EXAMENSARBETE

IDM för systematiserad informationshantering i berganläggningsprojekt

Erik Sundgren
2015

Civilingenjörsexamen
Väg- och vattenbyggnadsteknik

Luleå tekniska universitet
Institutionen för samhällsbyggnad och naturresurser

LULEÅ TEKNISKA UNIVERSITET

FÖRORD

Till att börja med skulle jag vilja tacka stiftelsen bergteknisk forskning, BeFo, för det ekonomiska stöd som möjliggjorde en resa till Stockholm för att genomföra intervjuer. Jag vill även tacka samtliga respondenter och de är Erik Stål, Peter Lund, Björn Randén, Peter Åhman, Emil Rudegran, Dimitry Kondelchuk, Paul Evins, Jonas Nimfelt samt Jonas Victorin. Tack till Catrin Edelbro för hjälp med att söka det ekonomiska stödet från BeFo och att hitta respondenter. Tack även till Per Vedin för hjälp med att hitta respondenter. Tack till mina båda handledare, Gustav Jansson, LTU, och Emil Rudegran, WSP, för ett omfattande stöd med både små och stora saker genom hela arbetet. Tack till Marie von Matérn för stöd och tips genom hela arbetet.

Slutet på utbildningen är här och det känns overkligt men väldigt välkommet. De dryga fem åren jag spenderat på civilingenjörsprogrammet har varit otroligt utvecklande på många väntade och oväntade sätt. Jag vill tacka min familj för ett jättestort stöd genom hela utbildningen. Jag vill tacka mina gamla vänner för att hålla mig kvar i verkligheten och inte bara leva i studentbubblan. Jag vill tacka alla de vänner och klasskamrater som gjorde de tråkiga kurserna roligare och de mörka månaderna ljusare. Slutligen vill jag tacka min flickvän, Johanna, för ett enormt stöd genom allt. Alltid som mest när det som mest behövs.

Erik Sundgren

Luleå, Januari 2015

SAMMANFATTNING

Arbetet syftar till att undersöka standardiserade strukturer för implementeringen av virtuellt byggande i ett generellt berganläggningsprojekt. Virtuellt byggande är ett samlingsnamn som beskriver metoder med centrum runt objektsbaserade informationsmodeller. Informationen som dessa modeller ska innehålla kan beskrivas med hjälp av en standardiserad struktur som kallas Information Delivery Manual, IDM. En IDM innehåller beskrivningar av processen, delaktiga aktörer och deras behov av informationsutbyte. För att försöka implementera denna struktur på ett berganläggningsprojekt användes teorin axiomatisk design. IDM:en betraktades som en produkt och aktörernas användarbehov som kundönskemål som sedermera bröts ner till funktionskrav. För att identifiera kundönskemålen genomfördes en kvalitativ studie där användarbehov och funktionskrav kartlades. De identifierade önskemålen presenterades sedan tillsammans med sina funktionskrav i trädstrukturer. Dessa trädstrukturer presenterades senare på en karta över processen där aktörer och faser i byggprocessen beskrev deras uppkomst och tillhörighet. En IDM är ett bra verktyg för att beskriva informationsbehov i olika skeden av ett berganläggningsprojekt redan innan de har uppstått. Det finns flera funktionskrav som återkommer under flera kundönskemål och dessa blir kritiska att lösa på ett sätt som tillfredsställer alla kundönskemål. Det är svårt att tydliggöra vem som får ansvar för vilken information när entreprenadformen inte tas i beaktande. Systematiserande strukturer för informationsdelning är dock en förutsättning för att virtuellt byggande ska kunna industrialisera branschen i största möjliga utsträckning.

ABSTRACT

The study aims to investigate how a framework for virtual construction in a generic rock engineering project can be applied. Virtual construction is a name for methods and processes for developing object based information models. The information exchange supported by these models can be described with the standardized framework Information Delivery Manual, IDM. An IDM consists of descriptions of the process, stakeholders and their need for information exchange. Axiomatic design is used in order to develop a generic framework for object oriented modelling in rock engineering projects. The IDM can be considered as a required product where different stakeholders needs are decomposed in to functional requirements for the object based information models. A qualitative study was performed to identify and map the consumer needs and functional requirements. The identified requests were presented along with their functional requirements in tree hierarchies. These hierarchies were then mapped onto a swim lane flowchart where stakeholders and information exchange processes of the project were described. An IDM is a good tool for describing the information need in different stages of a rock engineering project. Several functional requirements turn up in multiple hierarchies and to find solutions which satisfy every need for these functional requirements will be critical. The contractual agreements need to be taken into consideration in order to distribute the responsibility for a specific information deliver. Systematic frameworks for sharing of information are a prerequisite for virtual construction to be used in such extent that it can industrialize the industry.

FÖRKORTNINGAR

IDM	Information Delivery Manual
MVD	Model View Definition
IFC	Industry Foundation Classes
2D	Två rumsdimensioner
3D	Tre rumsdimensioner
4D	Fyra dimensioner (Oftast de tre rumsdimensionerna samt tid)
BIM	Building Information Model
CAD	Computer Aided Design
VDC	Virtual Design and Construction
ER	Exchange Requirements
FP	Functional Parts
ISO	International Organization for Standardization
CA	Customer Attribute - Kundönskemål
FR	Functional Requirement - Funktionskrav
DP	Design Parameter - Designparameter
PV	Process Variables - Produktionssystem
TBM	Tunnelborrmaskin
VR	Virtual Reality

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1 INLEDNING 1
1.1 BAKGRUND 1
1.2 PROBLEMDEFINITION 1
1.3 SYFTE OCH MÅL 2
1.4 AVGRÄNSNINGAR 2
1.5 FÖRFATTARENS BAKGRUND 3

2 TEORI 4
2.1 VIRTUELLT BYGGANDE 4
2.2 INFORMATIONSMODELLER 4
2.3 BRANSCHSTANDARD OCH REKOMMENDATIONER FÖR VIRTUELLT BYGGANDE 6
2.3.1 INFORMATION DELIVERY MANUAL 6
2.4 AXIOMATISK DESIGN 8
2.5 BERGANLÄGGNING 9
2.5.1 FÖRVALTNING AV BERGANLÄGGNINGAR 11
2.5.2 PRODUKTION AV BERGANLÄGGNINGAR 12
2.5.3 PROJEKTERING AV BERGANLÄGGNINGAR 16
2.5.4 DET TIDIGA SKEDET 18
2.6 TEORETISK MODELL 19

3 METOD 21
3.1 LITTERATURSTUDIE 21
3.2 KVALITATIV STUDIE 21
3.2.1 UPPDELNING AV BYGGPROCESSEN 22
3.2.2 UNDERLAG TILL KVALITATIV STUDIE 23
3.2.3 TRANSKRIBERING 23
3.3 NEDBRYTNING AV KUNDÖNSKEMÅL 24
3.4 PROCESSKARTA 25
3.5 METODANALYS 26

4 RESULTAT 27
4.1 RESULTAT FRÅN DEN KVALITATIVA STUDIEN 27
4.2 FAS 4 – FÖRVALTNING 27

4.3 FAS 3 – PRODUKTION 28
4.4 FAS 2 – PROJEKTERING 29
4.5 FAS 1 – DET TIDIGA SKEDET 30
4.6 REFERENS-IDM 30

5 ANALYS 32
5.1 DEN STANDARDISERADE STRUKTUREN IDM GENOM AXIOMATISK DESIGN 32
5.1.1 KATEGORISERING AV KRAV OCH ÖNSKEMÅL 33
5.1.2 KRITISKA FUNKTIONSKRAV 34
5.1.3 GENERELLA KRAV PÅ INFORMATIONSMODELLER 34

6 DISKUSSION 35

7 SLUTSATSER 37
7.1 REFERENS-IDM SOM STRUKTUR FÖR INFORMATIONSHANTERING 37
7.1.1 KATEGORISERING AV KRAV OCH ÖNSKEMÅL 37
7.1.2 KRITISKA FUNKTIONSKRAV 37
7.1.3 KRAV PÅ INFORMATIONSMODELLER I BERGANLÄGGNIGNSPROJEKT 38
7.2 FORTSATT ARBETE 38

8 REFERENSER 40

BILAGOR 44
BILAGA A 44
BILAGA B 48

1 INLEDNING

1.1 BAKGRUND

Anläggningsbranschen ligger än så länge lite efter i sitt implementerande av virtuellt byggande. En anledning till detta kan ha varit att beställare inte efterfrågat det i samma utsträckning som i husbyggnadsbranschen (Rautio, 2012). Statens Offentliga Utredningar (2012) rekommenderar att statliga beställare ska eftersträva branschgemensamma standarder för att industrialisera anläggningsbranschen. Trafikverket har därefter utvecklat en vision med mål att alla deras investeringsprojekt ska använda någon av deras fördefinierade BIM-nivåer 2015 (Trafikverket, 2013a). Dessa nivåer definieras av BIM alliance sweden (2014) och nivå 2 motsvarar följande.

"Objektsbaserade modeller används där objekten fungerar som informationsbärare av attribut och relationer vilket möjliggör en integration mellan olika informationssystem t.ex. CAD-system och kalkylsystem" (Sveriges riksdag, 2014)

Vidare i samma strategiska dokument definieras även en nivå 3 enligt.

"Framtidsscenario som bygger på en enhetlig informationsmodell baserat på standardiserade strukturer. Detta scenario utgår från ett livscykelperspektiv och stödsystem stödjer fullt ut en processorienterad verksamhet. Information lagras i öppna databaser som knyts ihop via webtjänster. Utifrån ett antal kriterier kan man söka efter byggnadsrelaterad information och förvaltningsdata för fastighetsbeståndet." (Sveriges riksdag, 2014)

I dagsläget bedöms projektverksamheten för de berörda myndigheterna samt Sveriges bygg- och fastighetsbransch vara i nivå 1. Det motsvarar kortfattat ej integrerbara 2D eller 3D CAD-modeller. Förvaltningsverksamheten bedöms dock vara kvar mellan nivå 0 och 1 där nivå 0 kortfattat motsvarar att CAD-ritningar skrivs ut, arkiveras och utgör originalhandlingar.

1.2 PROBLEMDEFINITION

Byggindustrin har länge försökt industrialisera byggande. Det har varit ett mål ända sedan förra sekelskiftet att standardisera byggnader i sådan grad att de går att prefabricera. Det finns argument som säger att byggsektorn misslyckats med att införa informationsteknolgi, som varit effektiv i andra industrier, för att integrera branschens olika processer (Nawari, 2012). Trots detta finns fortfarande en vilja att utveckla ett industrialiserat

byggande och det slås fast som en eftersträvansvärd åtgärd för att förnya anläggningsbranschen och uppmuntra innovationer (SOU, 2012).

Vidare beskrivs det i SOU 2012:39 att det, ur ett livscykelperspektiv, är störst chans att påverka kostnaderna för ett projekt tidigt i processen. Det innebär att ju tydligare och tidigare en anläggnings livscykel beskrivs desto större är möjligheterna att påverka den slutgiltiga kostnaden. Både för allmänheten och beställaren.

Virtuellt byggande har möjlighet att erbjuda alla aktörer i byggprocessen en förmögenhet av information som tidigare inte varit möjligt. Det kräver dock att aktörer, entreprenörer, projektörer, beställare och förvaltare, sammarbetar tidigt i projektet för att se till att informationsmodellerna kan uppfylla allas behov och att alla är öppna för att dela den (Nawari, 2012).

För nivå 2 i Trafikverkets BIM-strategi uttrycks att objektsbaserade modeller ska fungera som informationsbärare. Definitionen av nivå 3 ovan, avsnitt 1.1, säger att arbetet ska gå med inriktningen mot EN enhetlig informationsmodell baserat på standardiserade strukturer. Dessa standardiserade strukturer blir nyckeln till att nå nivå 3.

1.3 SYFTE OCH MÅL

Syftet med examensarbetet blir därför att undersöka vilka standardiserade strukturer det finns idag för virtuellt byggande och hur de kan anpassas till berganläggningsprojekt utifrån ett användarperspektiv. En del i att arbeta med standardiserade strukturer blir då att undersöka vilka krav som ställs på informationsmodeller i alla delar av byggprocessen. Att synliggöra nästa aktörs behov och önskemål på modellernas funktioner. Att undersöka det är högst relevant både för den första tidshorisonten med nivå 2 men även i förlängningen för nivå 3. I slutändan ska det finnas en klar bild över kraven som ställs på de objektsbaserade modellerna för att de ska kunna användas i den utsträckning som ambitionen är.

1.4 AVGRÄNSNINGAR

Examensarbetets avgränsningar är listade nedan.

- Det tas ingen hänsyn till entreprenadform och juridik.
- Den referensprocess som används är ett hypotetiskt, generellt berganläggningsprojekt.
- Den delen av en berganläggning som är aktuell är den biten som beskrivs av WSP bergteknik i en teknisk beskrivning, d.v.s Bergschakt, förstärkning, injektering och dränering. De övriga anläggningsdelar refereras till som installationer.

- Det görs ingen skillnad på vilka installationsarbeten som utförs bara att de utförs.
- Ingen hänsyn till filtypers eller programvarors kompabiliteter kommer att tas.

1.5 FÖRFATTARENS BAKGRUND

Det här examensarbetet genomförs som avslutande arbete på civilingenjörsprogrammet väg och vatten. Arbetet har utförts i samarbete med WSP och det har genomförts utifrån ett projekteringsperspektiv där informationsmodeller betraktas som verktyg för projektstyrning. Det betyder i förlängningen att informationsmodeller, i utformningssyfte, betraktas som levererbara produkter.

2 TEORI

Teorin som beskrivs i detta kapitel är resultatet av en litteraturstudie som genomförts under hösten 2014.

2.1 VIRTUELLT BYGGANDE

Virtuellt byggande är ett samlingsnamn för flera olika metoder att använda sig av vid drivande av byggprojekt. Gemensamt för dessa metoder är att de är centrerade runt informationsbaserade objektsmodeller.

Nedan följer en kort beskrivning av den metod, Virtual Design and Cosntruction (VDC), som föreslås av Kunz & Fischer (2012). Där beskrivs VDC som användandet av tvärvetenskapliga, integrerbara prestandamodeller i byggprocessen för att stödja explicita och offentliga affärsmål. Den består av tre definierade faser. Den första är visualisering och mätbara enheter, den andra är integration och den tredje är automation (Kunz & Fischer, 2012).

I den första fasen av VDC jobbar projektmedlemmar rutinmässigt med att tillverka och uppdatera en serie modeller. De modellerna visar produkten i 3D, organisationen som genomför projektering, produktion och projektledning samt processen som organisationen följer för att göra projektering, produktion och projektledning. Dessa följs upp genom, på förhand, bestämda och mätbara aktiviteter. Genom strukturerad kommunikation i den här fasen går det att uppnå mycket vad gäller tydliggörande av projektets mål, ansvar och förväntningar (Kunz & Fischer, 2012).

Den andra fasen som består av integration syftar i största grad till informationsutbyte mellan modeller. Projektet ska hitta pålitliga sätt att automatiskt dela data mellan olika modeller. För att det ska fungera på ett tillfredställande sätt måste de olika kompetenserna i projektet organisera sig (Kunz & Fischer, 2012).

Automation som är den tredje fasen och den består kortfattat av att projektet använder sig av automatiserade metoder att utföra rutinmässiga uppgifter (Kunz & Fischer, 2012).

2.2 INFORMATIONSMODELLER

Centralt för virtuellt byggande är informationsmodeller i andra fall även kallade byggnadsinformationsmodeller, BIM.

I ett examensarbete vid LTU har Liljemark-Mattsson (2014) sammanställt internationella och nationella riktlinjer för informationsmodeller för att kartlägga VDC-aktiviteter i ett husbyggnadsprojekt. Den sammanställningen mynnade ut i åtta informationsmodeller ”översatta” till virtuellt byggande i Sverige. Nedan är de åtta informationsmodellerna kortfattat beskrivna.

Tabell 1 Informationsmodeller som används i byggnadsprojekt och dess funktioner.

Kravmodell	Innehåller funktionskrav för konstruktionen.
Startmodell	De förutsättningar som råder när projektet startar modelleras i startmodellen. Även kallad platsmodell.
Rumsmodell	I den modellen finns information rörande utrymmen, relationer mellan utrymmen, preliminära mängder.
Byggnadsmodell	En modell av utrymmen och byggdelar där objekten innehåller den information som behövs i produktionen. Detta är basen för ritningar.
Installationsmodell	Modell av t.ex. VVS-installationer.
Samgranskningsmodell	Samtliga teknikområdens modeller integreras för att samordna projekteringen och genomföra kollisionskontroller.
Relationsmodell	Uppdaterad byggnads eller installationsmodell med information om hur det byggdes.
Förvaltningsmodell	Förenklad byggnadsmodell med den information som behövs för förvaltning.

En viktig sak att påpeka med den här typen av modeller är att de alltid bör vara spårbara. En revidering i en modell måste synliggöras och kunna spåras vid ett senare tillfälle (COBIM, 2012).

Det är rekommenderat att ta informationsmodellens slutstadium i beaktning när den utformas. Detta för att dess användningsområde inte ska begränsas på grund av hur den skapats. Därför föreslås en metod för att, i början av ett projekt, ta reda på vilken information som ska användas och hur den ska användas i senare delar av byggprocessen. Den bygger helt enkelt på att kartlägga baklänges. Att börja med informationens sista anhalt och gå bakåt i kedjan för att utforma modellen. (The Computer Integrated Construction Research Program, 2010).

2.3 BRANSCHSTANDARD OCH REKOMMENDATIONER FÖR VIRTUELLT BYGGANDE

Det finns ett internationellt sammarbete som skapat en ideel organisation för utvecklingen av standardiserat virtuellt byggande. BuildingSMART (2014) arbetar med att standardisera referensbibliotek, filtyper (IFC), datadelningsprocesser (MVD), användarspecifikationer (IDM) och kommunikation mellan olika mjukvaror.

Nawari (2012) kom med förslag på en process för specificering av BIM-standard. Den består av tre steg: Utveckla en IDM, översätt till en MVD och resultatet blir en BIM som består av IFC-standarder. Kortfattat är IDM specifikationen för användarfunktioner och grunden för standardiserat informationsutbyte, MVD är riktlinjer för hur dessa specifikationer ska omvandlas till lösningar och IFC en öppen standard för datadelning mellan modellgenererande mjukvaror.

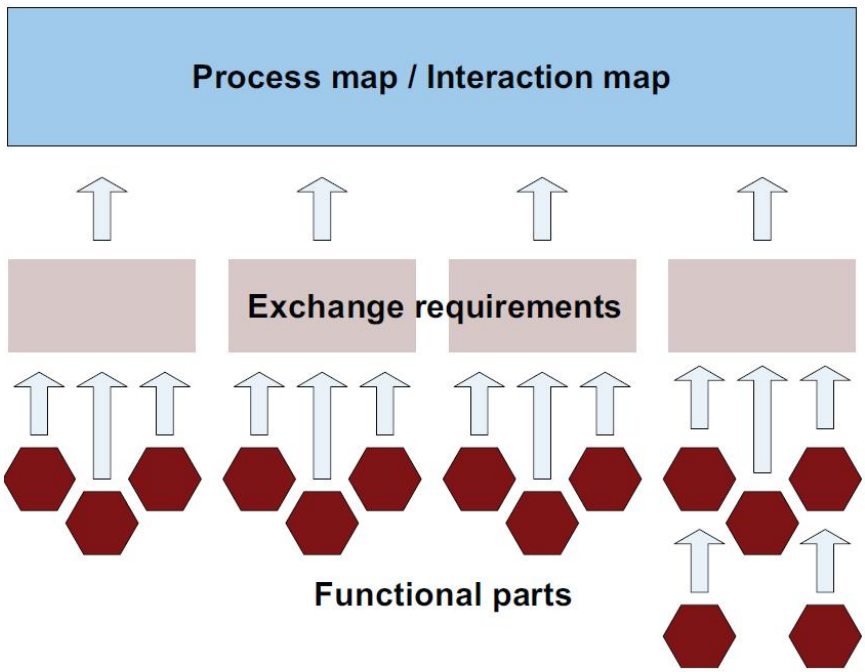
2.3.1 INFORMATION DELIVERY MANUAL

Syftet med en IDM är att identifiera momenten i en byggnads livscykel och beskriva momentens resultat, därefter klargöra vilka aktörer som ska utbyta information och slutligen presentera det på ett sätt som är tillämpbart.

