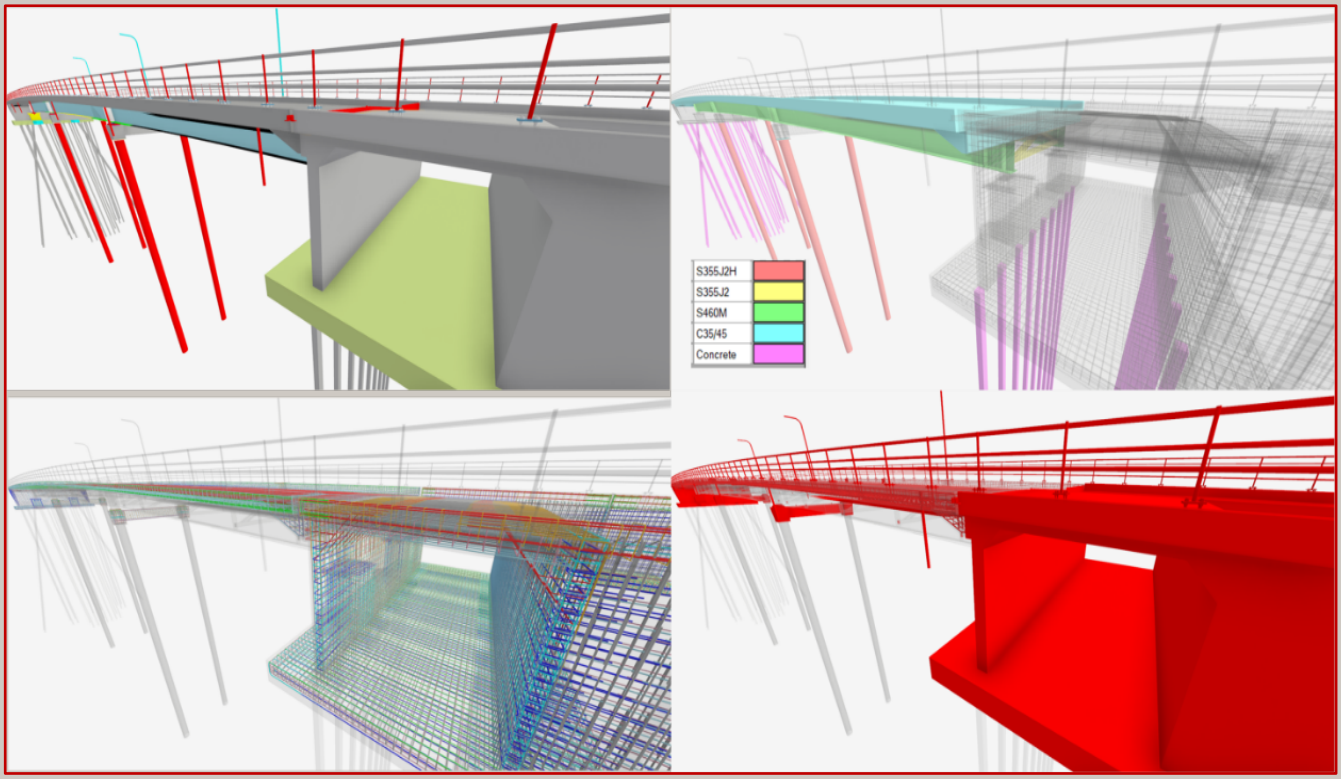
TRAFIKVERKET

RAPPORT

Kvalitet & Digitala Modeller

Integrerad kvalitetssäkring & automatiserade kvalitetskontroller i komplexa projekt

2022-04-09



Trafikverket
Postadress: Vikingsgatan 9, 405 33 Göteborg

E-post: trafikverket@trafikverket.se
Telefon: 0771-921 921

Dokumenttitel: Kvalitet & Digitala Modeller: Integrerad kvalitetssäkring & automatiserade kvalitetskontroller i komplexa projekt

Författare: Petra Bosch-Sijtsema, Susanne van Raalte, Jennie Carlstedt, Mikael Johansson, Mattias Roupé, Stefan Granberg, Alexander Svensson

