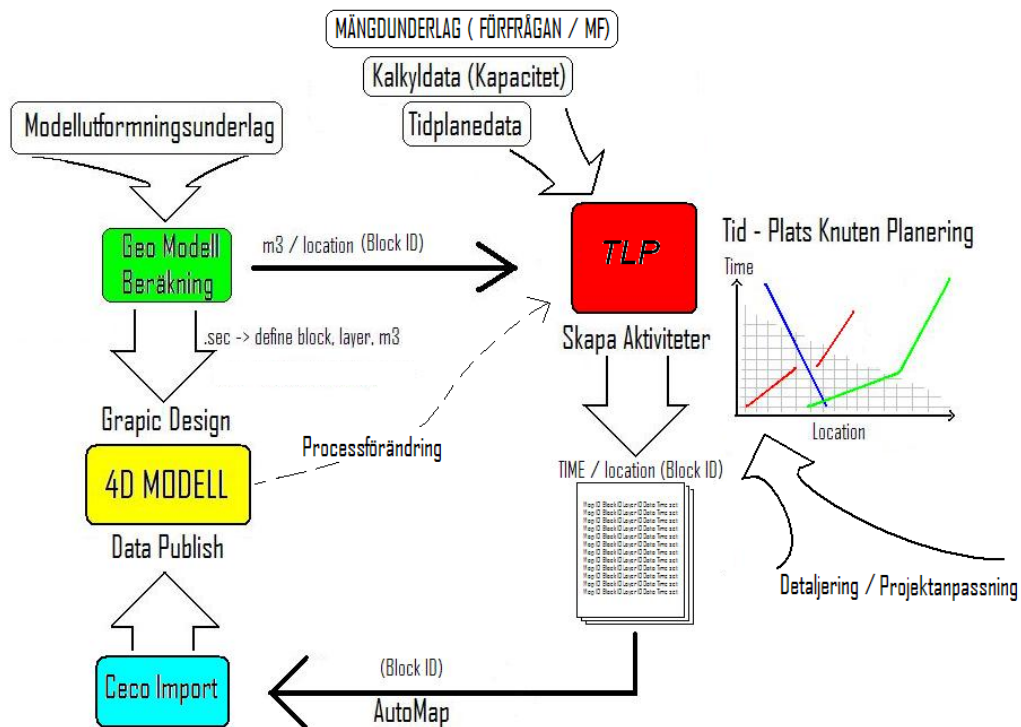
För att få en mer realistisk tid-läges plan måste resurserna anpassas mot den verkliga mängdfördelningen inom ett område. Vanliga tidplaner baseras på insättningstid och varaktighet i förhållande till kapaciteter och totalmängder över en viss sträcka. Vill man analysera och i realtid stämma av en aktivitet så måste metoden förfinas. Det linjära förhållande som tid-läges planen ger över ett visst område kommer i normalfallet att stämma endast i början, någonstans i mitten och i slutet av aktiviteten. Figur 7 visar en principiell bild av fenomenet, där förenkling av en linjär aktivitet (1) innebär att volymen har en konstant fördelning över området (2). I verkligheten varierar volymerna över området (3) vilket kommer att leda till att framdriften också kommer att variera olinjärt över tiden (4). En uppföljning under drift kan därför ge en felaktig bild av framdriften. Eftersom den 3D modell som ligger till grund för maskinstyrningen oftast är mycket mer detaljerad än de volymer man räknar med vid produktionsplaneringen kan man utgående från utformningsmodellen förfina tid-läges planen genom att automatiskt dela upp en aktivitet över ett större område i mindre delvolymer (5).



Figur 7: *Principen för uppdelning av tid-läges planerade aktiviteter i mindre delvolymer över ett större område. (1) Ursprunglig tid-läges plan, (2) antagandet av volymfördelning, (3) verklig fördelning av volym, (4) volymfördelningens inverkan på framdriften och (5) anpassning av tid-läges plan mot volymvariationen*