I den svenska standarden för Information Delivery Manual, eller Manual för överförande av data, rekommenderas en stomme som kan brytas ner i mindre delar och processer (Svensk standard, 2013). För att klara av det används en kartläggning av processer där de önskade funktionerna och behoven för varje aktör identifieras och formuleras. De informationsbehoven, exchange requirements (ER), sammanställs och ger upphov till ett underordnat system av utbytesmodeller eller exchange models (Nawari, 2012). Dessa modeller kan i sin tur brytas ner i flera typer av så kallade functional parts (FP). De är enheter av information som beskriver utbytesmodellerna rent tekniskt. Tillsam-

mans blir då de funktionella delarna (FP) och informationsbehoven (ER) informationsutbytesmodeller, exchange requirements models. De modellerna utsätts sedan för utomstående krav av så kallade business rules. Business rules har som syfte att beskriva processer, begränsningar eller annat som påverkar informationsutbytesmodellerna men att göra det fristående. Det betyder att en business rule kan appliceras på, eller raderas från, flera olika informationsutbytesmodeller utan att ändra innehållet i någon av dem. I ett sista skede bör även modellerna utsättas för en validering där kvalitén på informationsutbytet testas och utvärderas mot det ursprungliga informationsbehovet. Noterbart är även att appliceringen av mjukvara inte faller under en IDMs syfte men det är en viktig aspekt för möjligheten att använda den (Svensk Standard, 2013).

Det konventionella och rekommenderade tillvägagångssättet för att skapa en IDM är att skapa en överblick över processen, hitta informationsbehov och funktionella delar, tydliggöra och kvalitetskontrollera dem. Det kan även sägas att en IDM grovt kan delas upp i två generella delar. Den ena är ett användarfokuserat perspektiv och det andra ett tekniskt lösningsfokuserat perspektiv. En IDM blir i slutändan, tekniskt, beroende av en schematisk beskrivning av informationsutbytesmodellerna och deras underordnade funktionella delar. (Svensk Standard, 2013). En grafisk beskrivning av en IDM kan ses i figur 1.



Figur 1 Grafisk beskrivning över uppbyggnad av en IDM (Svensk Standard, 2013)

Syftet med den ISO-standard som använts för att beskriva IDM:er i det här avsnittet är att tillhandahålla råd och riktlinjer för skapande av IDM:er. En projektspecifik IDM ska enligt den innehålla en beskrivning av behovet av informationsutbyte, hur informationen ska hanteras, vilka aktörer som är delaktiga, vilken information som behöver utbytas vid vilken tidpunkt i processen, definitioner och specifikationer så de är lätta att förstå, detaljerade specifikationer av vilken information som ska utbytas för att utveckla mjukvaran till modellerna och säkerställa att allting kan anpassas till de lokala arbetssätten. (Svensk Standard, 2013)

2.4 AXIOMATISK DESIGN

Axiomatisk design är en metod för utformningen av produkter, processer, mjukvara etc. Metoden grundar sig i att axiom ställs upp som grunder till utformningsprocessen. Processen går därefter ut på att kartlägga kundernas önskemål (CAs) mot funktionskrav (FRs) som i sin tur kartläggs mot designparametrar (DPs). Designparametrarna kopplas sedan mot de typer av produktionssystem (PVs) som finns tillgängliga (Suh, 2001).

$$CA \rightarrow FR \rightarrow DP \rightarrow PV$$

Figur 2 Nedbrytningsordning i axiomatisk design (Suh, 2001).

Ordningen som detta görs i är bestämd efter de domäner som variablerna tillhör. CA tillhör kunddomänen, FR funktionsdomänen, DP den fysiska domänen och PV processdomänen. Mellan varje domän måste en kartläggning ske för att viktiga delar i kundernas önskemål eller produktens funktion inte ska gå miste i ”översättningen”. Som exempel på en sådan översättning kan utformningen av en kaffekopp tas. Kundönskemålet är att det ska gå att dricka kaffe ur den. Det i sin tur översätts till flertalet funktionskrav, den ska klara en viss temperatur, den ska ha en öppning för att fylla på och dricka ur, etc. Kartläggningen mellan domäner begränsas av ett antal constraints, eller randvillkor, som inte går att påverka. En constraint kan vara årsmedeltemperaturen där en byggnad ska uppföras (Suh, 2001). De två axiomen som ligger till grund för axiomatisk design är presenterade med en kort beskrivning nedan.

Självständighetsaxiomet: Alla FRs måste vara oberoende av varandra. Det betyder att utformningen måste vara sådan att en FRs utformningslösning, DP, inte påverkar en

annan FR. Då FR är funktionskrav betyder det inte att alla FRs måste vara fysiskt oberoende varandra utan enbart funktionellt. Som exempel kan tas en penna som har både funktionskrav att kunna sudda med ena änden och skriva med andra änden. Dessa är inte fysiskt separerade men är funktionellt oberoende. Alltså om suddet tas bort går det fortfarande att skriva och tvärtom.

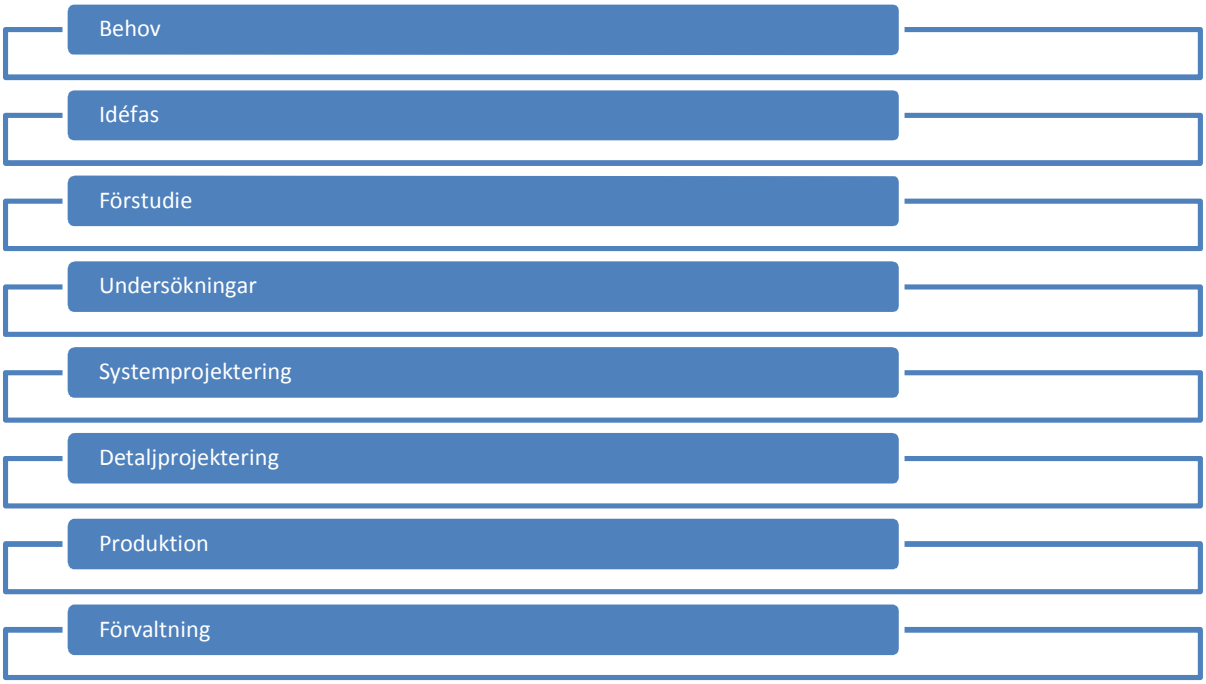
Informationsaxiomet: Innehållet av informationslösningen måste minimeras. Det finns ofta många olika utformningar som uppfyller det första axiomet så därför behövs ett sätt att utvärdera dessa. Informationsaxiomet säger att den lösningen som är bäst är den som innehåller minst information samtidigt som alla funktionskrav uppfylls.

Suh (2001) uttrycker vikten av en lösningsfri miljö när kundönskemål översätts till funktionskrav. Detta för att funktionskravens uppkomst inte ska vara påverkad av tidigare lösningar. Förutom att ta hänsyn till kunders specifika önskemål måste även en del andra saker tas hänsyn till som kunderna inte alltid specificerar. Bland annat måste produktens livstid tas i beaktning som ett funktionskrav även om kunden inte utrycker det. Suh (2001) uttrycker även en varning för att specificera DPs och PVs i ett för tidigt skede av utformningsprocessen. Detta för att de skulle begränsa antalet lösningar och minska möjligheten till innovationer om en del utformningar bestäms som funktionskrav.

2.5 BERGANLÄGGNING

För att göra skillnad på ett berganläggningsprojekt och ett byggnadsprojekt finns väsentliga skillnader att ta hänsyn till. För byggnadsprojekt, som virtuellt byggande ofta utgår från (författarens anm.), är egenskaperna hos materialet för det bärande systemet känt. I berganläggningsprojekt är materialet givet, unikt för just det projektet och till största del okänt. Det är en anledning till att designprocessen för berganläggningar ser annorlunda ut. De delar av berganläggningen som faller in under avgränsningarna i detta examensarbete är själva bergmassan, förstärkningar (bultar, sprutbetong mm.), vatten- och frostisolering.

Peter Lundman (2011) pratar om en byggprocess för underjordsprojekt som ser ut som nedan. I detta kapitel beskrivs hur ett generellt berganläggningsprojekt kan genomföras.



Figur 3 Byggprocessen för underjordsprojekt (Lundman, 2011).

2.5.1 FÖRVALTNING AV BERGANLÄGGNINGAR

Berganläggningar i sig är på grund av rådande förutsättningar i behov av kontinuerligt underhåll. Huvudsakligen kan det behovet delas upp i underhåll av bergkonstruktioner och underhåll av installationer. Förutom det kan även anläggningsspecifika underhållsåtgärder identifieras och dessa syftar oftast till stabilitetskontroller, kontroller av yttre påverkan samt kontroll av geometrier.

Information om anläggningen är den viktigaste parametern när underhåll av bergkonstruktioner ska planeras. Det gäller hur den är förstärkt, vilka miljökrav som gällde när den byggdes o.s.v. Den informationen bör sedan utökas allt eftersom underhållsåtgärder, besiktningar och dylikt görs. Underhållet för berganläggningar bör beaktas redan när dimensioneringen utförs och utförandet dokumenteras då även detta har en stor påverkan på anläggningens underhållsbehov (Alvedal et al., 1985).

Det resonemanget stöds av Ansell et al. (2006) som påpekar vikten av att förutsäga skador innan de uppstått för att kunna arbeta så förebyggande som möjligt med drift- och underhållsåtgärder. En del i att kunna förutsäga skador är att studera orsakerna till dem och detta görs bäst med så mycket information som möjligt.

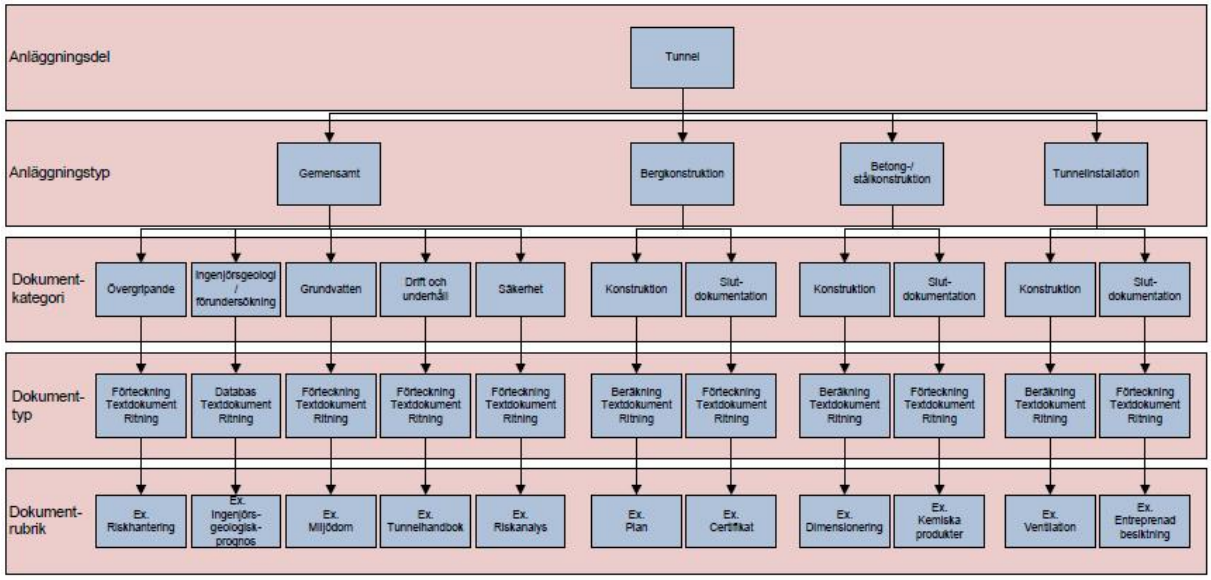
Drift- och underhållsåtgärder för tunnlar är dock ofta mer svårutförda än för andra typer av anläggningar. Som exempel är omgivande aktivitet ofta trafik. Kombinerat med en brist på utrymme utgör det inte bara ett problem rent tekniskt, utan även rörande personsäkerhet för den som ska utföra det. Förutom det är det även svårt att komma åt att inspektera det bärande systemet på grund av att det är inbyggt. Miljö i trafiktunnlar är ofta en aggressiv tillvaro även för konstruktionsdelar. Avgaser och inläckage av vatten bidrar till en korrosiv omgivning för t.ex. stål. All betong är inte heller lämpad för den typen av driftmiljö och de anläggningsdelar som konstrueras av betong behöver anpassas för att klara av det. Detta blir ett problem då delar av det bärande systemet, bultar, sprutbetong etc., är tillverkade i sådana material. Om det kombineras med risken för blocklossning på grund av svällande leror och urspolning av mineraler över tid så kan stabilitetsproblem uppstå. När det gäller laster kan det även vara viktigt att påpeka att de laster som anses permanenta kan förändras över tid beroende på hur det komplexa samspelet inom bergmassan utvecklas. (Ansell et al., 2006).

För att säkra driften av en berganläggning behövs inte enbart ett bärande system utan även en del andra stödsystem. Ett sådant är dränering av inläckande vatten. Dessa dräner står för en stor del av underhållskostnaderna för berganläggningar då inläckande

vatten är ett av de största problemen under svenska förhållanden. Det vanligaste problemet är igensättning på grund av partiklar som följer med vattnet men fastnar i dränerna (Lindblom, 2012).

Tunnlar kan inte byggas på ett sätt som är underhållsfritt men ett bra, väl prioriterat underhåll medför ofta god ekonomi (Ansell et al., 2006).

För att samla på sig och organisera information för förvaltning använder sig Trafikverket av strukturen i figur 4. Bilden beskriver lagringsstrukturen för förvaltningsdata i Trafikverkets arkiveringssystem.



Figur 4 Figur över Trafikverkets dokumentstruktur. (Trafikverket, 2013b)

En berganläggnings beständighet kan försämras som resultat av påverkan av aktiva och passiva faktorer. De aktiva faktorerna kännetecknas av naturligt förekommande nedbrytningsprocesser och extern påverkan. Passiva faktorer är faktorer som orsakats av ett felaktigt utförande i produktionsfasen. (Alvedahl et al., 1985).

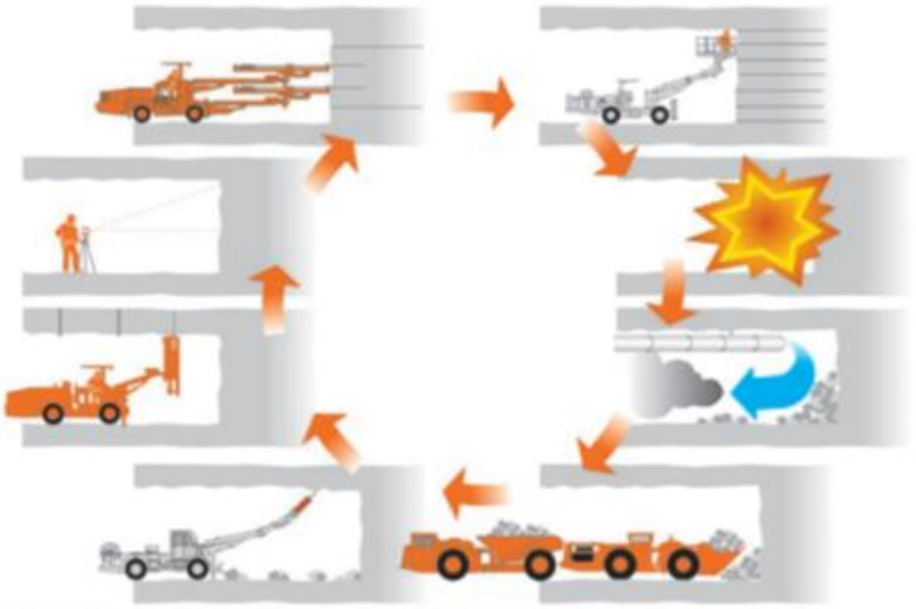
2.5.2 PRODUKTION AV BERGANLÄGGNINGAR

Generellt kan sägas att de metoder som används till att bygga berganläggningar är variatioiner eller direkta tillämpningar av två typer. Mekaniserade eller konventionella. Den konventionella metoden syftar till en traditionell cykel av borra-spräng-lasta som kallas salvcykel. Det är den vanligaste metoden i Sverige. Den mekaniserade avser drivning av tunnlar och bergrum med hjälp av mekanisk nedbrytning av berget. Det kan vara fullortsborrning med Tunnelborrmaskin (TBM), vajersågning, raiseborrning eller roadheader. Nedan följer korta, generella beskrivningar av båda typerna.

2.5.2.1 KONVENTIONELL DRIVNING

Konventionell drivning består av en serie handlingar som upprepar sig själva i samma ordning. Aktiviteterna är inmätning, borrning, laddning, sprängning, ventilering, utlastning, skrotning och förstärkning (Heiniö, 1999). Cykeln illustreras i figur 3. Det finns även ytterligare en aktivitet som inte nämns i den serien och det är injektering. Detta för att injekteringen kan utföras både före och efter berguttaget. Vanligtvis genomförs en förinjektering framför fronten med en kompletterande efterinjektering om det erfordras (Andersson, 2001).

Den konventionella metoden lämpar sig bäst i mellanhårt till hårt berg och den största positiva egenskapen som metoden har är dess flexibilitet. Det krävs dock en bra organisation och planering kring salvcykeln samt att vibrationer och omgivningspåverkan kan göra den opassande i bebyggda områden (Heiniö, 1999).



Figur 5 Illustration över salvcykeln (Heiniö, 1999).

I grund och botten är dock varje del av salvcykeln olika och därför behövs olika typer av information för att utföra dem. I slutändan är de dock ändå beroende av varandra. Utlastningen är beroende av att det inte blir för stora fraktioner, som i sin tur beror på laddningen, och kvalitén på borrningen. Det innebär att en försening någonstans i serien kan påverka hela projektet. Svårigheter att bestämma tidsåtgången för en salvcykel är en stor osäkerhet vid kalkylering av anbud för berganläggningar (Norell och Öhman, 2013).