Omslagsbild: Test av modell med filtrering och färgkodning, Mikael Johansson Chalmers

Dokumentdatum: 2022-04-09
Ärendenummer: 7204

Kontaktperson: Susanne van Raalte

Publikationsnummer:

Innehåll

Innehåll 3

Sammanfattning 6

1 Inledning 7

1.1. Syfte 8

1.2. Mål 8

1.3. Avgränsningar 9

1.4. Projektets upplägg 10

1.5. Metod 11

Del I: Kartläggning av kvalitetssäkring och kvalitetskontroll 13

2 Begrepp inom kvalitetsområdet 13

2.1. Kvalitet 13

2.2. Kvalitetsbegrepp 14

3 Standard och format 15

3.1. ISO standarder 15

3.2. RAMS och GOP – systemkvalitet och godkännande 17

3.3. IFC - ett öppet format för digitala modeller 17

3.3.1. IFC och Model View Definition (MVD) 21

3.3.2. Maskinläsbara MVDs - mvdXML 21

3.3.3. Egenskaper och namngivning av attribut 22

3.4. BCF - ett öppet kommunikationsformat 23

4 Kvalitetssäkring i Trafikverket 24

4.1. Planering och åtgärder av väg och järnväg 24

4.2. Kravställning och kravhantering 25

4.2.1. Arbetssättet systematisk kravhantering 25

4.2.2. Kravställning och typer av krav 26

4.2.3. Kravdatabas Doors NG 29

4.2.4. Uppföljning av krav och kvalitet på produkt 29

4.3. Kvalitetssäkring och kvalitetskontroll 31

4.3.1. Process för kvalitet i ledningssystemet – XLPM metodik 31

4.3.2. Organisation – stöd för kvalitetssäkring 32

4.3.3. Typer av kvalitetskontroller 33

4.3.4. Produkt – vad kontrolleras? ... 34
4.3.5. Automatiska kvalitetskontroller ... 36

5 Kvalitetssäkring hos tekniska konsulter ... 37
5.1. Kvalitetssäkring och kvalitetskontroll (väg och järnväg) ... 37
5.2. Organisation för kvalitetssäkring ... 39
5.3. Automatiska kvalitetskontroller ... 40

6 Kvalitetskontroller utifrån enkätsvar ... 41

7 Exempel på effektivare kvalitetssäkring ... 44
7.1. ERTMS – Objekttypsbibliotek för signalsystem järnväg ... 44
7.2. D-CAT – metoder för spårbarhet av funktionella krav ... 44
7.3. E39/V440 - maskinläsbar klassificeringsmanual för broregistrering ... 45
7.4. SIMBA – maskinläsbar kravdatabas för husbyggnad ... 45
7.5. Nya stambanor – kravdatabas för objektorienterad information ... 46
7.6. HDMI – process för överlämning av anläggningsinformation ... 46
7.7. Samtidig plan og projektering - integrerat arbetssätt för samverkan ... 47
7.8. MIA - Modellorienterat Integrerat Arbetssätt ... 47
7.9. Real Estate Core - gemensamt språk för delning av data ... 48
7.10. KIM - transparent kravutveckling med branschen ... 49
7.11. Project Quality Index (PQi) ... 49

8 Beställarroll - värdeskapande och aktiv kvalitetsstyrning ... 49
8.1. Utvecklad beställarroll i Trafikverket ... 50
8.2. Norska beställaren - mer fokus på processen ... 51

DEL II: Kvalitetskontroller av digitala modeller ... 53

9 Kontrollmetoder av IFC-modeller ... 54
9.1. Kollisions- och avståndskontroll ... 54
9.2. Regelbaserade kvalitetskontroller ... 54
9.3. Visuella kvalitetskontroller ... 56
9.3.1. Filtrering och färgkodning ... 57
9.3.2. Virtual Reality (skala 1:1) ... 58
9.3.3. Multi-touch skärm ... 59
9.3.4. Augmented reality/mixed reality ... 59