3.4 Integration av produktionsplan och terrängmodell

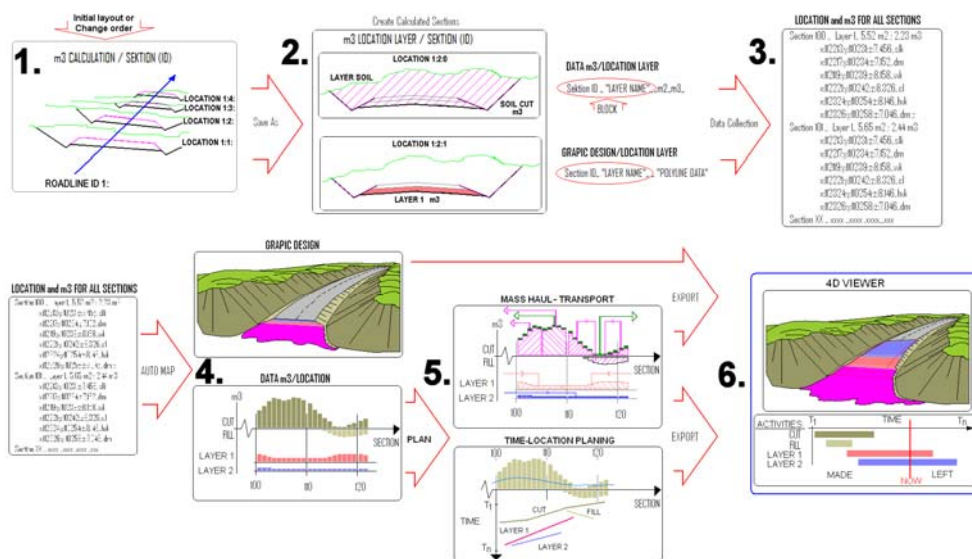
För att kunna skapa en 4D-modell måste data från utformningsmodellen kopplas till produktionsplanen. Inom anläggningsbyggande hanteras geometrier normalt med 2D sektioner, linjeberäkningar och sektionsbeskrivningar. I och med övergången till maskinsensorsystem har ett behov uppstått att beskriva geometrier med hjälp av 3D modeller. Inom väg- och järnvägsbyggande definieras geometrier oftast som tvärsnitt och ett vanligt sätt att beräkna volymer är just genom sektionsutbredningsmodeller. Detta betyder att den definierade geometrin är en tvärsnitt med viss utsträckning i förhållande till vägens längdaxel. Detta synsätt kan användas för såväl väg, järnväg, tunnel som icke långsträckta schakter som grundläggningar för t.ex. industrier eller större bostadsområden. Det viktigaste är att det finns ett strukturerat sätt identifiera och beskriva hanterade volymer mot tid-planerade aktiviteter. Figur 8 visar hur informationen från utformningsmodellen för anläggningsprojektet kan förädlas för att användas i produktionsplanering och visualisering med 4D.



Figur 8: Principskiss för integrering av data för ingående arbetsprocesser i ett anläggningsprojekt för visualisering i 4D.

Figur 9 visar hur en aktiv process mellan utformning, produktionsplanering och 4D visualisering kan integreras:

1. Den detaljerade utformning startar med att bryta ned den schematiska designen i mindre segment anpassade till maskinstyrningen.
2. De olika överbyggnadslagren utformas efter antagna (initialt) eller aktuella (vid förändring) geotekniska förhållanden.
3. Data från utformningsmodellen exporteras för att användas för produktionsplanering och maskinstyrning.
4. Schakt och fyll operationer massoptimeras samtidigt som en 3D model skapas från utformningsmodellen.
5. (Om) planering av de olika produktionsaktiviteterna görs med TLP teknik. Massdispositionen för respektive lager definieras.
6. (Den ändrade) produktionsplanen visualiseras med (4D) genom att kombinera 3D modellen med produktionsschemat.



Figur 9: Exempel på flödet för en aktiv process mellan utformning, produktionsplanering och 4D visualisering.

Läget på maskinerna kan nu användas för att visa framdriften av produktionen antingen i tid-läges diagrammet eller i 4D modellen. Vid förändring av designen repeteras steg 2 – 6. Om planeringen skall förändras behöver endast steg 5 och 6 genomföras.

4 FALLSTUDIE

4.1 Introduktion

För att testa antagandet och strukturen av data för 4D-modellering så var målet att använda ett autentiskt projekt med aktuella indata. I detta fall så har vi valt ett anläggningsprojekt i anslutning till Botniabanan vilket innehåller uppförande av anslutningsvägar och järnvägs bank. Projektet planeras med vanligt planeringsprogram från Asta-PowerProject (Asta 2008) och 3D modelldata hade skapats för volymeräkning och maskinstyrning i SBG-Geo (SBG 2008).