2.5.2.2 MEKANISK DRIVNING

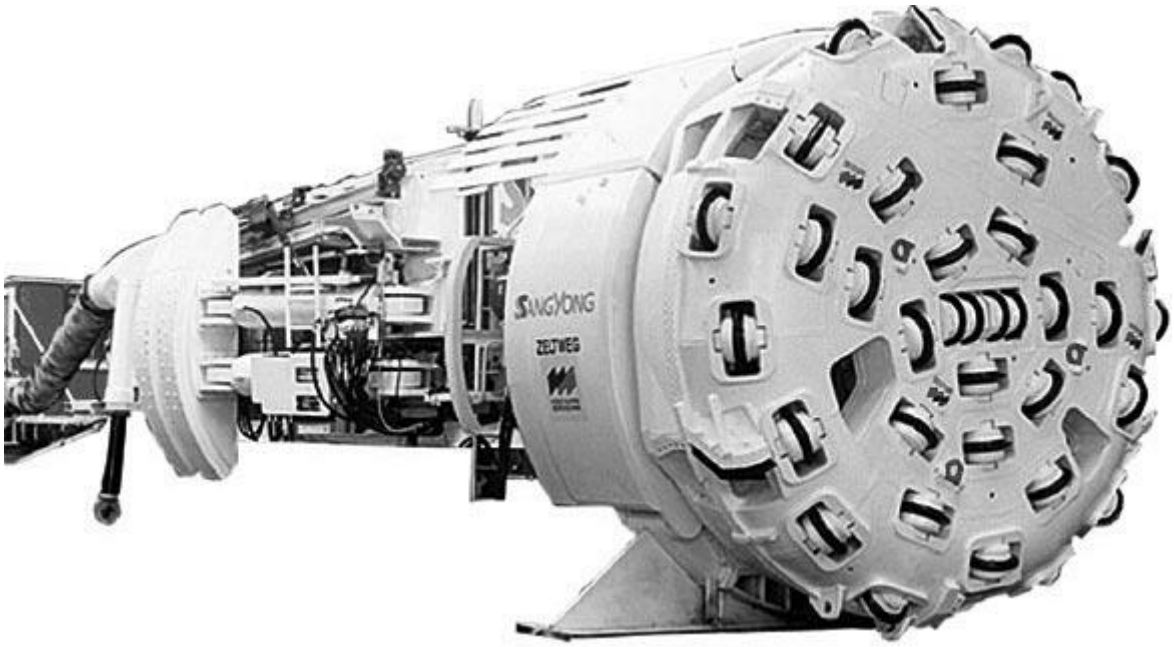
De olika typerna av mekanisk drivning används i nästan alla typer av berg med undantag för riktigt hårt berg. De metoderna som räknades upp tidigare i detta kapitel kan delas in i delortsdrivning och fullortsdrivning. Vajersågning och roadheader är två exempel på delortsdrivning. En roadheader är ett fordon som fräser ut berget med hjälp av ett, på ett eller annat sätt, roterande verktyg (Heiniö, 1999). Det är inte särskilt vanligt i Sverige att använda sig av sådana fordon.

Vajersågning eller wiresågning går ut på att delar av en anläggning sågas ut genom att en diamantbeklädd vajer dras genom två borrhål. Det används i större utsträckning, i Sverige, än roadheaders och oftast där det är höga krav på liten omgivningspåverkan, skadezon eller precision i berguttaget.

Raiseborrning är en fullortsdrivningsmetod som går ut på att ett pilothål borras mellan två andra orter eller markytan och en ort. När pilothålet borrats kopplas en borrkrona på den sidan som genomslaget gjordes, den aktiviteten visas i figur 4. Därefter dras borrstålet ut igen. Denna metod används oftast vid vertikala schakt eller orter.

Figur 6 En raiseborrkrona ska kopplas på innan raiseborrningen påbörjas.(Heiniö, 1999)

TBM, eller Tunnelborrmaskin, se figur 7, är en fullortsdrivningsmetod som kan liknas vid att hela sektionen borras. Maskinen består av ett roterande huvud med cuttrar som spräcker och luckrar upp berget samtidigt som hydrauliska stöd trycker maskinen framåt (Heiniö, 1999).



Figur 7 Tunnel Boring Machine. (Heiniö, 1999)

Det finns flera olika lösningar på hur materialet från fronten tas omhand. Det är vanligt att det transporteras till dagen på ett transportband. Förstärkning, injektering och andra anläggningskompletteringar kan ofta genomföras från maskinen (Heiniö, 1999).

Att använda TBM som drivningsmetod passar sig bäst när det är långa tunnlar med ingen eller svag krökning. Detta på grund av att maskinen, rent tekniskt, har svårt att svänga samt att det ofta är ganska höga etableringskostnader för en TBM. De är höga på grund av att de ofta måste specialtillverkas för just projektet ifråga och då inte har något syfte efter tunneln är driven. (Banverket, 2006)

2.5.2.3 BYGGPRODUKTION

Förutom de tekniska delarna ovan så måste traditionell byggproduktion tas i beaktande. Med traditionell menas att för en färdig byggnad eller anläggning måste en serie aktiviteter utföras. Mot dessa måste resurser kopplas för att kunna utföra dem och användandet av resurser kostar pengar. Utgångspunkten är en platsorganisation och tillfällig etable-

ring i direkt anslutning till anläggningen i fråga, kvalitets- och miljöstyrning sker i enlighet med ISO 9001 och 14001 eller likvärdigt. (Nordstrand, 2008).

2.5.3 PROJEKTERING AV BERGANLÄGGNINGAR

I den traditionella beskrivningen av projektering börjar det i skedet som kallas gestaltning. Den fasen börjar medan behovet utreds och mynnar ut i gestaltningsritningar. Målet är att leverera flera olika förslag som uppfyller behovet. Innan gestaltningen är helt färdig börjar systemutformningen som leder till systemhandlingar och avslutningsvis blir bygghandlingar till under detaljutformningsfasen. Systemhandlingarna beskriver hur konstruktioner och installationer kan utföras för att uppfylla de krav som ställs på lösningen.. Bygghandlingarna representerar den färdigutformade lösningen. (Nordstrand, 2008).

Mängden osäkerheter gällande underjordskonstruktioner kan ha stora kopplingar till subjektiva bedömningar. Detta på grund av att det nästan alltid finns brist på information gällande bergets egenskaper. På grund av att berganläggningsprojekt ofta är unika är det omöjligt att på förhand bestämma alla åtgärder som ska utföras. Under byggnationens gång måste viktiga beslut tas. Vidare kan beslut som tagits under designprocessen visa sig vara rättfärdigade på grund av miljökrav, kontraktsfrågor eller valda metoder. Det betyder att det lastbärande systemet för konstruktionen i fråga inte kan bestämmas fullt ut före sista förstärkningen är installerad (Stille et al., 2003). Det betyder att olika stadier i dimensioneringen passeras beroende på hur mycket information som inkommit. Vilket i sin tur ofta beror på var i projekteringsskedet, eller byggprocessen, som projektet befinner sig. Enligt Banverkets (2009) handbok för projektering av bergkonstruktioner kan detta delas in några faser. Dessa är översiktlig bedömning, fördjupad bedömning, preliminär dimensionering, detaljerad dimensionering och uppföljning och kontroll. Därefter följer förvaltningsskedets tillståndsbedömningar och kompletteringar på anläggningen.

Trafikverkets (2011) Tunnel 11, tekniska krav och råd, beskriver krav på bergkonstruktioner och ger råd om hur utformningen bör ske. Avgränsningarna till det här examensarbetet gör att stora delar av Tunnel 11 inte behöver tas i beaktande. De delarna som är aktuella är de som behandlar tunnelns bärande system och inläckage av vatten med frostsäkring.

Det bärande systemet består av bergmassan tillsammans med förstärkningssystemet som installeras. Utformningen av dessa beror på en mängd olika faktorer där de viktigaste är, konstruktionens användningsområde, geometri, bergmassans egenskaper, deformationer, beständighet mm. Förhindrande av inläckande vatten och frostsäkring utförs med

hjälp av injektering och dränering. För att dimensionera dräneringen och utvärdera behovet av injektering behöver vattnets förekomst och tryck vara känt tillsammans med många geologiska aspekter.

2.5.3.1 UNDERSÖKNINGAR

Det viktigaste vid utformningen av berganläggningar är information och en stor del av insamlingen av sådan sker genom geologiska undersökningar. De finns flera olika metoder för att ta reda på specifik information varför det är rekommenderat att använda en kombination av flera metoder. De metoder som syftas till är bland annat hällkarteringar, geofysiska metoder, borrhålsundersökningar, hydrogeologiska undersökningar och bergspänningsmätningar. Det som undersöks är t.ex. bergarter, spricksystem, svaghetszoner och vattenflöde. Resultatet av undersökningarna används senare för att klassificera bergmassan (Banverket, 2009). Enligt Trafikverket (2011) ska en förundersökning för berg innefatta all nödvändig information för att beskriva de geologiska, hydrogeologiska och bergmekaniska förutsättningarna. Utifrån den förundersökningen upprättas en ingenjörsgeologisk prognos. Den ska innehålla både helhetsbedömningar, delresultat och osäkerhetsbedömningar av dessa.

2.5.3.2 DET BÄRANDE HUVUDSYSTEMET

Baserat på den klassificerade bergmassan kan förstärkningsbehovet utvärderas och dimensioneras. Enligt Banverkets handbok för projektering av bergtunnlar (2009) bör en process för dimensionering av det bärande systemet börja med en identifiering av möjliga brottmekanismer. Därefter används empiriska-, analytiska- eller numeriska metoder, eller en kombination av dessa, till att ta fram ett preliminärt förstärkningsförslag. Om det föreligger sådana förutsättningar att förstärkningsförslaget behöver utvärderas ytterligare t.ex. vid stor spännvidd, görs det analytiskt eller numeriskt och iterativt till förstärkningen kan godtas.

2.5.3.3 VATTENHANTERING

Hanteringen av vatten i bergkonstruktioner är väldigt viktig i flera olika avseenden, framförallt i Sverige. I väg och järnvägstunnlar kan isbildning bli ett stort problem ur säkerhetssynpunkt och på grund av vårt klimat är det inte ovanligt med sådana temperaturer. Därför måste system för hantering av vatten projekteras och det görs med bakgrund mot de hydrologiska undersökningarna. Systemet kan bestå av olika kombinationer av injektering, dräner och inklädnadsvalv (Trafikverket, 2011).

2.5.4 DET TIDIGA SKEDET

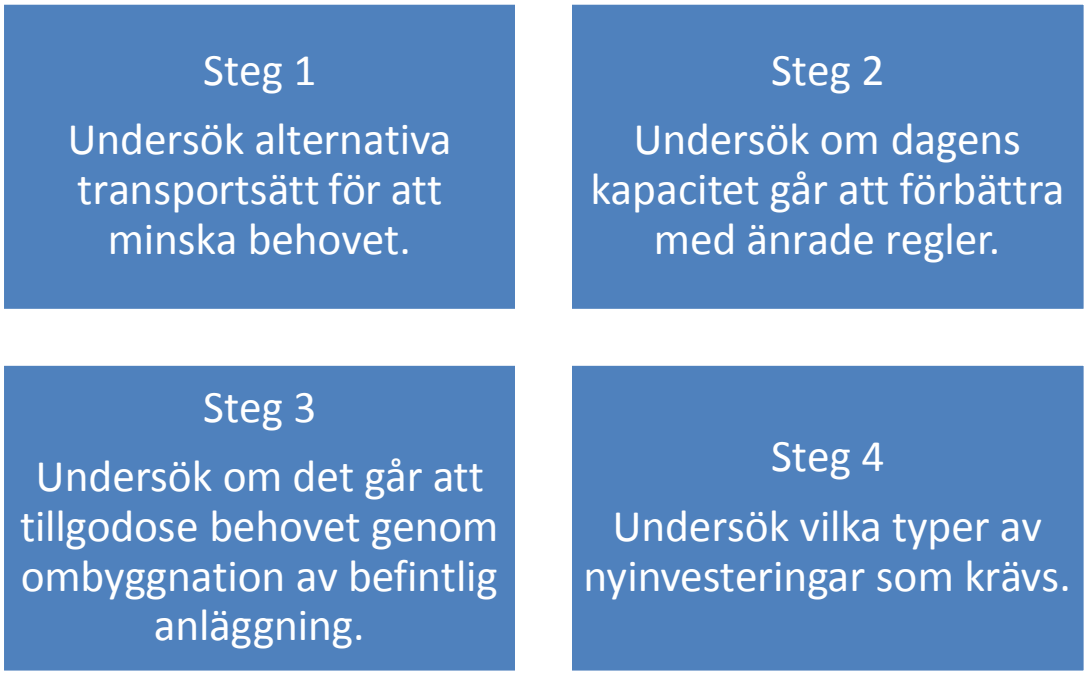
Med det tidiga skedet menas generellt den fasen som mynnar ut i en programhandling och består av utredningsarbete och programskede. Programhandlingen redovisar resultaten av de olika utredningar som gjorts, förutsättningar, funktioner, miljökrav etc. (Nordstrand, 2008). Ottosson (2009) beskriver samma arbete i det tidiga skedet som idéskedet och förstudieskedet. Sriprasert och Dawood (2003) identifierar brister i informationsflödet som en av de största begränsningarna till ett lyckat projekt ur planeringssynpunkt och en av de största orsakerna till risker och osäkerheter. Ju tidigare i projektet som informationsflödet säkerställs desto större är chanserna att minimera brister.

Lundman (2011) visar att kostnaden för infrastrukturanläggningar byggda under jord ökar mest i tidiga skedet. Konsekvenser av detta kan bli olämpliga val av projekt, brist på finansiering i slutet på projektet, begränsade undersökningar och val av aktörer.

Den största möjligheten till att påverka ett projekts utgång är i det tidiga skedet men ironiskt nog är det även det skede där det finns minst underlag. Bristen på information i det avseendet gör gällande att de största riskerna också finns i det tidiga skedet av projektet (Lundman, 2011).

2.5.4.1 IDÉSKEDET

Idéskedet börjar med en uppdragsbeskrivning där organisationens ansvar och befogenheter definieras. Med det som bakgrund tas sedan översiktliga uppgifter som beskriver projektet fram och mynnar ut i en uppdragsspecifikation. Ur den framgår behov, mål, myndighetskrav etc. (Ottoson, 2009). Banverket (2009) kallade det här skedet idéstudie och innehållet stämmer ganska väl överens med Ottossons (2009) beskrivning. Trafikverket hanterar behovet med en analys enligt sin fyrstegsprincip. Den innebär att möjligheten till att lösa problemet utvärderas i fyra steg. Det första är att undersöka om transportbehoven kan minskas på något sätt, det andra är att optimera befintliga system, det tredje är att bygga om eller bygga ut befintliga system och det fjärde, sista alternativet, är att bygga nytt. Principen illustreras i figur 8 (Trafikverket, 2013c).



Figur 8 Fyrstegsprincipen. (Trafikverket, 2013c).

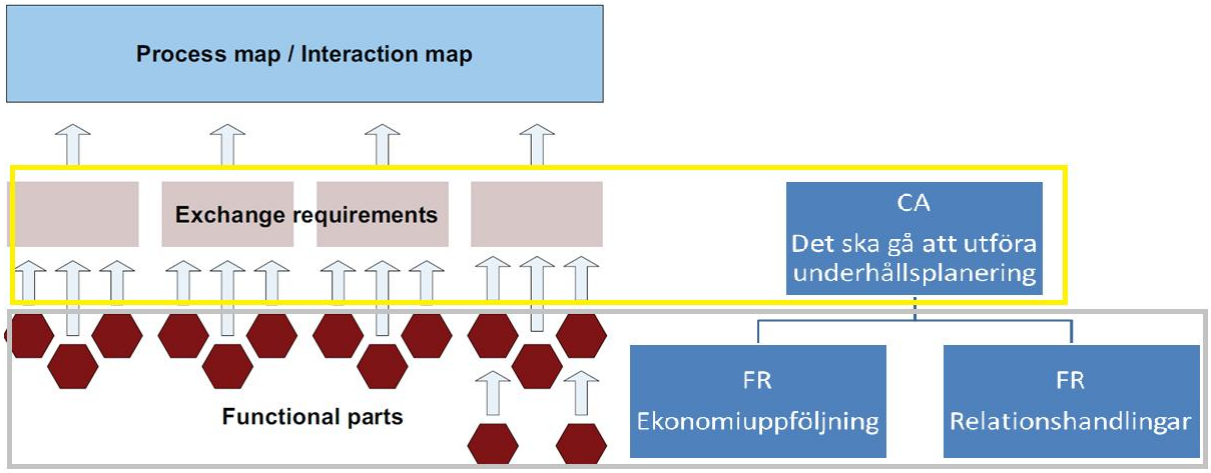
2.5.4.2 PROGRAMARBETE

Programarbetet går ut på att, via en förstudie, leverera en programhandling som innehåller funktionsprogram, byggnadsprogram och övriga projektrelevanta undersökningar som t.ex. tid och kostnad. Byggnadsprogrammet kan innehålla gestaltning och liknande medan funktionsprogrammet kan innehålla miljökrav och förvaltningsriktlinjer. Med det som bakgrund bestäms bland annat entreprenadform (Ottosson, 2009). Förutom det som nämns ovan så regleras infrastrukturprojekt även av lagstiftning, miljöbalken, lag om byggande av järnväg etc.

2.6 TEORETISK MODELL

Figur 1 i avsnitt 2.3.1 beskriver sammansättningen av en IDM. Beståndsdelarna i en IDM, exchange requirements, functional parts och process map/interaction map, måste beskrivas på ett mer tillämpbart sätt för att kunna implementera det. I avsnitt 1.5 beskrivs författarens bakgrund och angreppssätt till virtuellt byggande. I och med att en IDM betraktas som en levererbar produkt, kan axiomatisk design användas i dess framtagning. Exchange requirements beskrivs av Svensk standard (2013) som en mängd information som behöver utbytas för att stödja ett visst affärssyfte vid en viss tid i prcoessen. Enligt axiomatisk design (Suh, 2001) är kundönskemål, CA, definierade som behov eller egenskaper som kunden letar efter i en produkt, process eller system. Informationsutbytet som behövs för att uppfylla exchange requirements går därmed att likställa vid kundönskemål enligt axiomatisk design. Den hierarkiska nedbrytningen från kund-

önskemål till funktionskrav representerar sen beskrivningen av exchange requirements och dess uppbyggnad av functional parts. Konkret betyder det att exchange requirements beskrivs som kundönskemål och deras functional parts som funktionskrav. I figur 9 beskrivs den teoretiska modellen grafiskt.



Figur 9 Teoretisk modell.

Dessa kundönskemål, CA, kopplas sedan mot en processkarta med bakgrund i processen som beskrivs i avsnitt 2.5 och illustreras i figur 3. Med denna teoretiska modell som bakgrund kan en existerande och standardiserad struktur, IDM, anpassas för att beskriva behovet av informationsutbyte i ett berganläggningsprojekt samt vilka krav som ställs på informationsmodeller.

3 METOD

Enligt Nawari (2012) bör utformandet av en IDM börja med att fastslå de funktionella kraven på informationsutbytet genom att beskriva arbetsflödet i byggprocessen. Det förfarandet rekommenderas även i en BIM-manual som ger rådet ”*begin with the end in mind*” (The Computer Integrated Construction Research Program, 2010).

Med den bakgrunden genomfördes därför en kvalitativ studie. Intervjuerna genomfördes från ett generellt projekts slutskede och gick mot dess uppståndelse. Utgångspunkten var att bryta isär byggprocessen och definiera kraven på modellen utifrån de som ska använda den i den delprocessen. Det slutliga resultatet förenklades och representerades grafiskt för att ge en överkomlig överblick över funktionskrav, aktörer och process. Resultatet blev en generell modell av en IDM för ett berganläggningsprojekt, eller en referens-IDM. I detta kapitel beskrivs utförligare hur det genomfördes.

3.1 LITTERATURSTUDIE

Till att börja med undersöktes det vilka typer av standardiserat, virtuellt byggande det finns. Den svenska byggprocessen för berganläggningsprojekt definierades, metod till en kvalitativ studie samt utformning av produkter undersöktes. Därefter har mindre studier om de aktuella delprocesserna genomförts för att få underlag till den kvalitativa studien. Resultatet av denna är redovisat under kapitel 2.

3.2 KVALITATIV STUDIE

Den kvalitativa studien genomfördes ”baklänges” genom byggprocessen för att på ett enklare sätt kartlägga vem kraven ”hamnar” på. Som exempel kan ett krav från förvaltaren hamna på entreprenören som i sin tur får ett följdkrav på projekteringen.

Jan Trost (2010) beskriver olika typer av kvalitativa studier och processer. Exempelvis så diskuteras huruvida en studie har en hög grad av struktur eller inte beroende på om frågarna är standardiserade, svaren strukturerade (svarsalternativ) och anledningen till studien tydligt definierad. Den här studien var strukturerad, i den meningen, till stor del på grund av att bakgrunden och syftet till den var väl definierat. Dock var inte frågor och svar strukturerade.

Författaren kommer använda sig av intervjuguider. Det innebär att intervjuaren inte ska använda sig av färdigt formulerade frågor utan istället ha en lista över frågeområden.