10 Kontroll av anläggningskrav - test och utvärdering ... 60

10.1. Utmaningar med ICF i anläggningsmodeller 60
10.2. Utvärdering av möjliga IFC kontroller 62
10.2.1. Attribut-baserad kontroll 62
10.2.2. Kombinerad attribut- och geometri-baserad kontroll 63
10.2.3. Filtrering och färgkodning 64
10.2.4. Kontroll mot väglinje 65
10.2.5. mvdXML och ”dagvattenlutningskontroll” 66
10.3. Hantering av synpunkter med VR och BCF 66

DEL III: Diskussion och rekommendation 69

11 Diskussion 69
11.1. Automatisering stödjer behov av förändring 69
11.2. Modellbaserad kvalitetskontroll 71

12 Rekommendationer 73
12.1. Process 73
12.2. Organisation 74
12.3. Produkt/teknik 74

13 Fem fokusområden 76

14 Referenser 77

Sammanfattning

Det finns stora effekter att vinna med digitalisering och BIM kopplat till projekterings- och byggprocessen. Att enkelt kunna identifiera och kontrollera att krav är uppfyllda är av stor vikt i multidisciplinära bygg- och anläggningsprojekt som ofta är komplexa och har många osäkerheter. Här anses BIM vara användbart för att bland annat förbättra kvaliteten genom att eliminera konflikter och minska omarbetningen. En styrd, kvalitetssäkrad och effektiv hantering av information om anläggningen kan rätt hanterat bland annat lämna ett ökat utrymme för innovation. Detta projekt presenterar en kartläggning över hur kvalitetssäkringsprocessen och kvalitetskontrollen genomförs idag och testar möjliga kvalitetskontroller. Genom att få en tydlig bild av hur kvalitetskontroller genomförs ges en inblick i de öar av kvalitetssäkringsprocessen som är generiska och vilka moment som kan automatiseras, vilket underlättar för alla aktörer och frigör tid för teknisk lösningsorienterade arbetsuppgifter och utveckling.

Syftet med forskningsprojektet har varit att utveckla och testa kvalitetskontroller för kravuppfyllnad och kvalitetssäkring samt beslutsfattande kopplat till användande av digitala modeller. Projektet har genomförs baserat på ett Design Science angreppssätt vilket tar sin utgångspunkt i att både tekniska och mänskliga aspekter kopplas till det problem som ska lösas. Projektet uppdelades i 7 arbetspaket och är ett samarbete mellan Trafikverket, Chalmers, Trimble, Norconsult och Sweco.

Del 1 i rapporten är en kartläggning av nuvarande process för leveranser, kvalitetssäkring och kravhantering inom projekteringsfasen, både hos Trafikverket och leverantör. Kartläggningen ger insyn i möjliga förbättringar och effektiviseringsvinster inom kvalitetssäkringsprocessen. Sammanfattningsvis visar kartläggningen att det behövs ett större fokus på de olika aktiviteterna som ingår i kvalitetsarbetet inom projekt.

Del 2 i rapporten lyfter upp flera goda exempel och best-practices när det gäller automatiska kvalitetskontroller inom husbyggnad och menar att samma koncept för automatiska kvalitetskontroller går att använda inom anläggningsbranschen. Det finns extremt stor potential med automatiserade kvalitetskontroller (visuella, regelbaserade, automatiska och maskinläsbara) inom anläggningsprojekt och detta projekt har visat att det faktiskt fungerar och att det går att börja implementera vissa kontroller för digitala anläggningsmodeller redan nu. Dessa kontroller sparar tid och möjliggör att kontrollerna verkligen blir utförda. Dessutom kan dessa automatiska kvalitetskontroller frigöra tid som istället kan användas för att ta fram bättre tekniska lösningar och utformningar för projektet.

Del 3 i rapporten tar upp en diskussion om kvalitetssäkring och digitala och/eller automatiserade kontroller. Utifrån innehåll i rapporten samlas här också ett antal rekommendationer relaterade till organisation, process och teknik/produkt. Rapporten tar upp att man för automatiserad kontroll av kravuppfyllnad vid leverander behövs ett modellorienterat integrerat arbetssätt för kontroll av lösning, en implementerad process för kvalitetssäkring av produktleveranser, ett modellbaserat gränssnitt för hantering av synpunkter och ändringar och en succeessiv uppföljning av projekt med en tillgänglig realtidsuppdaterad digital modell.