4.2 Skapandet av 4D modell

För hantering av 3D modellering för anläggningsprojekt så är antalet cad-plattformar begränsade. I detta fall har vi använt SBG-Geo, som programvara varpå beräkning av volymer och definitionen på geometri ges i enkla textbaserade format. Volymeräkningsmodellen i SBG-Geo baseras på tillhandahållen väglinjestäckning och normalsektioner. Efter att hela vägen definierats beräknar programmet ut volymer och generar koordinater för varje delsträcka inom väglinjen. Detta betyder att vi får en lista på utformning och vilken volym som skall hanteras för varje meter väg. All data är i textformat vilket gör att det är enkelt att importera till andra plattformar. Eftersom en stor del av arbete handlar om att förflytta och komplettera material är mängdfördelningen längs vägen viktig. Varje delsträcka innehåller en viss mängd och den fördelningen kan man direkt lista som text och importera till Asta Tilos för att där optimera massförflyttningar mot ekonomiskt bästa resultat.

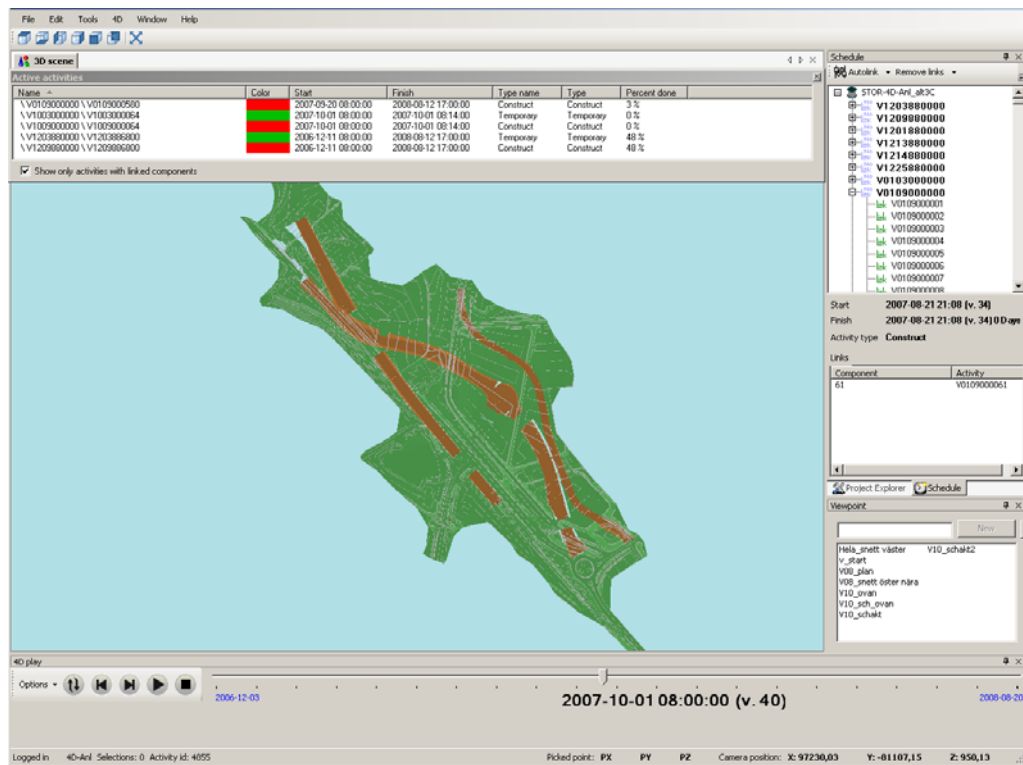
Den geometriska informationen för varje definierat läge lästes direkt från GEO till Ceko Viewer (Ceko 2008) genom ett speciell SBG-Sec program som definierar läget av sektionerna för Ceko Viewer.

Det som krävdes för tidplanen var att definiera start och slut sträcka på de olika vägarna samt likriktade benämningen på de ingående aktiviteterna. Det centrala är identifiering av läget längs vägsträckningen så att aktiviteterna i projektet kan knytas till modellen.

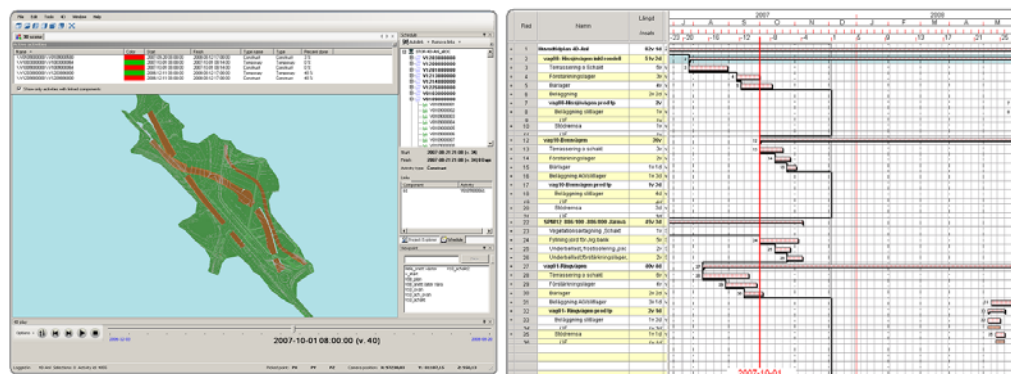
4.3 Visualisering och presentation

Det finns en mängd olika möjligheter att visualisera och presentera informationen i 4D modellen. Exempel på detta är:

- 4D presentation av geometri kopplat till tidplan som visar projektets planerade framdrift i 3D, se Figur 10.
- 4D presentation i kombination med Gantt schema, se Figur 11.
- 4D presentation i kombination med Tid – Läges diagram, se Figur 12.
- 2D-plan, komplement till 4D-plan, där man ser vilka aktiviteter som är utförda grafiskt och numeriskt i % av hela aktiviteten samt vilken som är aktuella vid vald tid, Figur 13.
- Aktuella resurser och även visas på 2D planen antingen utifrån ett planerat perspektiv, Figur 14, eller från verkliga positioner kopplat mot planeringen, Figur 15.
- Genom att implementera en grafitare kan information för geometrier såsom tvärsektioner, Figur 16, volymer, Figur 17 och massförflyttning, Figur 18, enkelt visualiseras.

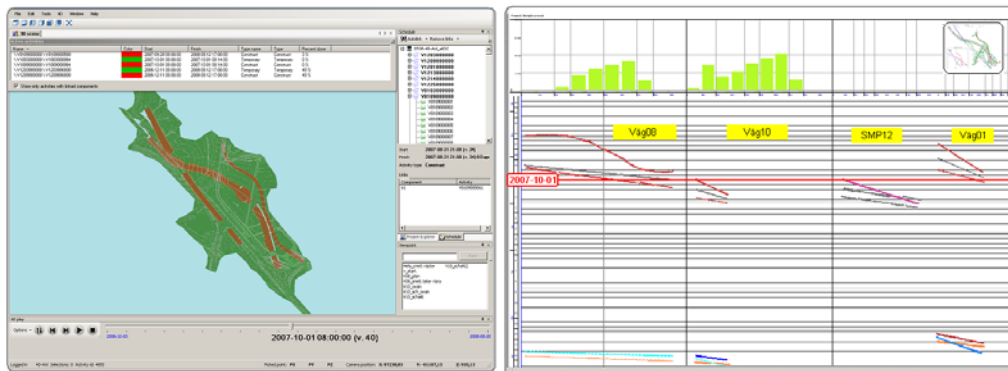


Figur 10: 4D modell med ingående geometri och status på färgkodade aktiviteter

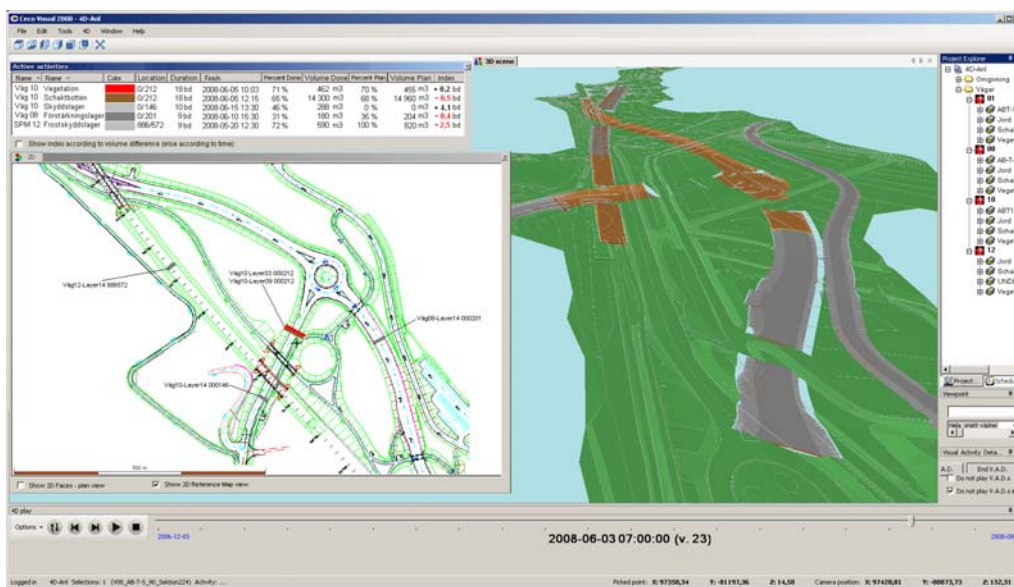


Figur 11: 4D-modell med parallell presentation av gantt schema

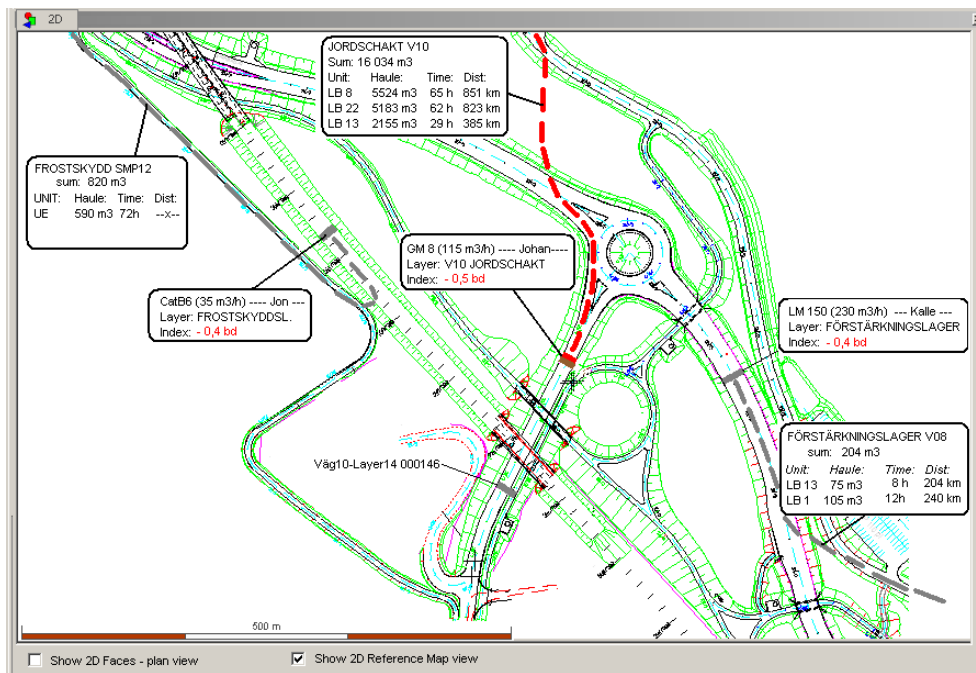
4D modellering för aktiv design i anläggningsprojekt



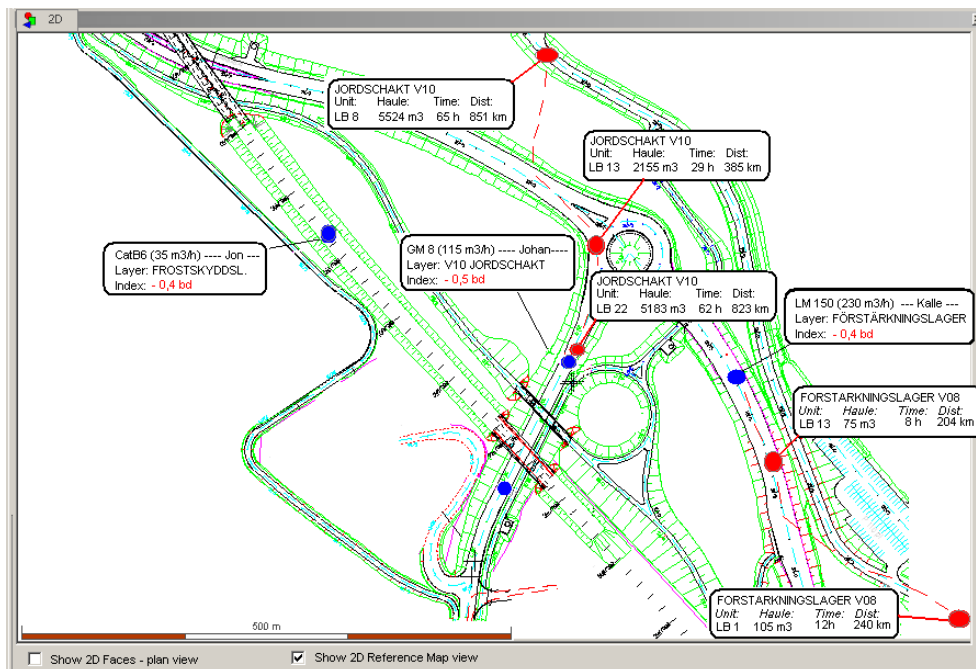
Figur 12: 4D-modell med parallell presentation av tid – lägesdiagram