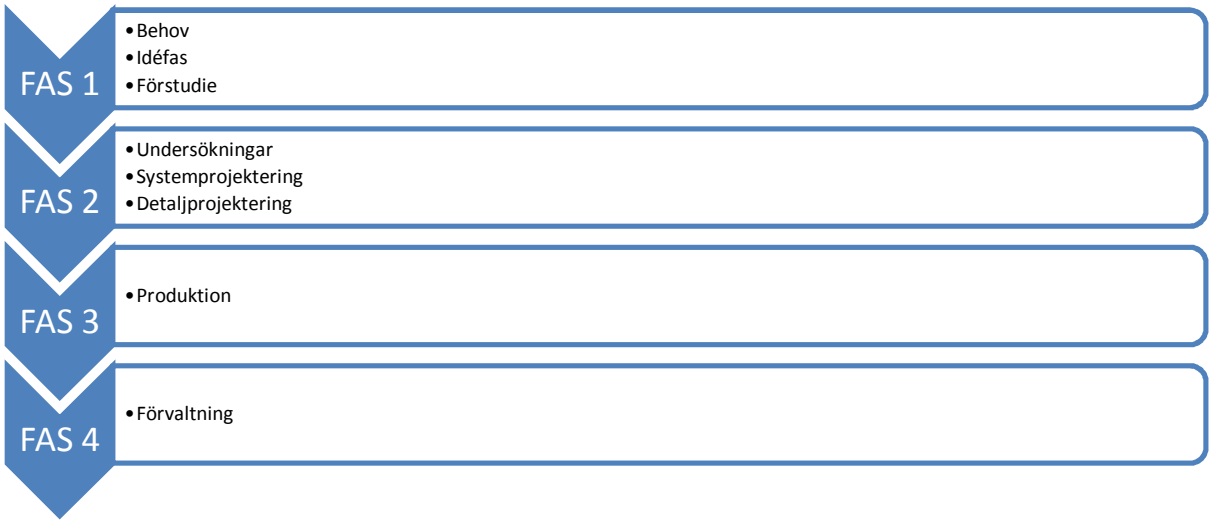
Detta för att låta den intervjuade styra ordningsföljden och sedan ställa följdfrågor för att utveckla samtalet på de områden intervjuaren finner intressanta.

Eftersom denna studie kommer bestå av få aktörer från flera faser i byggprocessen så behöver olika intervjuguider användas. Intervjuerna spelas in och transkriberas sedan innan de sammanfattas och analyseras. Widerberg (2002) visar ett exempel på en kvalitativ studie. I den studien grundade de intervjuguiden på en analysskiss som består av samlad teoretisk och empirisk litteratur, annan forskning och personliga erfarenheter inom fältet. Detta för att belysa de områden som är intressanta för studien.

Först kommer en uppdelning av byggprocessen att göras. Målet med denna uppdelning är att tydliggöra vilka delar av processen som den kvalitativa studien syftar till och avgränsa den. Alltså avgränsningar för den kvalitativa studien så den inte blir för omfattande. Med axiomatisk designteori som bakgrund kommer kundönskemål brytas ner i funktionskrav. Några kundönskemål kan vara metoder till att utföra planering runt organisation, produktion eller process, visualisering av och samgranskning. Analysen kommer på detta sätt vara förberedd för ett fortsatt arbete där lösningar och utformningar för funktionskraven kan ligga i fokus. I en studie som den här betyder det att de funktionskrav som definieras i de sena faserna följer med till tidigare faser.

3.2.1 UPPDELNING AV BYGGPROCESSEN

För att kunna intervjua personer och tillverka intervjuguider med klara ramar gjordes en uppdelning av byggprocessen för underjordsprojekt. Figur 10 visar nedan hur den uppdelningen ser ut.



Figur 10 Uppdelning av byggprocessen för ett berganläggningsprojekt

Uppdelningen gjordes på det sättet för att det förväntades att de personer som skulle intervjuas var aktiva i processen på det sättet. Det bygger på Nordstrands (2008) uppdelning om beslut, produktbestämning, produktframtagning och användning. För att tydliggöra så genomfördes intervjuerna med start i Fas 4. Det betyder att den kronologiska uppdelningen av byggprocessen utgår från i vilken ordning ett projekt genomförs. Inte i vilken ordning intervjuerna genomförts. Kortfattat kan innehållet i Fas 1 beskrivas som det tidiga skedet, Fas 2 som projektering, Fas 3 som produktion och Fas 4 som förvaltning

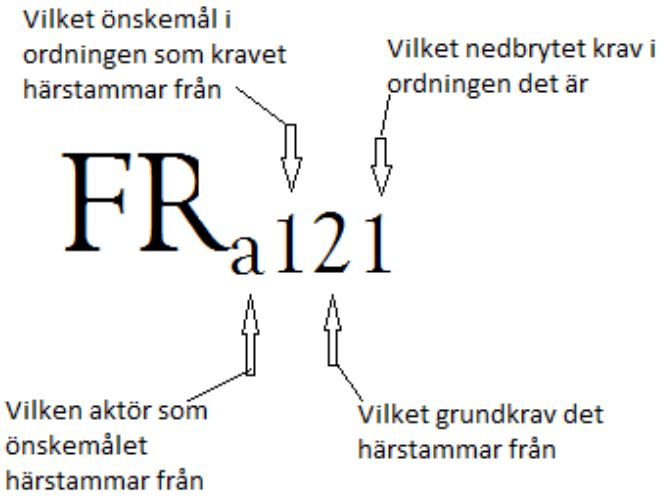
3.2.2 UNDERLAG TILL KVALITATIV STUDIE

I det här fallet fanns inget förprojekt av den storlek som det fanns i Widerbergs (2002) fall (se del 3.2). Därför baserades intervjuguiderna på den teori som presenterades i del 2.5 samt det som presenteras i det här kapitlet. Syftet med den kvalitativa studien var att spåra informationsflödet genom ett berganläggningsprojekt. På förhand kan det vara svårt att sortera ut information som bra, dålig eller relevant eftersom en del saker är intressanta medan andra inte är det. Det är inte intressant att veta vilka dräner i vilka tunnlar som behöver mest underhåll. Däremot är det intressant att veta hur de vet vilka som behöver mest underhåll. Trost (2010) varnar för att ha för snävt begränsade intervjuguider. Med för snävt menas att de inte ska ringa in området för tydligt och därför bli för omfattande. En för omfattande intervjuguide kan leda till kortfattade svar och en situation där den intervjuade känner sig förhörd. Rekommendationen i samma bok är att ha en intervjuguide med några stolpar som tar upp stora delområden och lära sig den utantill. De intervjuguiderna som använts finns bilagda (bilaga A) och förutom teorin i 2.5 tas det även med resultat från de tidigare utförda intervjuerna.

3.2.3 TRANSKRIBERING

Intervjuerna spelas in och renskrivs sedan. Upprepningar, stamningar och omformuleringar lämnas utanför. De renskrivna intervjuerna används sedan som underlag för att identifiera kundönskemål och bryta ner dem till funktionskrav.

För att kunna hålla reda på funktionskrav och önskemål behövs ett system för namngivning av dem liknande det som beskrivs av Jansson et al. (2013). Kundönskemål är som tidigare CA och funktionskrav FR. Därefter följer en indexering av varje krav efter på förhand bestämda strukturer där kravet, eller önskemålets, ursprung går att utröna. Figur 11 visar en grundläggande förklaring.

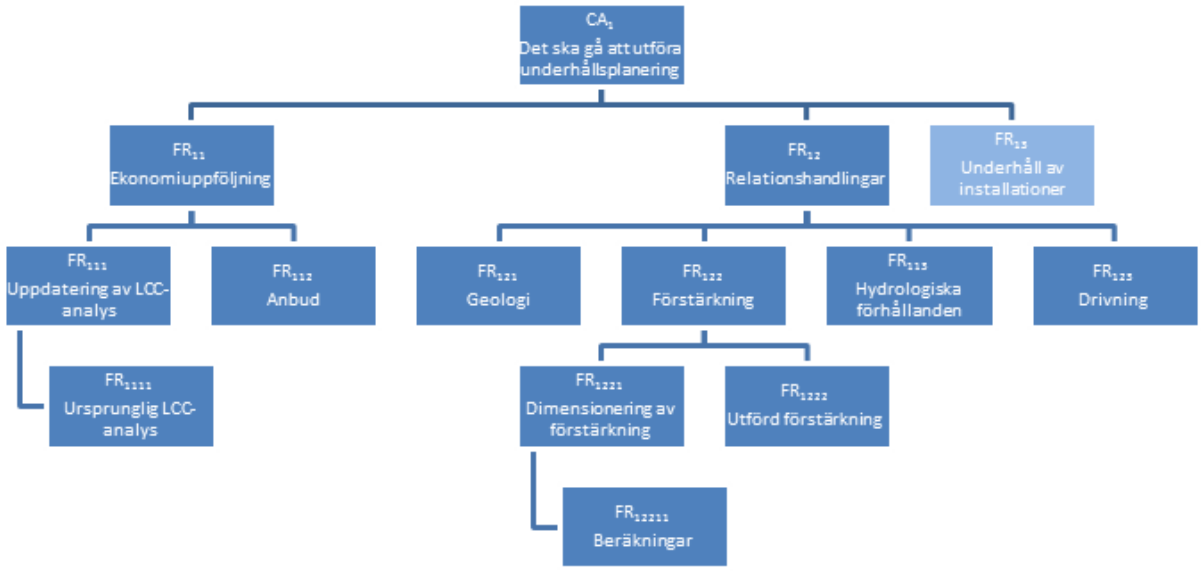


Figur 11 Förklaring till indexeringssystem.

Varje önskemål, CA, indexeras med en liten bokstav som berättar från vilken aktör de kommer. Eftersom flera aktörer har aktiviteter i mer än en delprocess, eller faser, så indexeras kraven och önskemålen med en bokstav som först i följden. Detta för att veta vilken aktör som ”äger” önskemålet eller kravet. Då intervjuordningen var från förvaltare till beställare har indexeringen gjorts på det sättet, a betyder förvaltare, b betyder entreprenör, c betyder projektör och d betyder beställare.

3.3 NEDBRYTNING AV KUNDÖNSKEMÅL

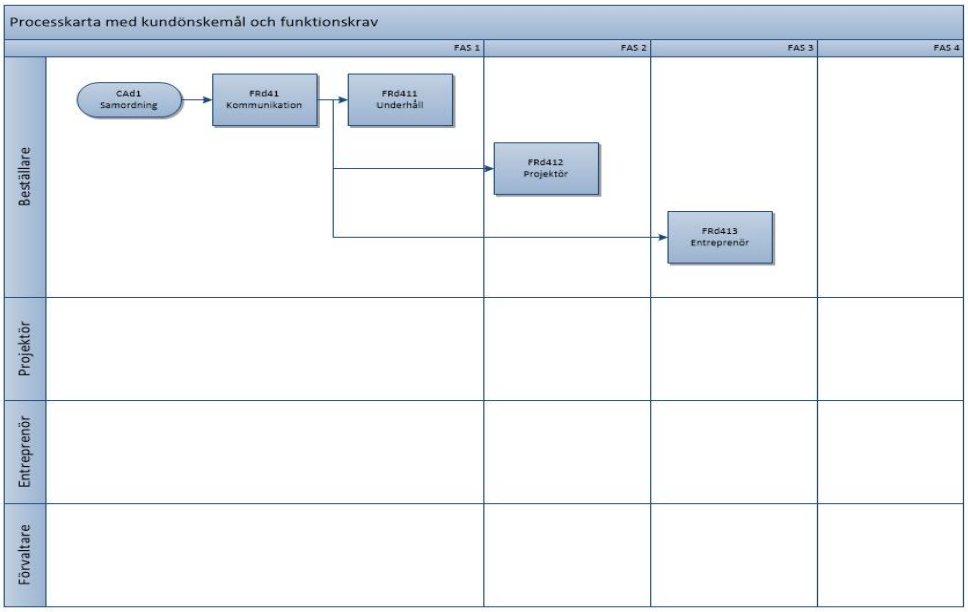
En struktur görs för varje fas där identifierade kundönskemål, eller användarbehov, bryts ner i funktionskrav. De funktionskrav som identifieras tas sedan med till nästa aktör i processen. De delar som inte tas hänsyn till på grund av avgränsningar tydliggörs genom att de har en ljusare färg. Alla önskemål, med tillhörande funktionskrav, slås sedan ihop för att illustrera funktionskravens uppkomst över tid och informationsutbytets utveckling i ett projekt. Figur 12 nedan visar hur de kundönskemål eller behov som identifierats bryts ner i en trädstruktur.



Figur 12 Skiss över metod att bryta ner kundönskemål till funktionskrav.

3.4 PROCESSKARTA

När den nedbrytningsprocessen är färdig kartläggs funktionskrav mot delprocess. Det innebär att kraven placeras på en ruta som motsvarar aktör och fas i processen. Pilar kopplar de nedbrutna kraven med deras överordnade krav och önskemål för att kunna spåra dem översiktligt. En principskiss visas i Figur 13.



Figur 13 Principskiss av processkarta

3.5 METODANALYS

Att förhålla sig till examensarbetet på ett induktivt sätt var fördelaktigt då ämnet som behandlas är relativt outvecklat inom fältet. Ett induktivt förhållningssätt stämmer även bra med Suhs (2001) tankar om lösningsneutralitet vid identifiering av kundönskemål Vilket är bra för analysen av den kvalitativa studien. På grund av att processen som studeras är så pass stor, både tidsmässigt men även informationsmässigt, så kan den kvalitativa studiens validitet ifrågasättas. Det vill säga om den mäter det som tanken är att den ska mäta. Nio respondenter intervjuades och varje delprocess hade minst två respondenter. Då gick det att jämföra de båda respondenternas beskrivning av fasen och se hur väl det stämde överens. De ställen där de tog upp olika saker var oftast när det handlade om förbättringar av processen. De sakerna var sällan intressanta, i det här fallet, eftersom de oftast hamnar under designparametrar, DP´s, i axiomatisk design, alltså lösningar och inte behov. Slutligen bör det även beaktas om intervjuaren har påverkat respondenterna. Detta är möjligt men med intervjuguiderna som grund och med den generalitet som delprocesserna betraktas, anses det vara tillförlitligt.

4 RESULTAT

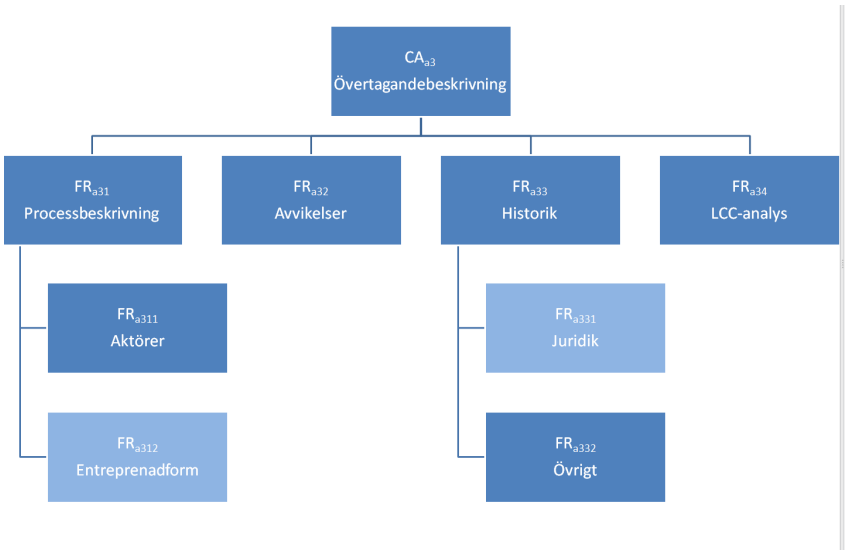
Arbetet i det här examensarbetet handlar till stor del om att identifiera vilka delar i ett berganläggningsprojekt som ska representeras i en IDM enligt figur 10 i avsnitt 2.6. Processkartan i sig är redan väl definierad från avsnitt 3.4 men det som ska projiceras på den är inte lika väl definierat. Den kvalitativa studien ligger till grund för de olika exchange requirement models som enligt avsnitt 2.3.1 består av exchange requirements och functional parts. Dessa i sin tur har beskrivits som kundönskemål, CA, och funktionskrav, FR, och illustrerats i hierarkier, eller trädstrukturer.

4.1 RESULTAT FRÅN DEN KVALITATIVA STUDIEN

Under detta avsnitt redovisas resultatet från sammanfattningen och kategoriseringen av den kvalitativa studien, de kundönskemål som identifierats tillsammans med deras underordnade funktionskrav. Alla trädstrukturer är bilagda i bilaga B.

4.2 FAS 4 – FÖRVALTNING

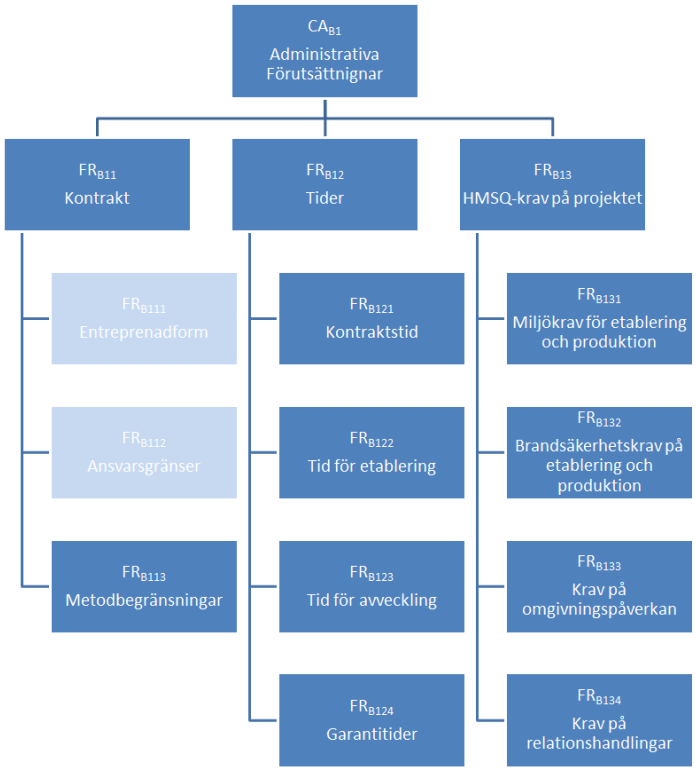
I förvaltningsskedet identifierades det fem separata önskemål som bröts ner. Underhållsplanering, utförande av underhåll, övertagandebeskrivning, uppdateringar och användarvänlig mjukvara. Önskemål från förvaltningsfasen har index a, de krav som faller utanför avgränsningarna är ljusblå. I figur 14 nedan visas önskemål 3, CA_{a3}, som exempel. Där syns hur ett informationsutbyte byggs upp av dokumentering och tidigare arbetet i projektet.



Figur 14 Trädstruktur för kundönskemål 3 i förvaltningsskedet. Övertagandebeskrivning.