1 Inledning

Bygg- och anläggningsbranschen står inför en fundamental omvandling med digitaliseringen som den drivande kraften. Projekt inom bygg- och anläggningsbranschen ökar i komplexitet, och blir mer och mer specialiserade. Ökad komplexitet är känt som den främsta orsaken till att projekt misslyckas i att uppnå mål att leverera i rätt tid, till rätt kostnad och önskad kvalitet. Det finns stora effekter att vinna med digitalisering och BIM kopplat till projekterings- och byggprocessen. BIM ses ibland som en katalysator för förändring (Bosch-Sijtsema m fl., 2017). En styrd, kvalitetssäkrad och effektiv hantering av information om anläggningen kan rätt hanterat bland annat lämna ett ökat utrymme för innovation.

Med hjälp av digitala modeller finns möjligheter till ökad förståelse för designlösningar och projekt i sin helhet. Modeller kan bidra till att öka samarbetet mellan bland andra teknik- och miljöspecialister samt underlätta att hitta innovativa och bättre lösningar. Att enkelt kunna identifiera och kontrollera att krav är uppfyllda är av stor vikt i multidisciplinära bygg- och anläggningsprojekt som ofta är komplexa och har många osäkerheter. Här anses BIM vara användbart för att bland annat förbättra kvaliteten genom att eliminera konflikter och minska omarbetningen (Chen och Luo, 2014) men det finns lite forskning om att använda BIM under hela projektet för kvalitetssäkring och ett effektivt informationsutnyttjande.

I ett tidigare FOI projekt *Modellorienterat integrerat arbetssätt för bättre samverkan i komplexa projekt* (2020), drogs slutsatsen att kvalitetssäkring och kvalitetskontroll är ett viktigt område att studera vidare (Bosch-Sijtsema, van Raalte, Carlstedt 2020). I föregående studie presenterades också att vissa kvalitetskontroller med fördel kan automatiseras och att det finns många tekniska möjligheter idag, men att det saknas enhetliga arbetssätt, strukturer och regelverk. Därför är det viktigt att få inblick i vem som hanterar och utför granskningen, när den genomförs, baserat på vilka regler och på vilket sätt som kvalitén kontrolleras (Bosch-Sijtsema, van Raalte, Carlstedt 2020). Rapporten visar också att Trafikverket har börjat, inom verksamhetsområde Stora Projekt, med successiv uppföljning inom ramen för kvalitetssäkring för att effektivisera traditionell granskning, få högre kvalitet och samtidigt ge leverantören en trygghet i att de är rätt ute i sin projektering. Rapporten visar också att kvalitetssäkring sker bland annat genom egenkontroll, och i komplexa projekt genom samgranskningsmöten där man kontrollerar designen (innehållet) och modellen (struktur) (Bosch-Sijtsema, van Raalte, Carlstedt, 2020). Ett integrerat arbetssätt för kvalitetssäkring är en annan metod som används i samverkansprojekt. Ett integrerat arbetssätt som stödjer kommunikation och samverkan mellan olika parter i projekt uppstår ur en kombination av ett fungerande informationsflöde/informationssystem, en anpassad organisation och en tydliggjord arbetsprocess, med stöd av digitala modeller.

Projektet avser att ge en överblick över hur kvalitetssäkringsprocessen och kvalitetskontrollen genomförs. Kvalitetskontroll är efterfrågat i alla faser, av alla aktörer i byggprojekt och är framförallt viktigt för beställaren, leverantören men också mjukvaruleverantörer. Projektet avgränsas till kvalitetskontroll i projekteringsfasen för anläggningsprojekt.