Figur 13: 4D modell och 2D översikt med status på färgkodade aktiviteter

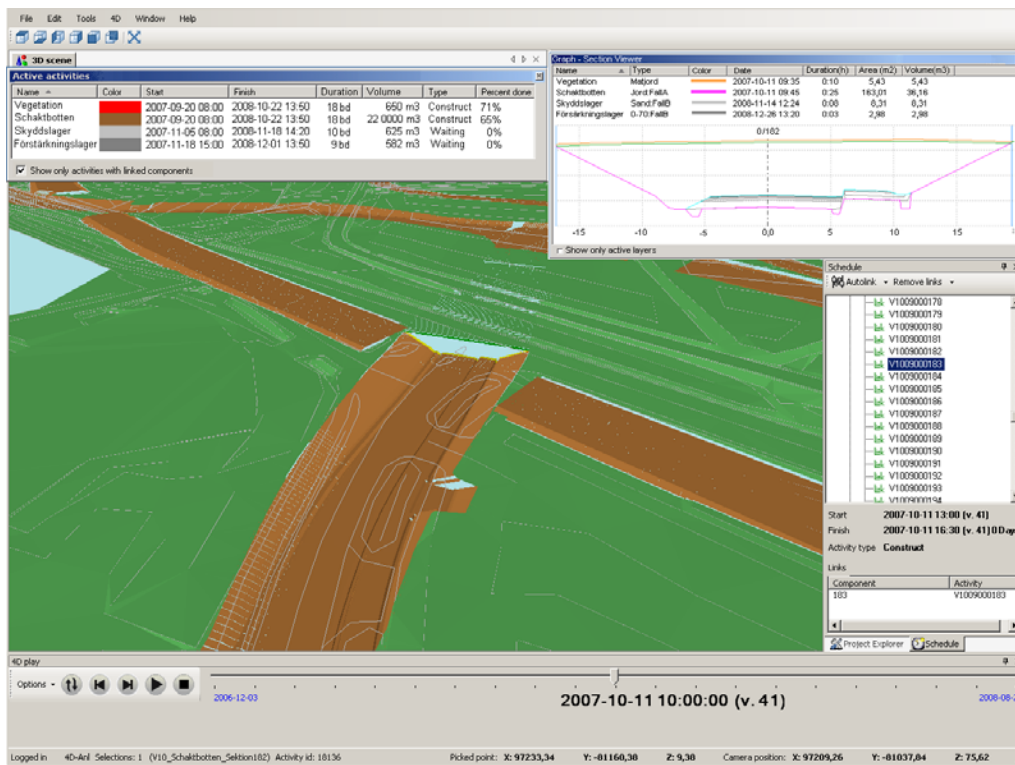


Figur 14: 2D-vy för visning av resurser, aktiviteter och framdrift enligt plan

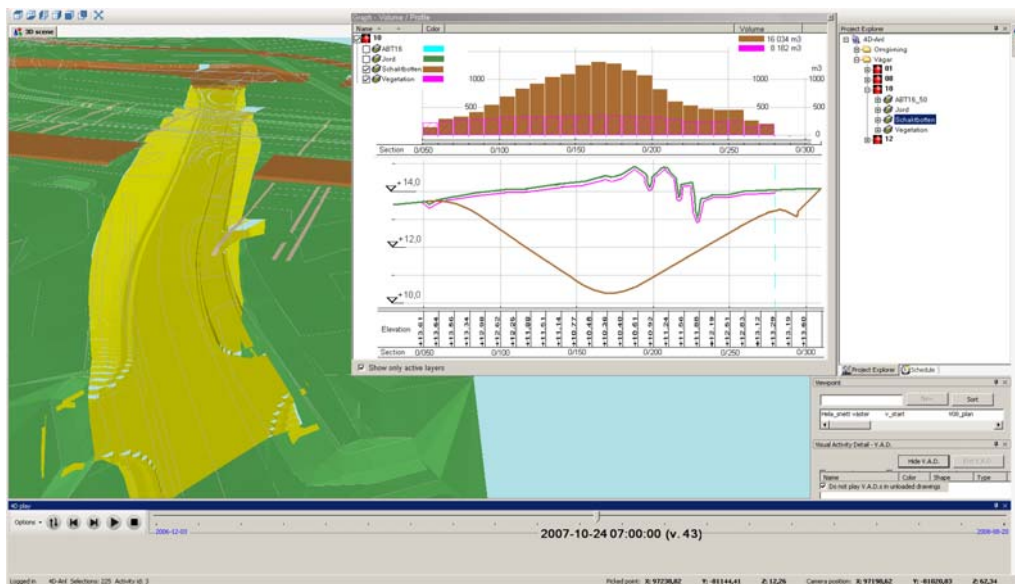


Figur 15: 2D-vy för visning av resurser, aktiviteter och aktuell status