4.3 FAS 3 – PRODUKTION

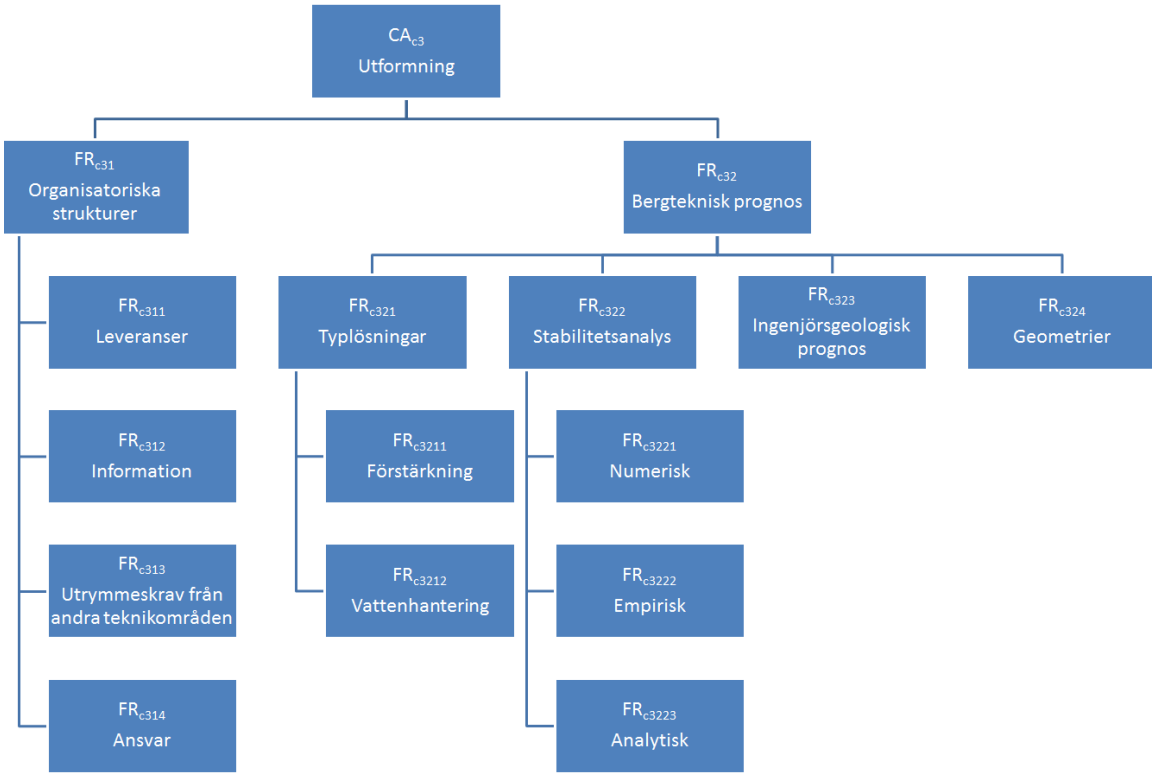
Under intervjuerna i produktionsskedet identifierades sex stycken kundönskemål. Administrativa förutsättningar, tekniska förutsättningar, visualisering, informationsåterföring, produktion och användarvänlig mjukvara. Önskemål från produktionsfasen har index b. De krav som faller utanför avgränsningarna är ljusblå. Figur 15 visar CA_{b1} som exempel på en trädstruktur från produktionsfasen. Informationsutbytet som är de administrativa förutsättningarna byggs upp av vilket ansvar och vilka förväntningar som läggs på entreprenören.



Figur 15Trädstruktur för kundönskemål 1 i produktionsskedet. Administrativa förutsättningar.

4.4 FAS 2 – PROJEKTERING

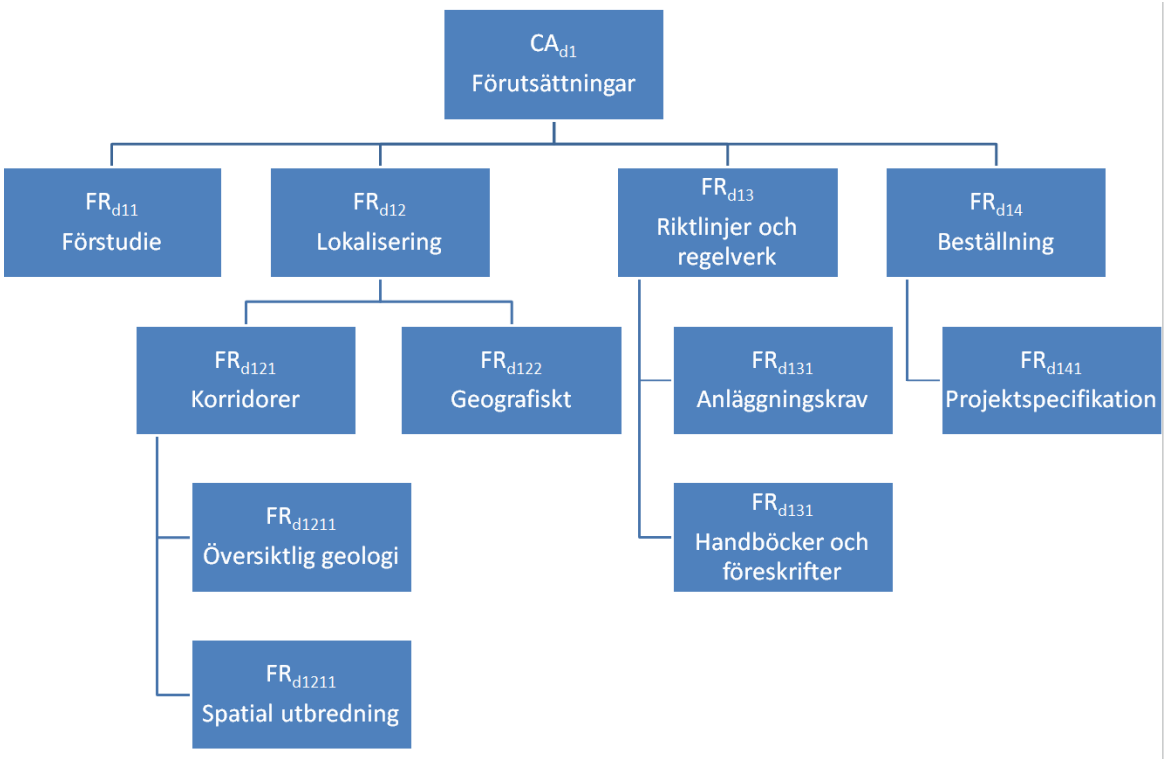
Av intervjuerna i fas 2 identifierades sex kundönskemål, Plats- och omgivningsbeskrivning, uppdragsbeskrivning, samordning, utformning, uppföljning och leverans och användarvänlig mjukvara. Önskemål från projekteringsfasen har index c. De krav som hamnar utanför avgränsningarna är ljusblå. Ett exempel från projekteringsfasen är CA_{c3}, Utformning, som visas i figur 16. Där syns hur informationsutbytet runt processen utformning beskrivs med hjälp av underordnade informationsutbyten, organisatoriska strukturer (FR_{c31}),



Figur 16Trädstruktur för kundönskemål 3 i projekteringsskedet. Utformning.

4.5 FAS 1 – DET TIDIGA SKEDET

I det tidiga skedet identifierades fyra kundönskemål. Önskemål från det tidiga skedet har index d. De fyra kundönskemålen är förutsättningar, samordning, utförande och dokumentation. Figur 17 nedan visar CA_{d1} som är informationsutbytet förutsättningar i det tidiga skedet. Under det utbytet samlas de olika utredningar som ligger till grund för beslutet och ger ramar för projektets genomförande.



Figur 17 Trädstruktur för kundönskemål 1 i det tidiga skedet. Förutsättningar

4.6 REFERENS-IDM

Processkartan från avsnitt 3.4 som redovisar alla trädstrukturer blir det formatet som en IDM presenteras i. Den horisontella axeln representerar tiden. I det här fallet finns bara fyra tidsenheter, fas 1-4, men i ett specifikt projekt bör denna representera datum. Den vertikala axeln representerar aktörer i byggprocessen och vem som ansvarar för informationsutbytet. Resultatet blir den struktur som redovisas nedan.

Information Delivery Manual - Referens

FAS 1 – En idé växer

Beställare

- Ekn5 Förstudierapport
- Ekn6 Idéskiss
- Ekn7 Idéförslag
- Ekn8 Idéförslag
- Ekn9 Idéförslag
- Ekn10 Idéförslag
- Ekn11 Idéförslag
- Ekn12 Idéförslag
- Ekn13 Idéförslag
- Ekn14 Idéförslag
- Ekn15 Idéförslag
- Ekn16 Idéförslag
- Ekn17 Idéförslag
- Ekn18 Idéförslag
- Ekn19 Idéförslag
-

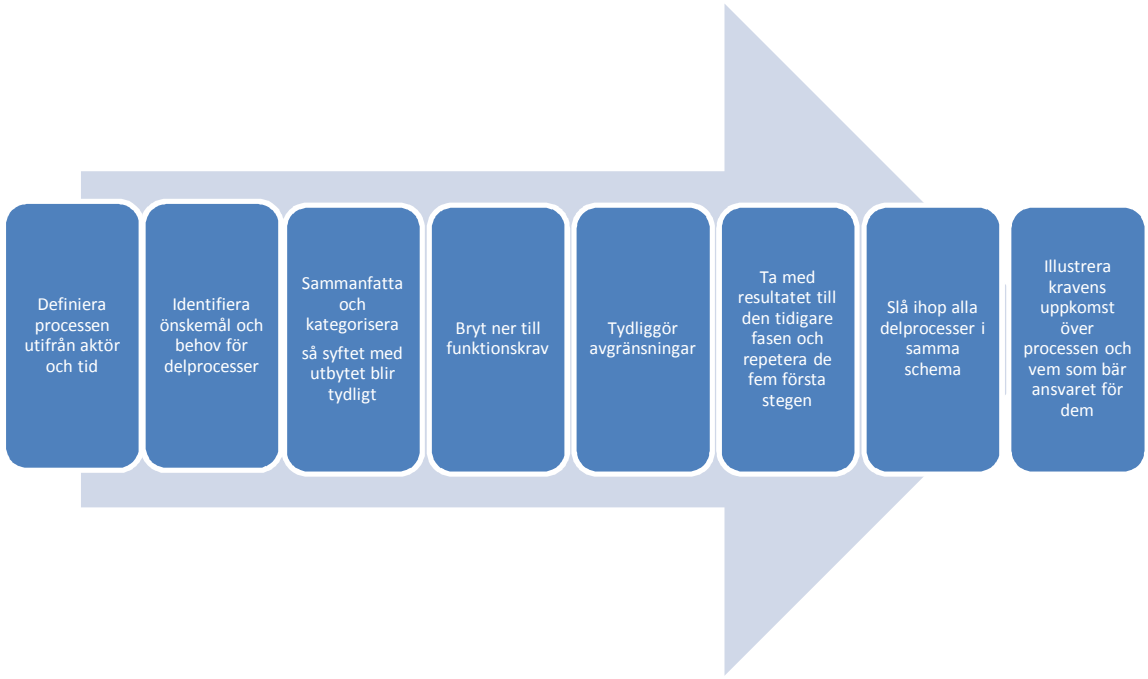
5 ANALYS

Nawari (2012) resonerar att byggprocessens samtliga intressenter måste samarbeta för att virtuellt byggande ska kunna användas i sin fulla potential. Den slutliga domen om virtuellt byggande har lyckats uppfylla den industrialisering som branschen är ute efter beror på förmågan att fånga upp all relevant data som behöver utbytas. För att kunna göra det måste informationsflödet genom processen beskrivas mot tiden.

En IDM är en struktur för informationshantering och ett bra verktyg för att fånga upp den information som projektet behöver. Det illustreras bra genom FR_{c14} i referens-IDM:en ovan. Det är ett funktionskrav som skapas innan önskemålet om det uppstår. Därmed är det en bra utgångspunkt att skapa projektspecifika IDM:er som teoretiskt beskriver hur information ska hanteras. Den praktiska hanteringen av informationen bör sedan lösas genom att skapa en MVD som gäller genom hela projektet.

5.1 DEN STANDARDISERADE STRUKTUREN IDM GENOM AXIOMATISK DESIGN

Att implementera den standardiserade strukturen IDM på berganläggningsprojekt genom axiomatisk design är fullt möjligt. Dock bör det göras projektspecifika IDM:er eftersom varje projekt är unikt på olika sätt. I den referens-IDM som presenteras i avsnitt 4.2 beskrivs inte ansvaret för informationsutbytet. Detta bör illustreras annars finns risken att ingen eller flera tycker sig ansvara för det. Processen som använts i det här arbetet och som rekommenderas för att göra projektspecifika IDM:er med hjälp av axiomatisk design beskrivs i figur 18. I referens-IDM:en gjordes första steget genom att bryta isär byggprocessen till hanterbara faser och aktörer, projektets tidplan blir underlag i den projektspecifika. Det andra steget representerar analysen av den kvalitativa studien, erfarenhet från de som skapar IDM:en ligger till grund för den projektspecifika. Kategorisering och uppdelning av önskemål och behov blir steg tre. Steg fyra är att dela upp behoven och önskemålen i hanterbara delar av information, funktionskrav. Att identifiera och visa IDM:ens systemgränser blir steg fem. Alltså var börjar och slutar den. Steg sex är att göra om alla de tidigare stegen men i en annan delprocess. Steg sju är att slå ihop alla delprocesser till en och steg åtta är att fördela ansvar för, och tidssätta, funktionskrav i processen.



Figur 18 Process för framtagning av en projektspecifik IDM

Lämpligtvis används en referens-IDM av något slag för att skapa den projektspecifika IDM:en. Referensen används för att underlätta uppdelning av process, belysa intressanta delar och exemplifiera slutprodukten. På så sätt kan tiden som behövs för att skapa en projektspecifik IDM-struktur förkortas.

Den projektspecifika IDM:en bör inte vara stängd efter projektet startat utan kontinuerligt uppdateras. Den bör uppdateras både med kommande informationsutbyten som inte identifierats tidigare men även med informationsutbyten som redan hänt men inte tagits upp i IDM:en. När projektet sedan är färdigt ska den då projektspecifika IDM:en användas som referens till ett annat likartat projekt. Här är det dock viktigt att ha med sig det Suh (2001) föreslog om lösningsneutral miljö. Med det sagt bör de IDM:er som används som referenser inte ha specificerade lösningar i sig. Det hanteras istället i projektspecifika MVD:er.

5.1.1 KATEGORISERING AV KRAV OCH ÖNSKEMÅL

Vissa identifierade önskemål hade flera syften och en del var tydligt definierade som krav redan innan önskemålet hade bestämts. Därför dyker flera funktionskrav upp på flera ställen. Det kan vara väldigt svårt att hålla isär funktionskrav, FR's, och designparametrar, DP's, och gränsen mellan dem är lite flytande. Är till exempel en 4D-simulering ett funktionskrav under önskemålet produktion eller är det en designparameter under funktionskravet produktion? Det är frågor som måste besvaras innan arbetet med en projektspecifik IDM påbörjas.

5.1.2 KRITISKA FUNKTIONSKRAV

Flera funktionskrav återkommer under olika önskemål, se avsnitt 5.1.1. Ett funktionskrav som återkommer många gånger är den ingenjörsgeologiska prognosen, FR_{d331}, FR_{c524}, FR_{c413}, FR_{c323}, $FR_{c121,}$ förutom det finns andra funktionskrav som är närbesläktade med den ingenjörsgeologiska prognosen. Det betyder att mycket av ett projekts information baseras på just den ingenjörsgeologiska prognosen vilket i sin tur gör den, och en del andra FR's, till kritiska funktionskrav att hantera.

5.1.3 GENERELLA KRAV PÅ INFORMATIONSMODELLER

Analysen av den kvalitativa studien visar att de tre tidiga aktörerna, beställare, projektör och entreprenör vill ha tydliga förutsättningar när det går in i ett projekt. För de två senare är parallellen till tydliga förfrågningsunderlag med klara ramar tydlig. På samma sätt är även önskemål om, uppdateringsbar mjukvara, spårbarhet, kommunikation, visualisering och dokumentation likartade genom hela processen.

6 DISKUSSION

Mycket av arbetet med virtuellt byggande utgår från projektet och definierar processen efter det. Virtuellt byggande har potential till att vara så mycket mer än bara en metod för byggstyrning. Om målet är att använda förvaltningsmodellen lika länge som anläggningen eller byggnaden står kvar så måste den beskriva byggnaden från ett neutralt perspektiv. Därför kan den referensprocess som ligger till grund för modellen inte vara definierad utifrån en process specificerad från EN aktörs perspektiv. Processen måste vara övergripande, börja vid första idén och sluta vid rivning eller demontering, om vi ska kunna tillgodoräkna oss den fulla potentialen av virtuellt byggande. Med det vill jag säga att det är få standarder, rapporter eller artiklar som diskuterar informationsmodeller som speglingar av produkten. Alltså byggnaden eller anläggningen. IDM:er som de definieras av både svensk standard och buildingSMART är metoder för projektstyrning och kan därför behöva en anpassning för att på riktigt kunna göra det som målet är. Man bör därför beakta att definiera virtuellt byggande som både ett verktyg för byggstyrning men även som tillverkningsprocess av förvaltningsmodellen.

Den informationsbaserade metodik som används vid planeringen och byggnationen av berganläggningar gynnas av tydliga strukturer i hanterandet av denna information. Förutom att planerandet och byggandet gynnas av en IDM så tror jag att det är viktigt för branschen i helhet. Arkiveringen och uppdateringen av dessa förvaltningsmodeller skulle kunna leda till uppsjöar av data för empirisk forskning i framtiden. En generell slutsats som kan dras efter intervjuerna är att alla aktörer är överens att modellerna måste vara möjliga att uppdatera och spårbara. Samtidigt som de måste gå att uppdatera så får ingen information försvinna, det vill säga ersättas. I förlängningen ställer det höga krav på både mjukvara och hårdvara då modellerna bara kommer öka i storlek och mängd under sin livslängd.

Ett till mönster är att alla aktörer utom Beställaren i det tidiga skedet ställde krav på mjukvarans användarbarhet. Detta är inte nödvändigtvis någonting som bör tas upp i en IDM utan snarare i det efterföljande steget av att skapa ett mjukvarupaket, MVD, som kan hantera informationen i IDM:en. Ur produktdesignsynpunkt är dock den informationen väldigt viktig. Både för att kunna erbjuda anpassade lösningar men även för att säkerställa att informationen kan hanteras på bra sätt.

Gällande avgränsningarna som är gjorda så finns det vissa som är av stor betydelse för IDM:en. Entreprenad- och avtalsformer kan ha stor påverkan på vilken information som

behövs. Alla aktörer utom Beställaren i det tidiga skedet hade på något sätt önskemål om att tydliggöra entreprenadform och vem som var ansvarig för vilken information i projektet. Visserligen var förvaltarens önskemål begränsat till en projektbeskrivning men de ville ingalunda ha den informationen. Även anläggningens syfte kan spela en väldigt stor roll i vilken information som behövs. Den uppdelningen av byggprocessen som gjorts i detta examensarbete kan visa sig vara alldeles för grov. En stor aktör som inte tas i beaktning i detta fall är leverantörer av material och, framförallt, maskiner. I en del fall är leverantörerna större än alla de övriga aktörerna och därmed har även de mycket att säga till om teknikutveckling i branschen. Det syns i flera av funktionskraven att informationsutbyten med maskiner är viktigt. Det hade även varit bra att göra intervjuer med ett ännu tidigare skede för att ta reda på hur de jobbade och se om de kan integrera ett virtuellt byggande redan i den processen.

De funktionskrav som identifieras i det tidiga skedet är någonting som beställare kan använda för analys av interna informationsleveranser. Någon levererar alltid den första informationen och en analys av vad som behövs gör det möjligt att även optimera den med en MVD. Det leder till en leveransstandard som kan göra det möjligt att ge projektorganisationen en projektbeskrivning som till viss del redan är redo att utökas och användas. Exempelvis en VR-modell.

7 SLUTSATSER

Förutsättningen för att virtuellt byggande ska kunna industrialisera branschen är att metoder för informationsdelning är systematiserade (Nawari, 2012). Det innebär klara strukturer för hur information ska hanteras, inte bara när den delas utan även hur den uppstår och i vilket syfte den delas. Virtuellt byggande är ett verktyg för att lösa det problem som byggprocessen beskriver. Från idé till färdig produkt och i detta fall även användningen. För att få den optimala lösningen måste problemet först definieras. Om det inte görs så anpassas istället problemet efter verktyget och det blir följaktligen en suboptimering. IDM är en struktur som har bra förutsättningar att beskriva problemet så noggrant som möjligt.

7.1 REFERENS-IDM SOM STRUKTUR FÖR INFORMATIONSHANTERING

IDM är en bra struktur för systematiserad informationshantering. En fortsatt utveckling av dess tillämpning är viktigt för effektivisering av virtuellt byggandes användning i anläggningsbranschen.

Det behöver undersökas vilka konsekvenser entreprenadformerna har på en IDM. Ansvar för information beror till stor del på vilken entreprenadform som beställaren valt och är därför i högsta grad relevant. I vilket fall bör det ges en stor plats i skapandet av en IDM. Vem som bär ansvar för ett visst informationsutbyte eller innehållet i det.

De projektspecifika IDM:er som skapas måste vara levande även om deras funktion för det specifika projektet redan är utförd. Detta för att kontinuerligt skapa bättre referenser till framtida IDM:er.