Genom att få en tydlig bild av kvalitetskontroller kan man få en inblick i de kvalitetssäkringsprocesser som är generiska och vilka moment som kan automatiseras. Automatisering av kvalitetskontroller underlättar för alla aktörer och frigör tid för innovation. För att kunna automatisera vissa kontroller och processer blir det viktigt att använda standarder som ISO19650 och öppna filformat , som IFC Infra (buildingSMART, 2019) och BCF och testa hur väl dessa filformat fungerar för kvalitetskontroll. För att kunna använda BIM och digitala modeller i hela branschen och över företagsgränser och byggfaserna har standarder och öppna filformat lyfts upp som viktiga komponenter. Industry Foundation Classes (IFC)

(buildingSMART, 2019) är BIM-standarden som syftar till att överbrygga klyftan mellan de olika disciplinerna inom samhällsbyggnadsbranschen. IFC har använts i branschen men det har funnits två utmaningar för IFC: (i) IFC har tidigare fokuserat särskilt på byggnader och har gett begränsat stöd för infrastrukturelement (ii) och informationsutbytet syftar till att huvudsakligen beskriva byggfasen (Floros et al., 2019). Därför blir det viktigt att testa IFC för infrastruktur. Under 2019 har IFC Infra (bro, väg och järnväg) som stödjer infrastruktur (buildingSmart, 2019) lanserats, men det finns få som har testat dem i faktiska projekt.

1.1. Syfte

Syftet med forskningsprojektet är att utveckla och testa kvalitetskontroller för kravuppfyllnad och kvalitetssäkring samt beslutsfattande kopplat till användande av digitala modeller. Projektet syftar till att studera nuvarande kvalitetssäkringsprocess i relation till granskning av byggbarhet och hållbarhet men också att utveckla, testa och utvärdera automatiserade kontroller samt verktyg för leverans och kvalitetskontroll av designlösningar och information med hjälp av filformatet IFC och BCF. Detta ska ske med utgångspunkt i Trafikverkets och leverantörernas nuvarande arbetssätt för kvalitetssäkring och modellanvändande. Projektet ska ta tillvara på de rekommendationer som framkommit i de föregående studier som gjorts inom området där integrerade arbetssätt utgör ryggraden (FOI 1: *BIM, integrerade arbetssätt och samverkan - för ökad kvalitet och innovation i stora komplexa projekt* (2017) och FOI 2: *Modellorienterat integrerat arbetssätt för bättre samverkan i komplexa projekt* (2020)).

Den förväntande effektiviseringen utgår från två spår. Genom ökad samverkan med modellen i centrum för diskussioner och beslut om lösningsalternativ kan planeringsprocessen snabbas på. Automatisering av delar av processen utgör också en viktig effektiviseringspotential, där visuell granskning i vissa fall kan ersättas eller underlättas med en regelbaserad automatisk leveranskontroll och kvalitetssäkring.

Projektet syftar till att utvärdera nuvarande kvalitetssäkringsprocess i relation till granskning av byggbarhet och hållbarhet men också att utveckla och testa automatiserade steg i processen och verktyg för leverans och kvalitetskontroll av designlösningar och information med hjälp av exempelvis IFC och BCF.

1.2. Mål

Projektet ska identifiera möjliga förbättringar och effektiviseringsåtgärder inom kvalitetssäkringsprocessen. I detta ingår att undersöka hur automatisering kan ge en mer effektiv process och bättre kvalitet på produkter.

Det långsiktiga målet är att förändra Trafikverkets och branschens arbetssätt mot mer standardiserade och automatiserade kvalitetskontroller av digitala modeller, mer integrerade arbetssätt och ökad samverkan inom kvalitetssäkringsprocessen för att lyfta innovation, kvalitet och produktivitet. Projektets resultat förväntas på sikt att mynna ut i en förbättrad kravställning och arbetssätt för att effektivisera kvalitetssäkringen.

Projektet ska vid projektslut (2022-03-01) redovisa följande mål:

- Rekommenderade åtgärder som bedöms som viktiga för att uppnå tydlig effektivisering vid kvalitetssäkring och automatisering med avseende på tid och kostnad (minst 4).

- Samlade erfarenheter för framtagande av kravställning för kvalitetssäkring och automatisering.
- Behovsbild över identifierade förutsättningar för framtida implementering.