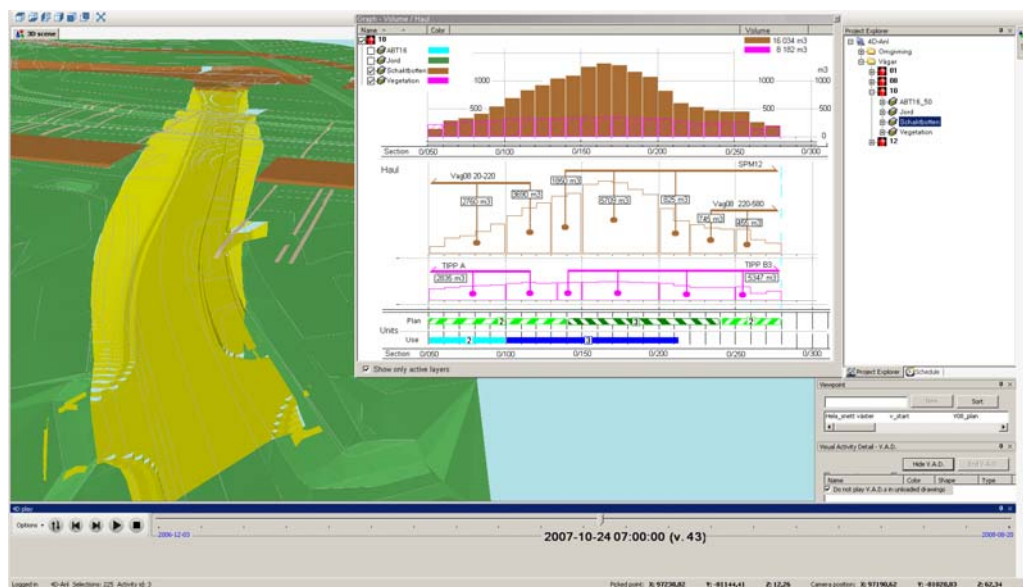
4D modellering för aktiv design i anläggningsprojekt



Figur 16: 4D vy med grafitare för visning av tvärsektioner



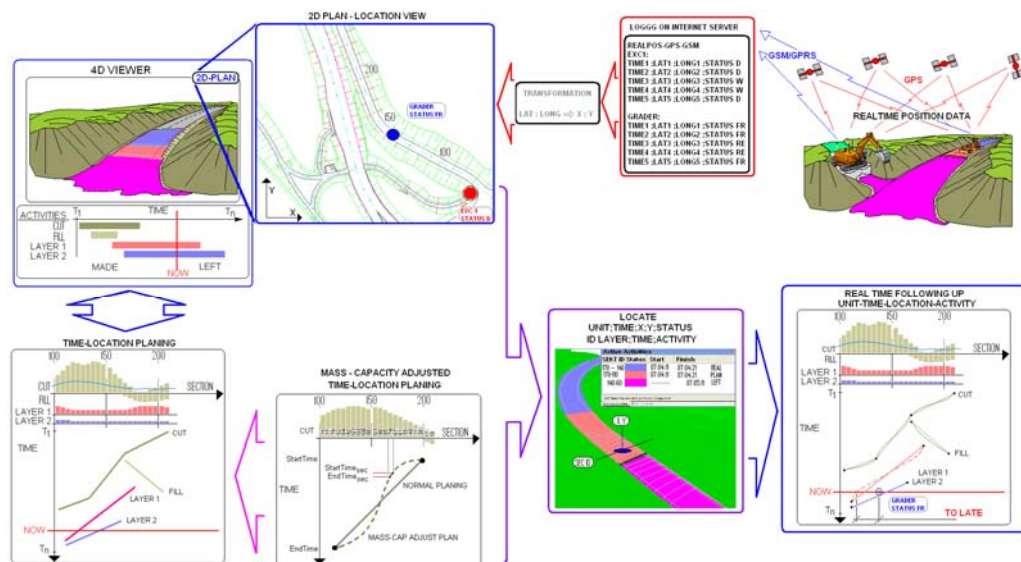
Figur 17: 4D vy med grafitare för visning av profil och volymer.



Figur 18: 4D vy med grafitare för visning av masshantering.