7.1.1 KATEGORISERING AV KRAV OCH ÖNSKEMÅL

Klara ramar för vad som är ett önskemål och vad som är funktionskrav måste bestämmas för att kategoriseringen ska gå att göra effektivt. Det i sin tur betyder även att hur informationsbehov och informationsutbyte betraktas måste definieras tydligt innan arbetet påbörjas.

7.1.2 KRITISKA FUNKTIONSKRAV

Det är viktigt att vid utformningen av en MVD ta stor hänsyn till de kritiska funktionskraven. För dessa är det extra viktigt att hålla reda på varifrån kravet kommer, att ta med

alla önskemål som bakgrund i den fortsatta designen. Annars finns det en överhängande risk att det kritiska funktionskravet suboptimeras ur mjukvarulösning. Med det menas att ett syfte kan glömmas bort under skapandet av MVD:n och därmed begränsas användningen av den.

7.1.3 KRAV PÅ INFORMATIONSMODELLER I BERGANLÄGGNIGNSPROJEKT

Att börja leverera förfrågningsunderlag som färdiga modeller eller i alla fall som integrerbara delar till modeller är någonting som förmodligen skulle underlätta informationshanteringen mycket. Speciellt om det kan kombineras med en VR-programvara så finns det en samordningsmodell redan från första början.

Från de önskemål som liknar varandra går det dra slutsatsen att det efterfrågas tydliga kanaler och strukturer för och från samtliga aktörer. Det betyder att de inte borde betraktas som separata informationsutbyten då det är varandra de ska prata med. Önskemålen ska representeras som olika exchange requirements i en IDM men sedan när de ska beskrivas i en MVD så borde de kunna betraktas som EN informationsutbytesmodell.

7.2 FORTSATT ARBETE

Det är lämpligt att fortsätta arbetet med att skapa en Model View Defintion, MVD, för den IDM som har upprättats i detta examensarbete. Det innebär att skapa ett ”paket” av olika mjukvaror som ska uppfylla funktionskrav och möjliggöra informationsdelningen. Om det görs så är det också lämpligt att fortsätta göra det med utgångspunkt i axiomatisk design.

Det efterföljande momentet i den branschstandard som buildingSMART rekommenderar är skapandet av en MVD. Generellt finns ingen mjukvara som stödjer en hel IFC-standard. Däremot så finns flera mjukvaror som stödjer olika delmängder av IFC-standarden. Den delmängden refereras, återigen generellt, till som en ”view definition”. MVD är alltså en bestämd delmängd av IFC som ska användas för att beskriva den information som definierats i en IDM. Den ska vara konstruerad på ett sådant sätt att de som använder den kan fokusera på de delar som är relevanta för dem. Det betyder att en användare ska kunna välja att inte se de tekniska aspekterna, eller tvärtom, om personen i fråga önskar det (Svensk Standard, 2013).

Då avtalens strukturer är så pass avgörande i informationshanteringen av ett projekt bör frågan ställas om dessa strukturer är optimala. Främjar eller begränsar dagens entreprenadformer det samarbete som behövs för att strukturera informationshanteringen?

Detta måste undersökas om branschen ska kunna samarbeta i den utsträckning som krävs för att nyttja virtuellt byggande optimalt.

8 REFERENSER

Alvedahl, B. Benedik, R. Öhman, I (1985). *Underhåll av bergrum och tunnlar.* SveBeFo. Stiftelsen för bergteknisk forskning. Stockholm.

Andersson, P (2001). *Tätning och frostsäkring av tunnlar*. Avdelningen för bro och tunnel. Vägverket. Borlänge.

Ansell, A. Holmgren J. Mundt, E. Silfwerbrand, J. Stille, H. Sundquist, H (2006). *Drift, underhåll och reparation av trafiktunnlar.* ISSN 1103-4289. KTH Byggvetenskap. Kungliga Tekniska Högskolan. Stockholm.

Banverket, (2006). *Västlänken – en tågtunnel under Göteborg. Järnvägsutredning med MKB. Teknik.* BRVT 2006:03:20. Banverket västra regionen. Banverket. Göteborg.

Banverket, (2009). *Projektering av bergtunnlar – Dimensionering av det bärande huvudsystemet*. BVH 1585.36. Verksamhetssystemet. Banverket.

BIM alliance sweden (2014). *Strategi för BIM i förvaltning och projekt.* (Hämtad 7:e septmeber 2014)

BuildingSMART (2014). *Standards.* http://www.buildingsmart.org/standards (hämtad 22:a septmeber 2014)

Heiniö, M (1999). *Rock excavation handbook*. Sandvik Tamrock corp. http://www.metal.ntua.gr/uploads/3290/254/Excavation_Engineering_Handbook_Tamrock.pdf. (hämtad 3:e Oktober 2014)

Jansson, G. Schade, J. Oloffson, T (2013). *Requirements management for the design of energy efficient buildings.* Journal of information technology in construction (ITcon). Vol 18, pg.321-337, http://www.itcon.org/2013/16

Kamara, J.M. Anumba, C.J. Evbuomwan, N.F.O (1999). *Client requirements processing in construction: A new approach to using QFD.* Journal of architectural engineering vol.5 no.1.

Lindblom, U (2012). *Underhållskostnader för bergtunnlar i ett livslängdsperspektiv.* BeFo Rapport 120. ISSN 1104-1773. Stiftelsen för bergteknisk forskning. Stockholm.

Lundman, P (2011). *Cost management for underground infrastructure projects.* Luleå Tekniska Universitet. Luleå. ISSN: 1402-1544. ISBN 978-91-7439-217-3.

Nawari, O (2012). *BIM Standard in off-site construction*. Journal of architectural engineering. Vol. 18, no. 2, June 1, 2012, p 107-133. ISSN:1076-0431.

Nordstrand, U (2008). *Byggprocessen.* ISBN 978-91-47-01511-5. Liber AB. Stockholm.

Norell, M. Öhman, K (2013). *Kapacitet vid tunneldrivning*. Examensarbete. Kungliga Tekniska Högskolan. Stockholm.

Ottoson, H (2009). *När, var, hur och av vem?* ISBN 978-91-7333-344-3. Svensk byggtjänst. Stockholm

Trafikverket (2011). *Tunnel 11 – tekniska krav och råd tunnel.* Sammanfogning av trafikverkets publikationer 2011:087.

Trafikverket (2013a). *Att införa BIM på trafikverket.*
http://www.trafikverket.se/Foretag/Bygga-och-underhalla/Teknik/Att-infora-BIM-pa-Trafikverket/ (Hämtad 5:e september 2014)

Trafikverket (2013b). *Förvaltningsdata järnväg.* Handbok BVH 1584.303.

Trafikverket (2013c). *Tidiga skedet.*
http://www.trafikverket.se/Foretag/Planera-och-utreda/Samhallsplanering/Tidiga-skeden/ (Hämtad den 21:a oktober 2014)

Rautio, N (2012). *Anläggningsmodellering i AutoCAD Civil 3d.* Examensarbete. Umeå universitet. Umeå.

SOU (2012). *Vägar till förbättrad produktivitet och innovationsgrad i anläggningsbranschen.* Statens Offentliga Utredningar 2012:39. Stockholm.

Stille, H. Andersson, J. Olsson, L (2003). *Information based design in rock engineering*. SveBeFo rapport 61. Stiftelsen för bergteknisk forskning. Stockholm.

Svensk Standard, (2013a). *Manual för överföring av data, ISO 29481-1*. Swedish Standards Institute.

Svensk Standard, (2013b). *Manual för överföring av data, ISO 29481-2*. Swedish Standards Institute.

Sveriges riksdag, Akademiska hus AB, Fortifikationsverket, Statens fastighetsverk, Specialfastigheter (2014-05-23). *Strategi för BIM i förvaltning och projekt.* http://www.bimalliance.se/natverk_och_utveckling/projekt/bim_i_staten (Hämtad 26:e Januari 2015)

Suh, N.P (2001). *Axiomatic design: Advances and applications*. ISBN: 0-19-513466-4. Massachusetts Institute of Technology. Oxford University Press.

The Computer Integrated Construction Research Program (2010). *Project Execution Planning Guide, version 2.0*. The department of architectural engineering. Pennsylvania State University.

Widerberg, K (2002). *Kvalitativ forskning i praktiken*. ISBN 91-44-01828-2. Studentlitteratur. Lund.

BILAGOR

BILAGA A

Planering av tunnelunderhåll

Informationsgrunden till underhållsplaneringen

- Vad behövs?
- Vad finns?
- Behöver något ofta kompletteras?
- Uppdateras informationsgrunden tillfredsställande?
- Bör någonting göras för att få en bättre informationsbas?
- Finns det något som gör planeringen mer besvärlig än den behöver vara?

Underhållsbehovet

- På vilket sätt utvärderas underhållsbehovet?
- Finns det några problem med hur det utvärderas?
- Hur planeras utförandet med hänsyn till säkerhet?

Olika typer av underhåll

- Är underhållet ofta av avhjälpande natur?
- Vad krävs för att minska mängden avhjälpande underhåll?

Utförande av tunnelunderhåll

Underhållsåtgärder

- Behöver underhållsentreprenörerna någon ytterligare information som grund för sitt arbete?
- Hur mycket styr ni vilka metoder som får användas?
- Är det lätt att utvärdera resultatet?
- Utförs tillfredsställande egenkontroller?
- Finns det något som gör utförandet mer besvärlig än det behöver vara?

Uppföljning av tunnelunderhåll

Utförandet

- Hur följs utförandet upp tekniskt?
- Hur följs utförandet upp ekonomiskt?
- Finns det något som gör uppföljningen mer besvärlig än det behöver vara?

Underhåll med informationsmodeller

Fördelar och förhoppningar

- Finns några direkta fördelar med att använda informationsmodeller i underhållet?
- Har du några förhoppningar om vad som kan förbättras med hjälp av informationsmodeller i underhållet?

Nackdelar och farhågor

- Finns det några aspekter av underhållet som skulle försämras med informationsmodeller?
- Finns det några aspekter av underhållet som riskerar att falla mellan stolarna om informationsmodeller implementeras?

Figur 19 Intervjuguide, förvaltning

Produktion

Planering

- Hur planeras etablering och APD?
- Vilka verktyg används till det?
- Hur planeras utförandet?
- Hur planeras uppföljning och kontroller?
- Vad begränsar planeringen?
- HMSQ.
- Inköp.

Utförande

- Salvcykel
- Mekanisk drivning
- Brukar utförandet avvika från det planerade? Hur mycket och varför?
- I vilken utsträckning används maskinstyrning?
- HMSQ.
- Underentreprenörer.
- Avstämningar med planeringen och fakturering.
- ÄTA-hantering.
- Vad begränsar utförandet, prestations och kostnadsmässigt?
- Avveckling.

Kontroller

- Egenkontroller och relationshandlingar?
- Dokumenteras motiveringar till valda lösningar? Hur?

Uppföljning

- Kostnads- och prestationsuppföljningar.
- HMSQ.

Figur 20 Intervjuguide, Produktion

Projektering 1, system och plan

Projekteringsprocessen

En generell beskrivining av processen

Samordning mellan modeller - Samgranskning

Virtuellt byggande - Standarder, uppfattning av brancshens

Informationsutbytet - Ser Informationsmodellerna i berganläggningsprojekt likadana ut? (Se tabell)

Leveranser

Verktyg

Tidiga skedet av projektering

Sena skedet av projektering

Omgivningspåverkan

Automatisering

Erfarenhetsåterföring

Bärande systemet

Bedömnningar - Hur dokumenteras klassificeringar och motiveringar?

Indata - Hur hanteras den?

Kravhantering - Miljö, kvalité, utförande etc.

Vattenhantering

Hur dimensioneras vattenhanterande system?

Indata - Hur hanteras den?

Kravhantering - Miljö, kvalité, utförande etc.

Tabellen beskriver informationsmodeller i byggprojekt

Kravmodell	Innehåller funktionskrav för konstruktionen.
Startmodell	De förutsättningar som råder när projektet startar modelleras i startmodellen. Även kallad platsmodell.
Rumsmodell	I den modellen finns information rörande utrymmen, relationer melllan utrymmen, preliminära mängder.
Byggnadsmodell	En modell av utrymmen och byggdelar där objekten innehåller den informations som behövs i produktionen. Basen för ritningar.
Installationsmodell	Modell av t.ex. VVS-installationer.
Samgranskningsmodell	Olika modeller integreras för att utvärdera krockar och dylikt.
Relationsmodell	Uppdaterad byggnads eller installationsmodell med information om hur det byggdes.
Förvaltningsmodell	Förenklad byggnadsmodell med den den information som behövs för förvaltning.

Figur 21 Intervjuguide, Projektering 1

Projektering 2, undersökningar

Undersökningar

- En generell beskrivning av processen
- Vilken typ av information behövs innan undersökningarna kan utföras?
- Bergtäckning
- Det bärande systemet
- Vatten
- Hur bestäms vilka metoder som ska användas?
- I vilken utsträckning utförs undersökningar?

Ingejörsgeologisk prognos

- Hur hanteras osäkerheter
- Hur dokumenteras antaganden och tolkningar?

Datahantering

- Används många olika mjukvaror och filtyper?

Figur 22 Intervjuguide, Projektering 2

Det tidiga skedet

Idéskedet

Var startar ett projekt?

Hur utvärderas behov?

Tidsperspektiv, både på investeringens livslängd och projektets tid.

Projektrisker

Undersökningsbehov

Kravsättning

Hur bestämms kraven på projektet?

Miljö

Säkerhet

Funktion

Kvalité

Utförande

Omgivningspåverkan

Byggprocessen

Kommunikation - med utomstående part, projektör, entreprenör och förvaltare

Budgetering - När bestäms budget för projektet?

Livscykelkostnader

Överlämning

Vid vilken tid i projektet börjar det planeras för överlämning?

Virtuellt byggande

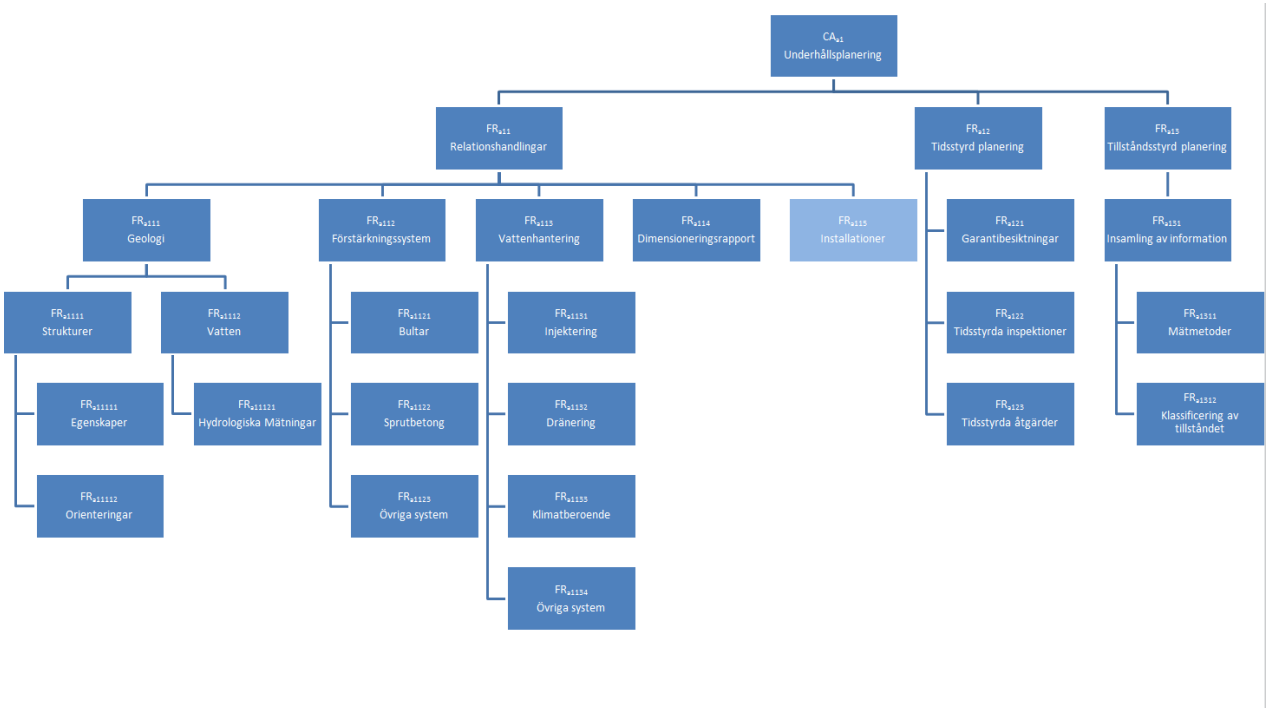
Vilka typer av informationsmodeller har du kommit i kontakt med?

Tabellen visar en sammanställnign av informationsmodeller som används i Byggprojekt

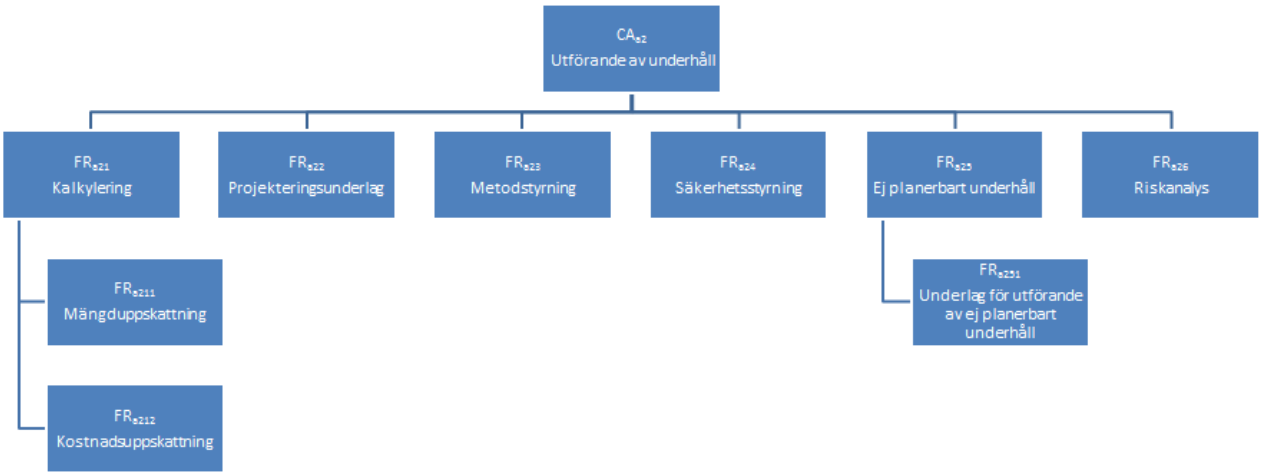
Kravmodell	Innehåller funktionskrav för konstruktionen.
Startmodell	De förutsättningar som råder när projektet startar modelleras i startmodellen. Även kallad platsmodell.
Rumsmodell	I den modellen finns information rörande utrymmen, relationer melllan utrymmen, preliminära mängder.
Byggnadsmodell	En modell av utrymmen och byggdelar där objekten innehåller den informations som behövs i produktionen. Basen för ritningar.
Installationsmodell	Modell av t.ex. VVS-installationer.
Samgranskningsmodell	Olika modeller integreras för att utvärdera krockar och dylikt.
Relationsmodell	Uppdaterad byggnads eller installationsmodell med information om hur det byggdes.
Förvaltningsmodell	Förenklad byggnadsmodell med den den information som behövs för förvaltning.

Figur 23 Intervjuguide, Det tidiga skedet

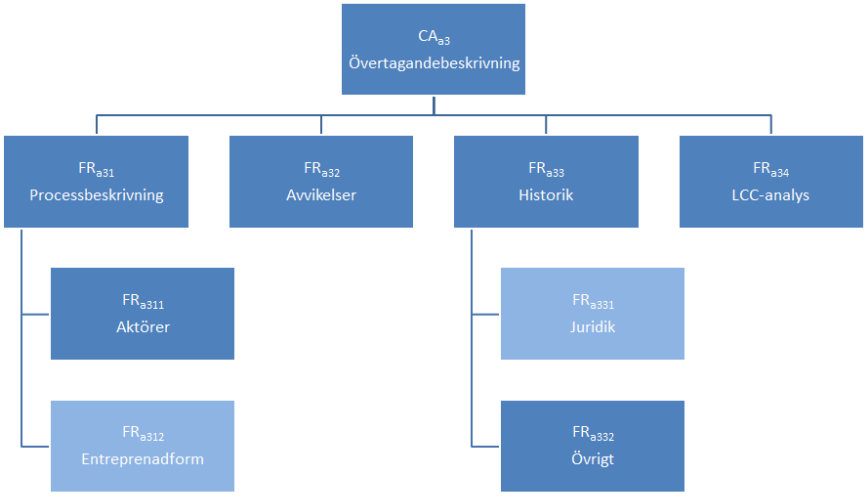
BILAGA B



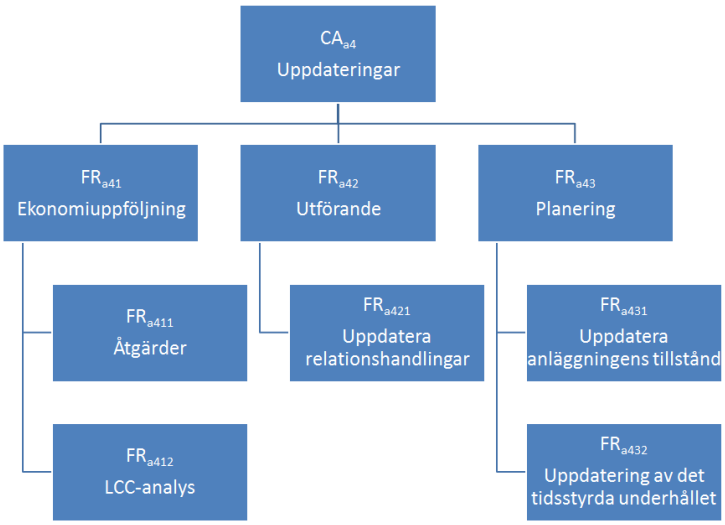
Figur 24 Trädstruktur för önskemål 1 i förvaltningsfasen, Underhållsplanering.



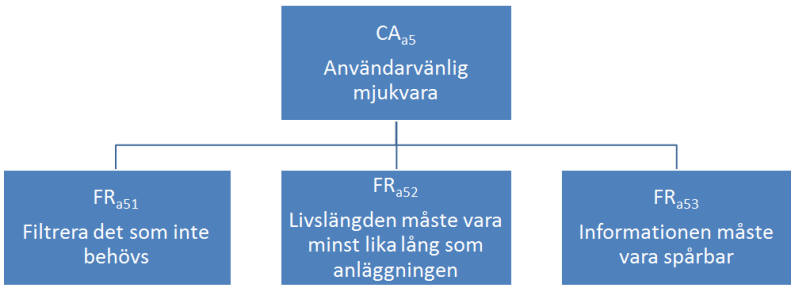
Figur 25 Trädstruktur för önskemål 2 i förvaltningsfasen, Utförande av underhåll



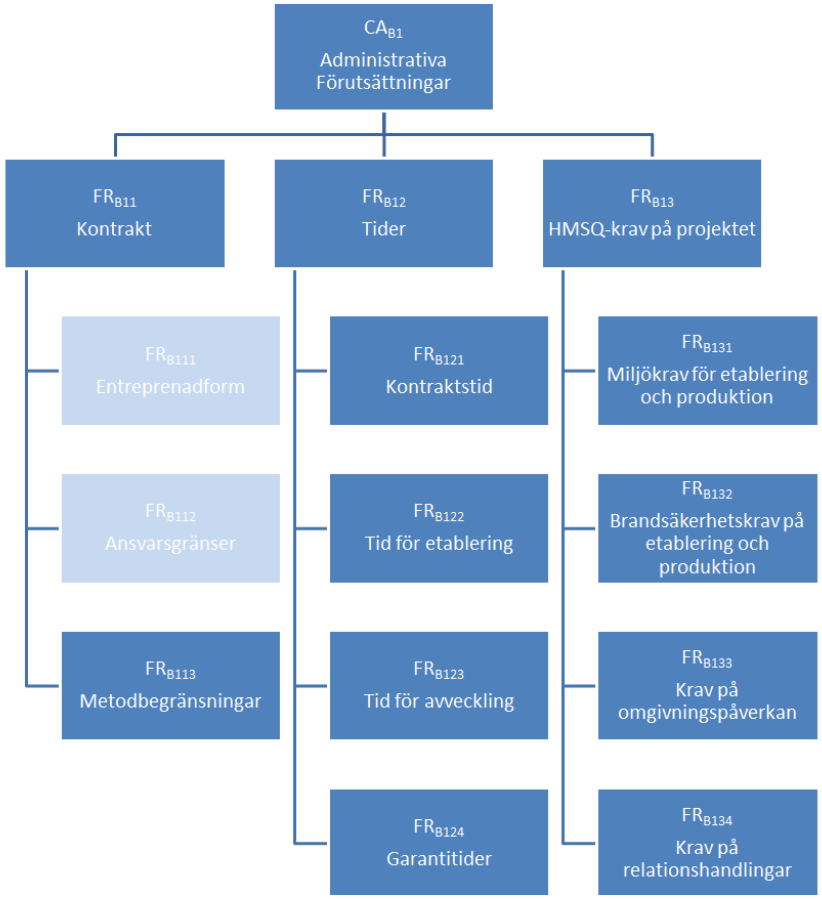
Figur 26 Trädstruktur för önskemål 3 i förvaltningsfasen, Övertagandebeskrivning



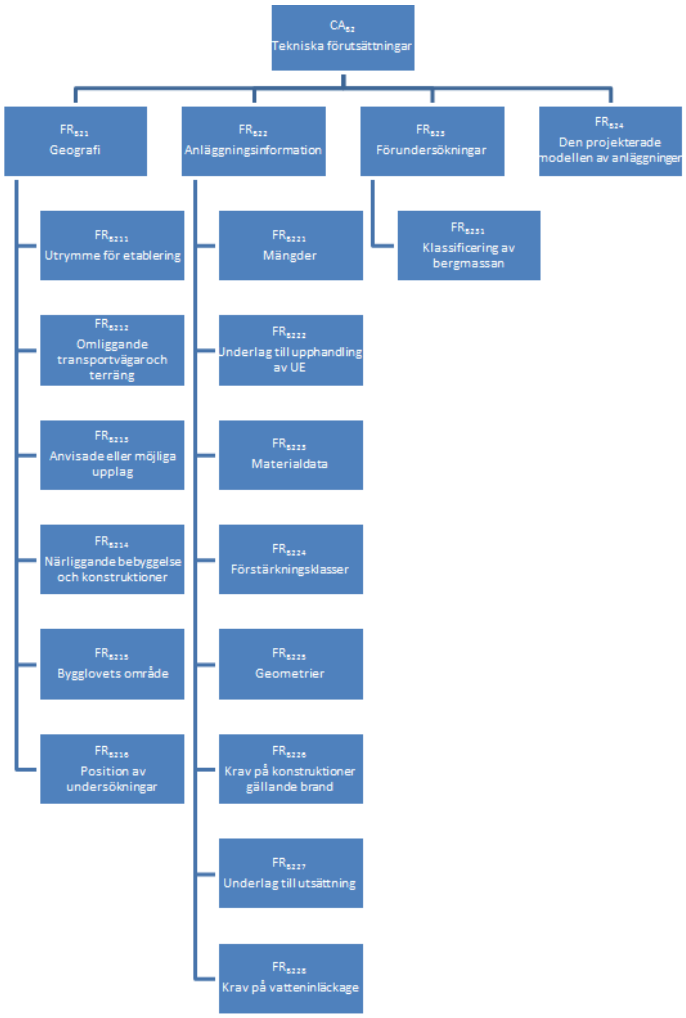
Figur 27 Trädstruktur för önskemål 4 i förvaltningsfasen, Uppdateringar.



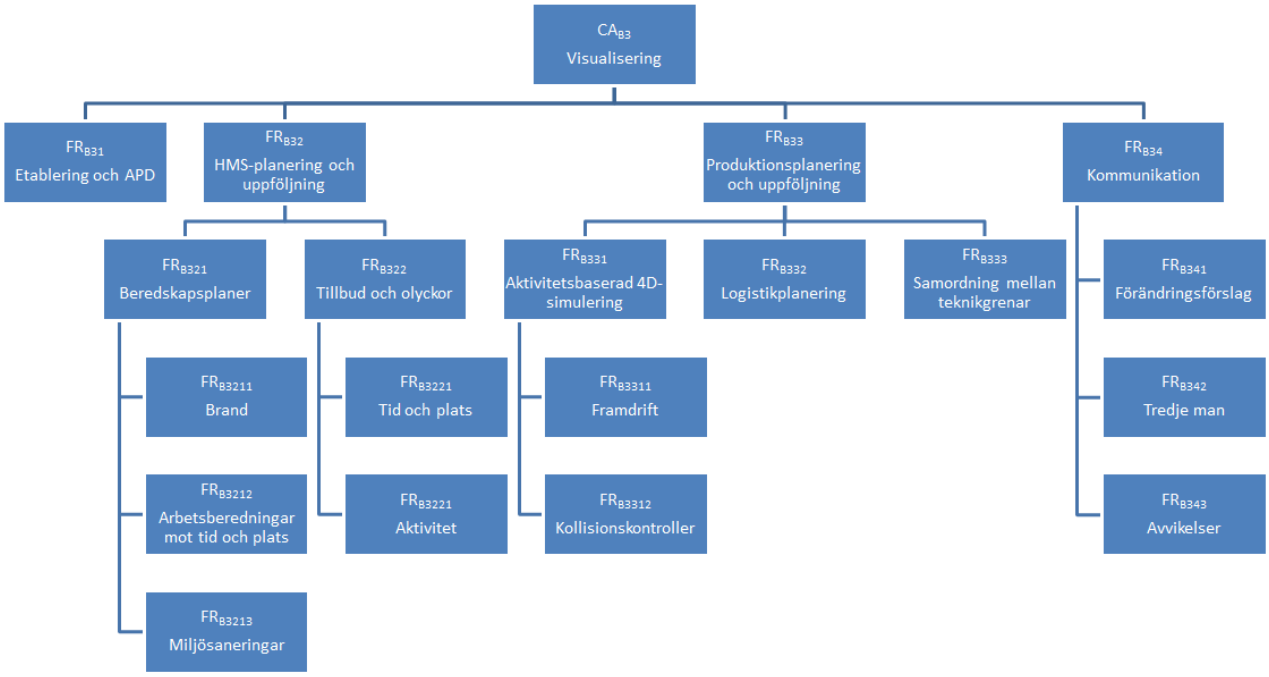
Figur 28 Trädstruktur för önskemål 5 i förvaltningsfasen, Användarvänlig mjukvara.



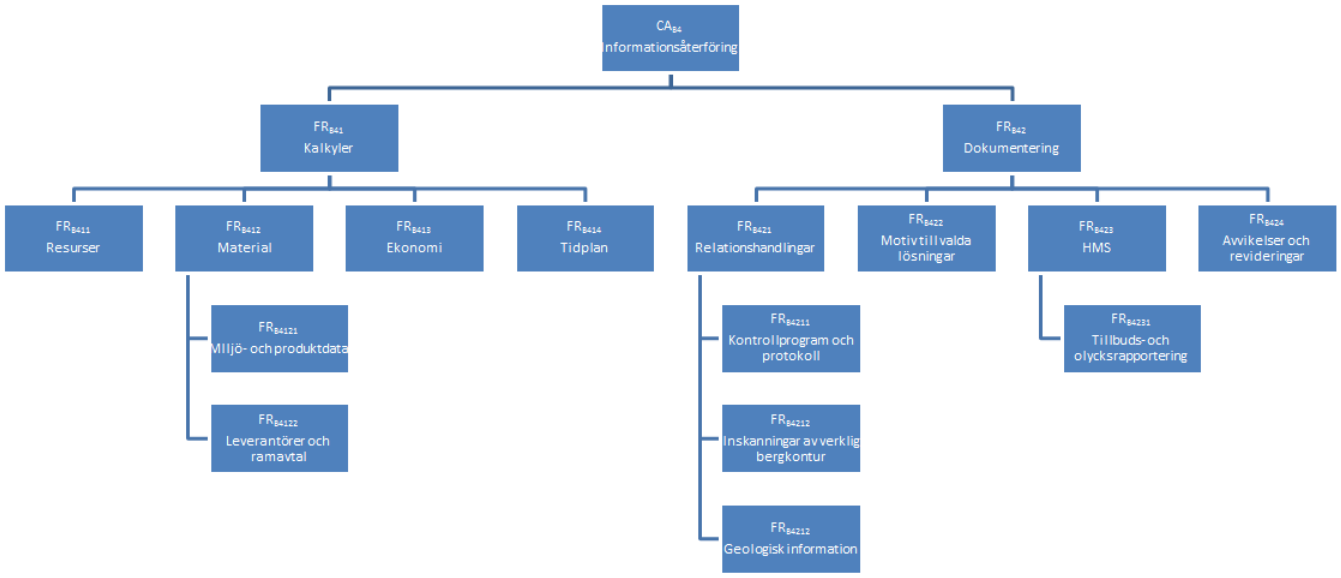
Figur 29Trädstruktur för önskemål 1 i produktionsfasen, Administrativa föutsättningar.



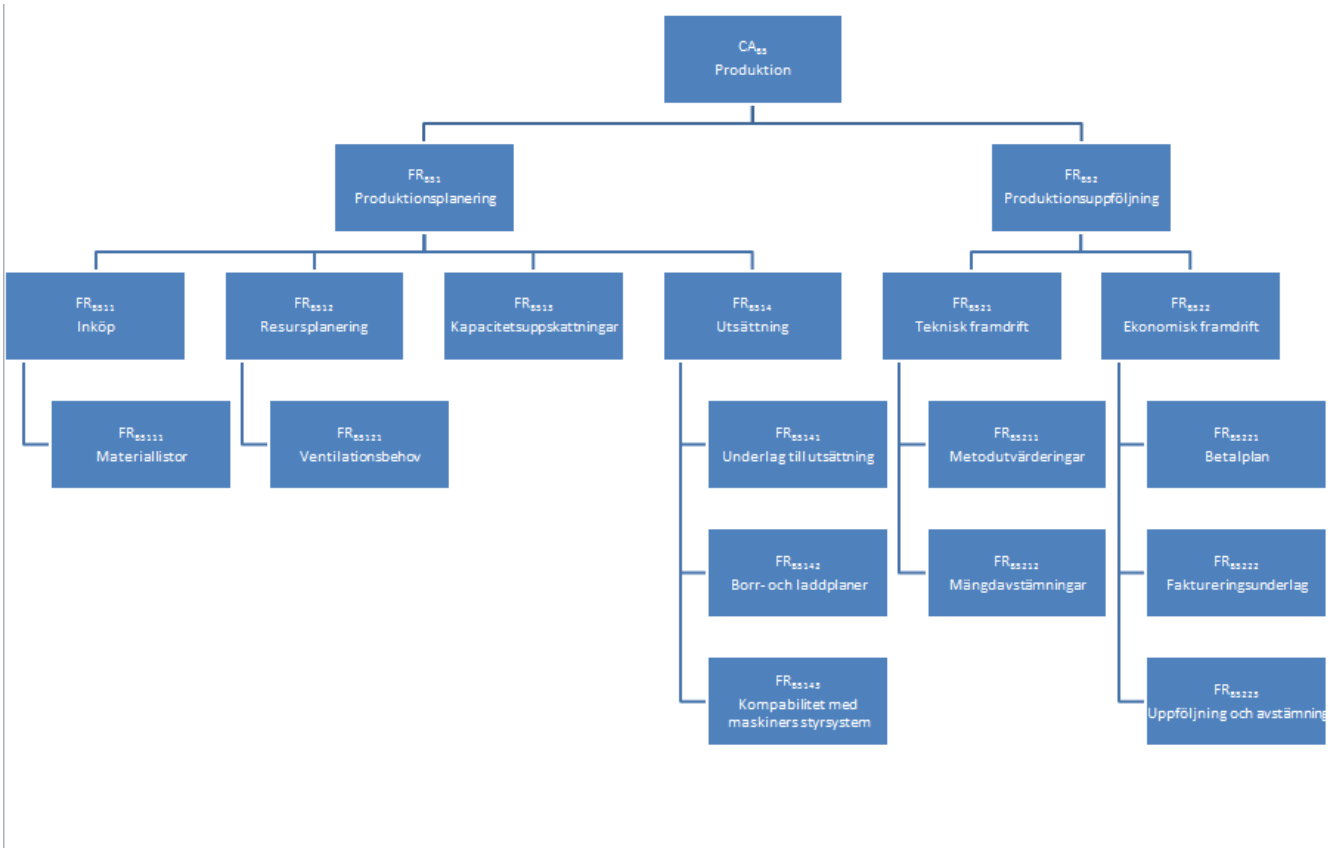
Figur 30Trädstruktur för önskemål 2 i produktionsfasen, Tekniska förutsättnignar.



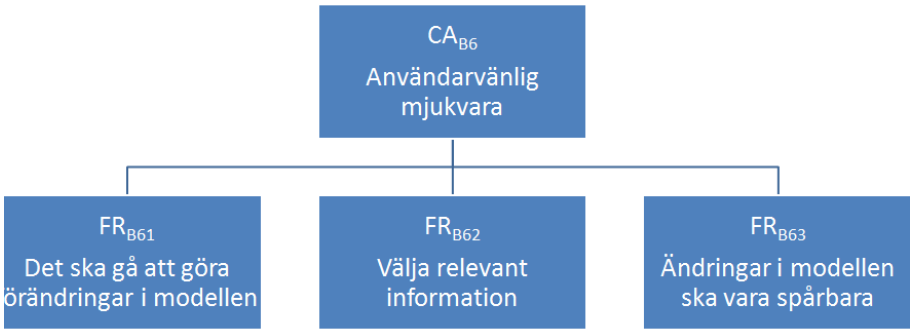
Figur 31Trädstruktur för önskemål 3 i produktionsfasen, Visualisering.