5 SLUTSATS

Förutom möjligheten att visualisera produktionsplanen har vi nu ett utmärkt underlag för uppföljning, kontroll och mängdreglering. I nästa steg planeras att undersöka hur positionering av anläggningsmaskinerna kan användas för att automatiskt följa upp produktionen och identifiera produktivitetsvariationer, se Figur 19. Maskindatorerna kan ofta rapportera status och läge, någon som idag främst används av maskinförarna.



Figur 19: Uppföljning av produktionen genom positionering av maskinerna i förhållande till planerat läge

Genom att centralt på byggsplatsen samla in maskindata öppnar sig möjligheten för uppföljning och kontroll i realtid. Något som på sikt kan avsevärt effektivisera anläggningsprojekten. Redan idag finns teknik utvecklad för fjärrstyrning av förarlösa truckar i LKAB:s järnmalmgruvor. I framtidens BIM baserade och automatiserade anläggningsprojekt ersätts maskinsbodar av kontrollrum där tekniker kan övervaka och fjärrstyra anläggningsmaskinerna. Förändringar av design eller produktionsplanering kan ske aktivt eftersom informationsflödet är integrerat och all grunddata finns lagrad i terrängmodellen av anläggningsprojektet. Samma information som bildar underlag för produktionsplanering och maskindata som styr utformningen.

6 REFERENSER

Akbas, R., “Geometry-based modeling and simulation of construction processes”, PhD Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Stanford University, Stanford, CA, 2004, 150 pp

Asta Development: <http://www.astadev.com>, 15th November, 2008.

Ceco AB: <http://www.ceco.se>, 15th November, 2008

DynaRoad Oy: <http://www.dynaroad.com>, 15th November, 2008.

Dehlin S, Olofsson T, “An evaluation model for ICT investments in construction projects”, ITcon Vol. 13, Special Issue Case studies of BIM use , pp. 343-361, 2008, <http://www.itcon.org/2008/23>

Fischer, M., Kunz, J., “The scope and role of information technology in construction”, Technical Report 156, Center for Integrated Facility Engineering, Stanford University, Palo Alto, USA, 2004, 24 pp

Harris, R.B., Ioannou, P.G., “Scheduling projects with repeating activities”, Journal of Construction Engineering and Management, 124(4), 1998, pp 269-278.

Howell, G., “What is Lean Construction”, 7th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC-7), Berkeley, California, USA, 26-28 July, 1999, pp 1-10.

Jongeling, R., "A process model for work-flow management in construction", PhD Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Luleå University of Technology, Sweden, 2006, Available at <http://epubl.ltu.se/1402-1544/2006/47/index.html>

Josephson, P-E., Saukkoriipi, L., "Slöseri i byggprojekt - behov av förändrat synsätt", Göteborg, Sweden, In Swedish, 2005, 80 pp

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

Koo, B., and Fischer, M., "Feasibility Study of 4D CAD in Commercial Construction." Journal of Construction Engineering and Management, 2000, 126(4), pp 251-260.

Koskela, L., "Management of Production in Construction: A Theoretical View." In I. Tommelein, Ballard, G. (eds) IGLC 7: Proceedings of the Annual Conference of the International Group for Lean Construction, University of California, Berkeley, CA, USA, 1999, pp 241-252.

Nakagawa, Y., "Importance of standard operating procedure and visualization to implement lean construction." In R. Kenley (eds) Proceedings of the 13th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Sydney, Australia, 2005, pp 207-215.

Navon, R., Goldschmidt, E., Shpatnisky, Y., "A concept proving prototype of automated earthmoving control", Automation in Construction, 13, 2004, pp 225– 239.

Nicholson, D., Tse, C-M., Penny, C., The Observational Method in ground engineering: principles and applications, CIRIA report, 1999, 214pp, ISBN: 0-86017-497-2

Peab SwePave home page:

http://www.peab.se/fs_peabweb/publicfiles/swepave, 15th Mars, 2007.

Rebolj, D., "Integrated Information System Supporting Road Design, Evaluation, and Construction", Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 13, (1998), pp 179-187.

SBG: <http://www.sbg.se>, 15th November, 2008.

Seppänen, O., Kankainen, J., “Empirical research on deviations in production and current state of project control”, In S. Bertelsen, Formoso, C.T. (eds) IGLC-12, 12th Conference of the International Group for Lean Construction, Helsingor, Denmark, 2004, pp 206-219

Trimble design software: <http://www.trimble.com/designsoftware.shtml>, 15th November, 2008.

Woksepp, S., and Olofsson, T., “Using Virtual Reality an a Large-Scale Industry Project”, ITCon Electronic Journal of Information Technology in Construction, 11, 2006, pp 627-640, Available at www.itcon.org.