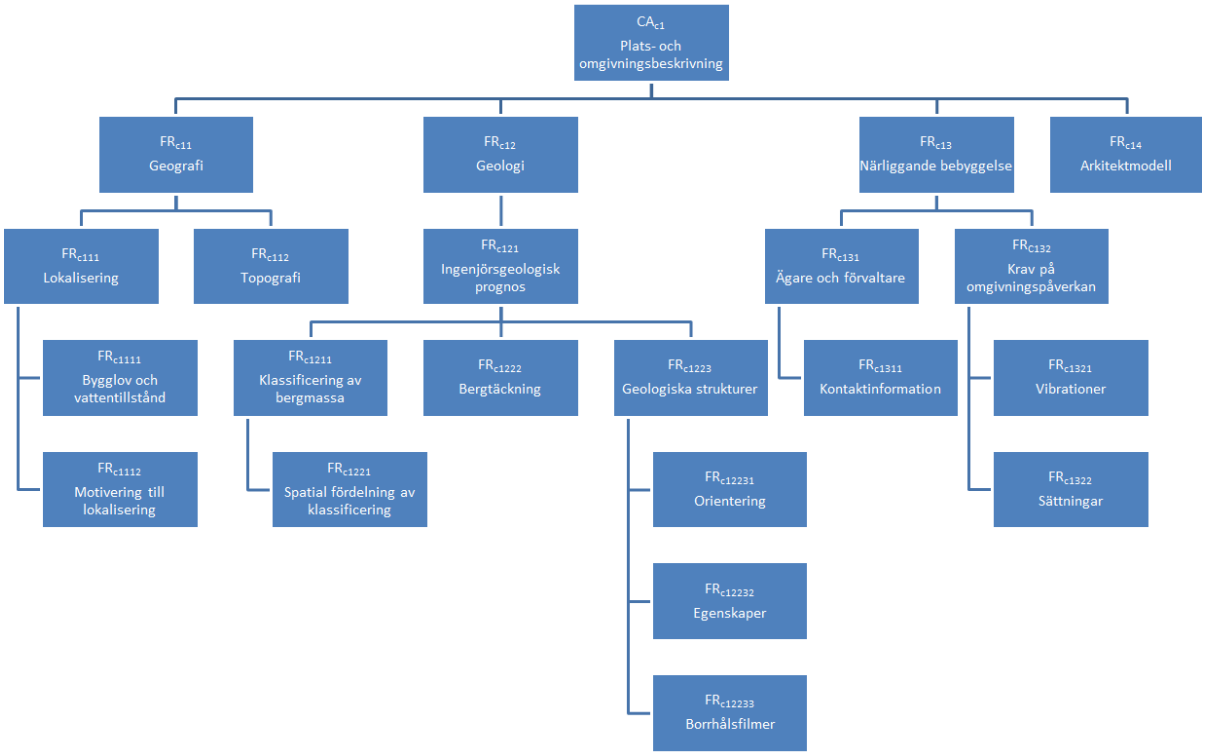
Figur 32Trädstruktur för önskemål 4 i produktionsfasen, Informationsåterföring



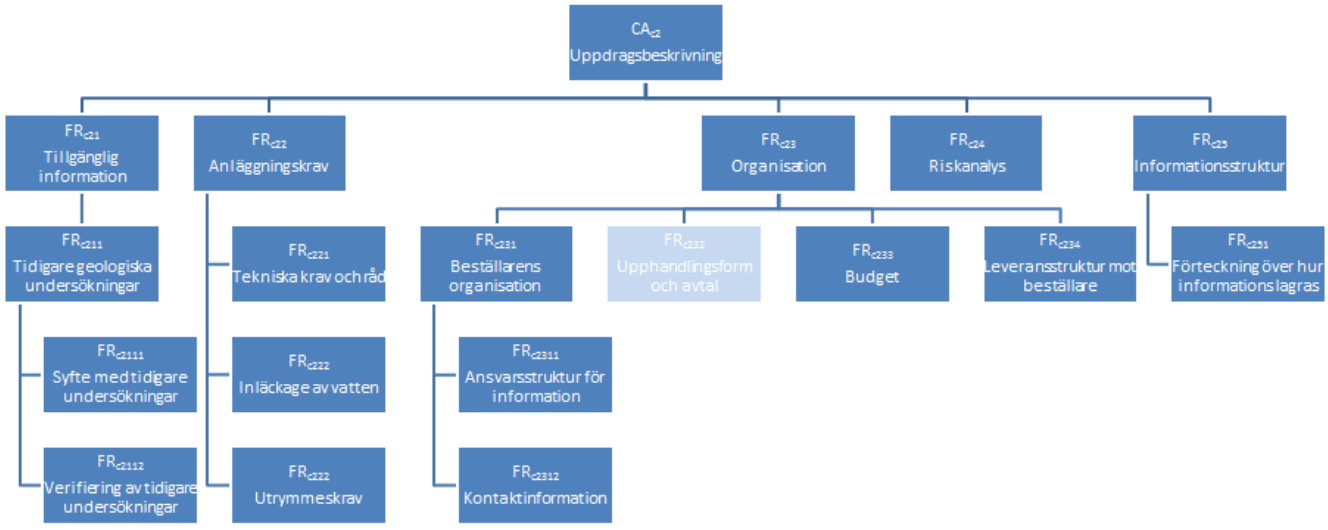
Figur 33Trädstruktur för önskemål 5 i produktionsfasen, Produktion



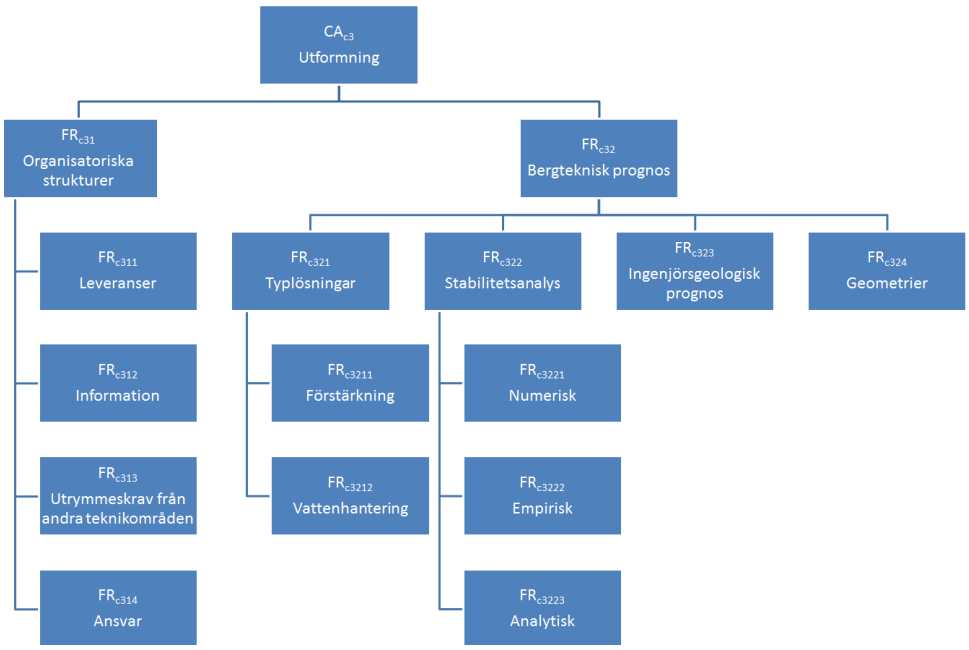
Figur 34Trädstruktur för önskemål 6 i produktionsfasen, Användarvänlig mjukvara



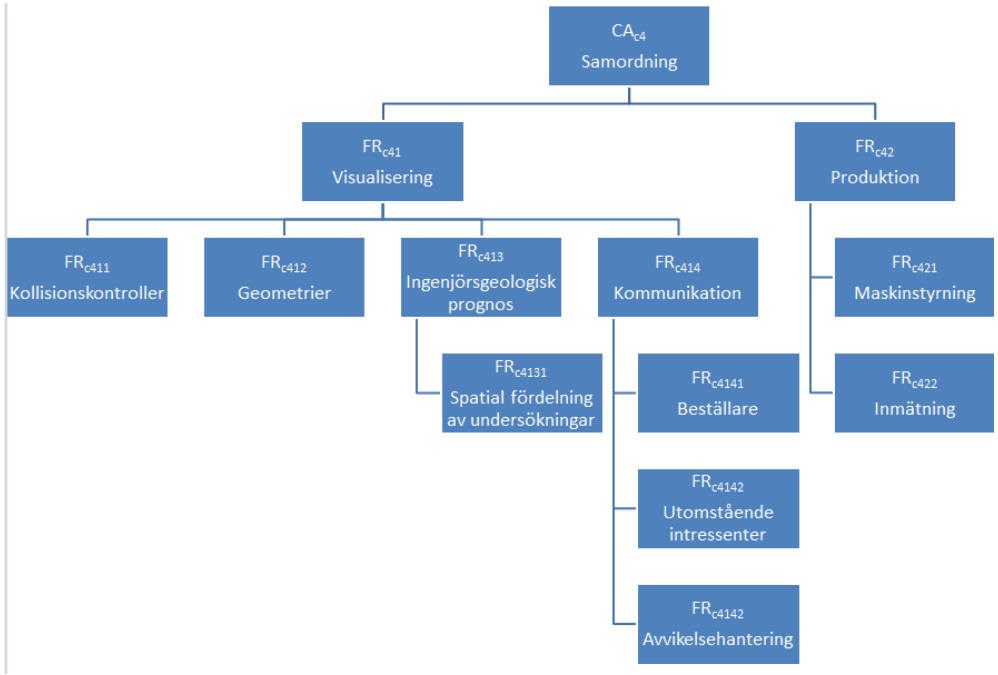
Figur 35Trädstruktur för önskemål 1 i projekteringsfasen, Plats- och omgivningsbeskrivning



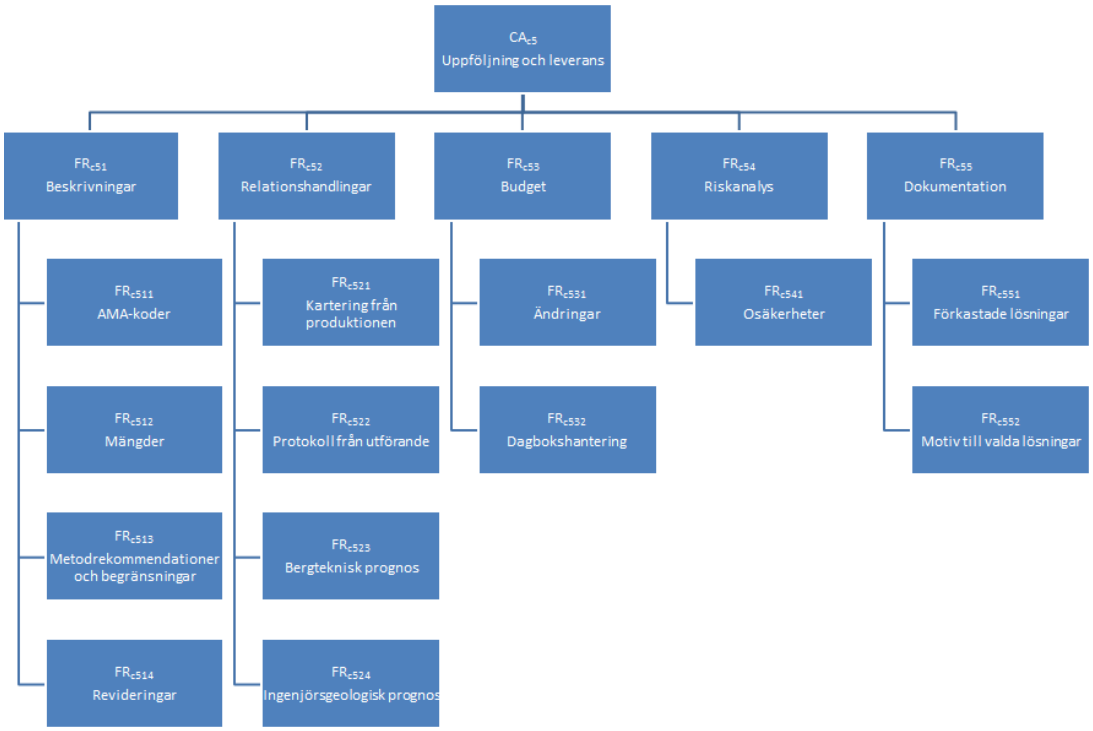
Figur 36Trädstruktur för önskemål 2 i projekteringsfasen, Uppdragsbeskrivning



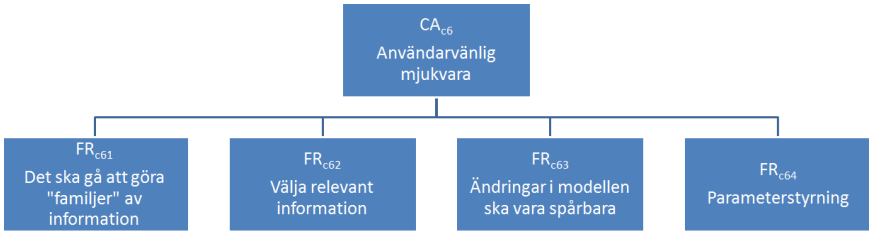
Figur 37Trädstruktur för önskemål 3 i projekteringsfasen, Utformning



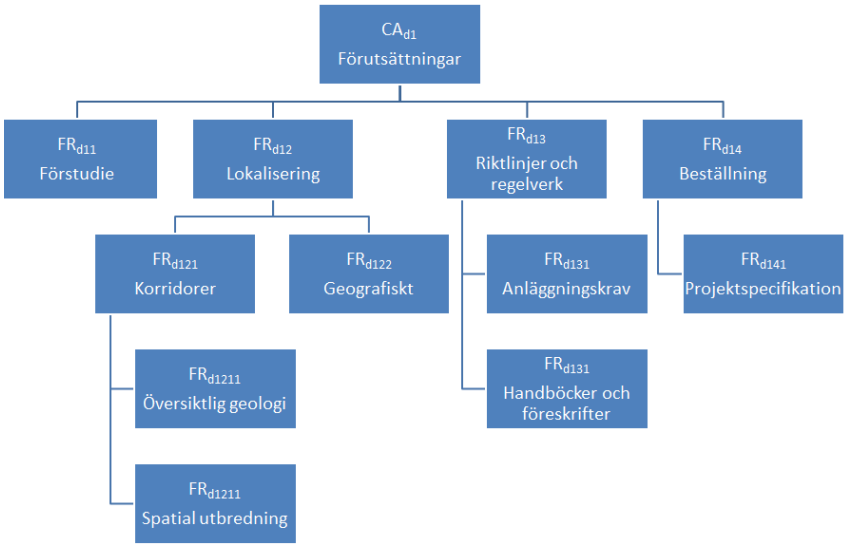
Figur 38Trädstruktur för önskemål 4 i projekteringsfasen, Samordning



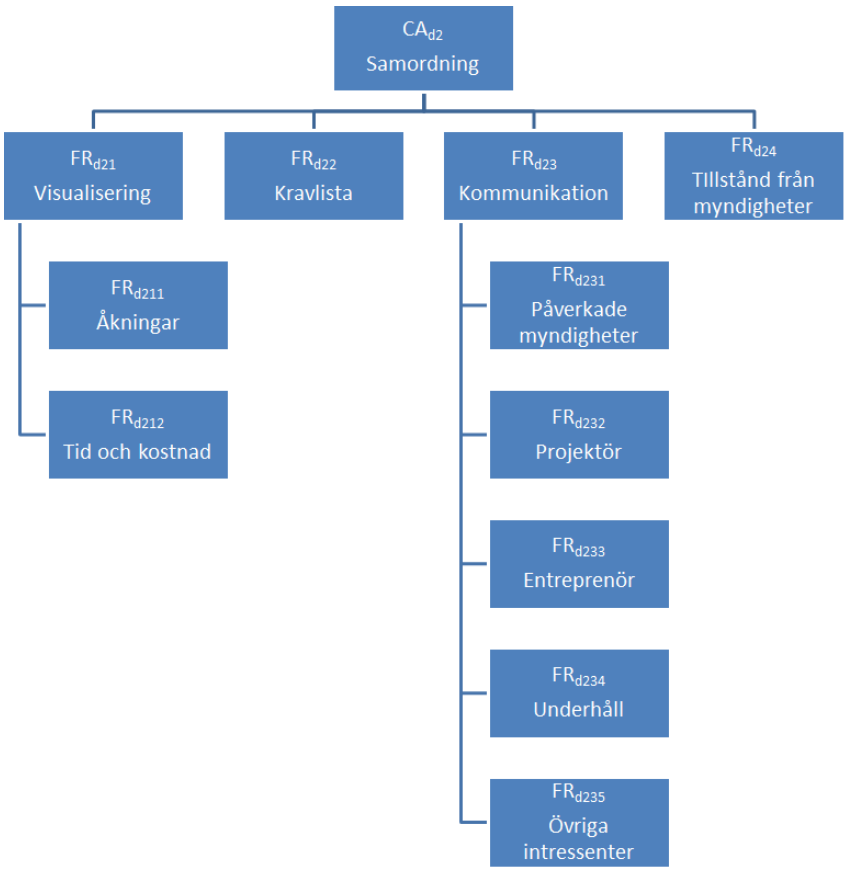
Figur 39Trädstruktur för önskemål 5 i projekteringsfasen, Uppfölning och leverans



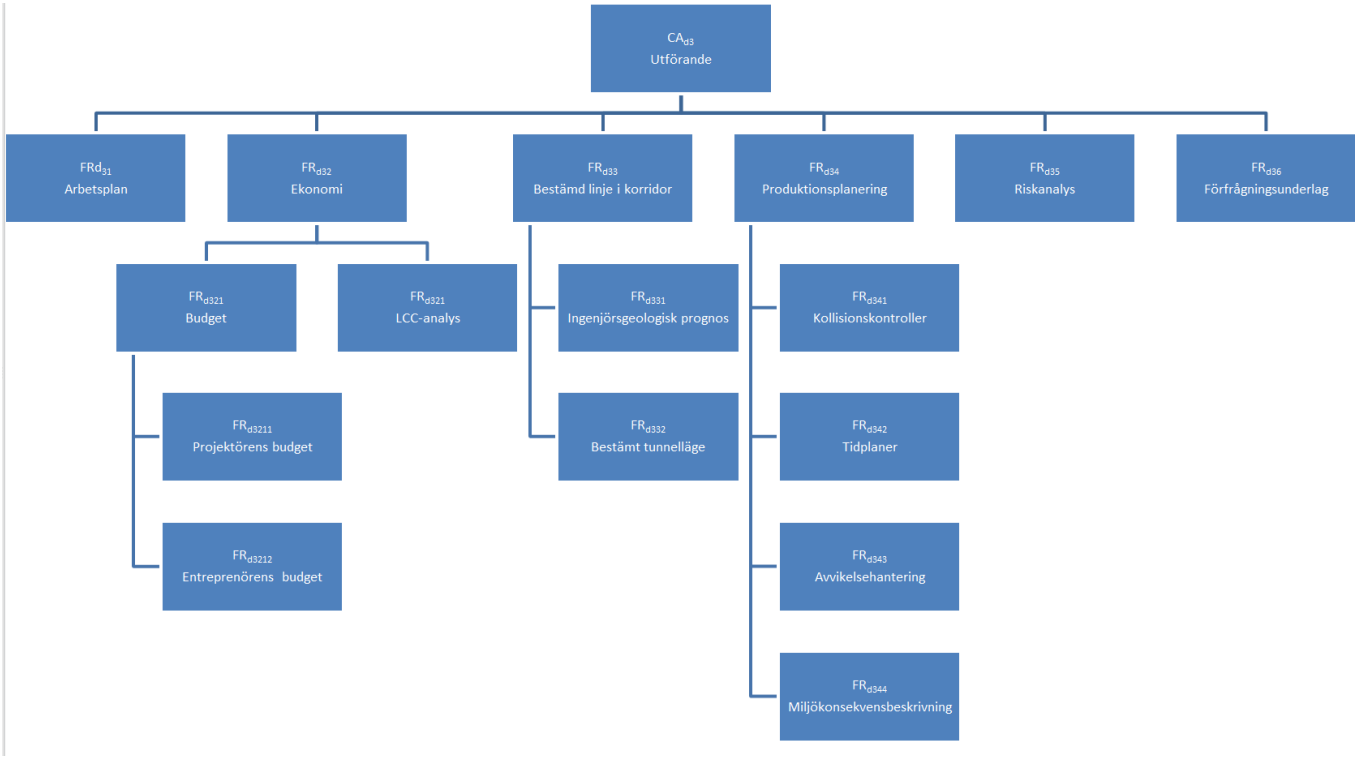
Figur 40Trädstruktur för önskemål 6 i projekteringsfasen, Användarvänlig mjukvara



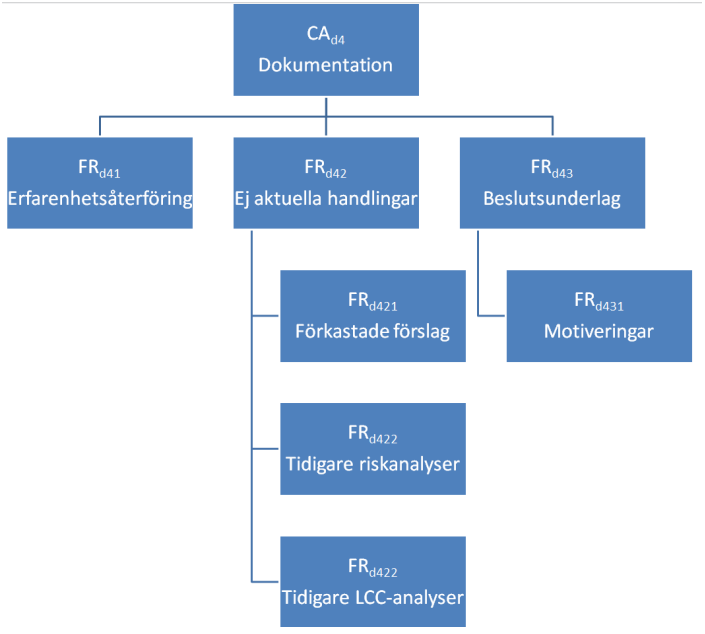
Figur 41 Trädstruktur för önskemål 1 i det tidiga skedet, Förutsättningar



Figur 42Trädstruktur för önskemål 2 i det tidiga skedet, Samordning



Figur 43Trädstruktur för önskemål 3 i det tidiga skedet, Utförande



Figur 44Trädstruktur för önskemål 4 i det tidiga skedet, Dokumentation