Sättet att uppnå ovan nämnda mål är följande:

- Kartlägga och identifiera kvalitetssäkringsprocessen för komplexa och multidisciplinära infrastrukturprojekt med fokus på digitala modeller och information.
- Kartlägga krav på modeller vad gäller status, detaljerings- och informationsnivå samt funktion/tillämpning för att få inblick i vad ska redovisas i modellerna.
- Kartlägga och identifiera behov utifrån besluts- och kvalitetssäkringsprocesser av möjliga kvalitetskontroller som kan automatiseras.
- Identifiering av kvalitetskrav för designlösningar och information/data som kan automatiseras.
- Identifiera tekniska möjligheter, lösningar och utmaningar med de öppna formaten IFC Infra och BCF.
- Utveckla, testa och utvärdera möjliga prototyper och processer för automatiserad kvalitetskontroll.
- Ta fram koncept (prototyp) för mer likriktade leveranser och som underlag för vidare utveckling och implementering.

1.3. Avgränsningar

Projektet fokuserar endast på planerings- och projekteringsfasen och tar inte med produktionsfasen (vilket utesluter entreprenörens kvalitetssäkring). Projektet handlar om kvalitetssäkring med fokus på själva produkten och leverans av denna. Centralt är de digitala modellerna och exempel på stöd för kvalitetskontroll. Fokus på digitala modellerna och kvalitetskontroller av produkter är viktiga för fortsättningen av projektet. Därför bortses här från ett antal andra aspekter som kvalitetssäkring av processer liksom påverkan av olika affärsmodeller och kontrakt. I tidigare projekt och rapporter har vi diskuterat projekteringsmetodik och hänvisar därför till dessa rapporter vad gäller detta (se Bosch-Sijtsema et al., 2017; 2020).

Sammanställningen inom kunskapsområdena och litteraturundersökningen har haft ett globalt perspektiv, men intervjuer, enkäten och testning av modellerna har framförallt begränsats geografiskt till Sverige och delvis Norge. Projektet fokuserar på komplexa projekt där BIM som arbetssätt kravställts. Ytterligare avgränsning är att vi fokuserar främst på IFC och BCF som format. Klassificering och kodning av objekt är en betydelsefull förutsättning men är inget som tas upp i denna övergripande kartläggning.

Detta forskningsprojekt är ett begränsat projekt och resultatet ger en inblick och indikation i området, detta betyder att det är svårare att generalisera resultatet till hela branschen.

1.4. Projektets upplägg

Projektet som tillämpar en Design Science-metodik inleds med en tydlig kartläggning av nuvarande processer och system för att definiera behov för och av nya tekniska lösningar.

Arbetspaket 1 (AP1) Kartläggning: Projektet startar med en kartläggning av nuvarande process för leveranser, kvalitetssäkring och kravhantering inom projekteringsfasen, både hos Trafikverket och leverantören. En mindre omvärldsanalys inom kvalitetssäkring relaterad till byggbarhet och hållbarhet baserad på litteratur, dokument och internationella erfarenheter kommer också att genomföras. Baserat på kartläggningen, kommer projektet att identifiera hur integrerat arbetssätt kan tillämpas i processer för exempelvis projektledning, med uppföljning, styrning samt processer för leveranser och kvalitetssäkring samt vilka kvalitetskontroller som kan automatiseras. En behovsanalys genomförs. Metoder som används för kartläggning och behovsanalys är intervjuer, enkäter, dokument- och litteraturanalys, samt workshops med Trafikverket och leverantörer (Se kartläggningsrapporten från Petra Bosch-Sijtsema & Susanne van Raalte 2021).

Arbetspaket 2 (AP2) Specifikationer: Baserad på behovsanalys, kartläggning av nuvarande leveranser och kvalitetssäkringsprocess och kvalitetskontroller kommer arbetspaket 2 transformera behoven till specifikationer för kvalitetskontroller som kan göras visuellt eller regelbaserat.

Arbetspaket 3 (AP3) Tekniker: Här undersöks och utvärderas olika tekniska möjligheter, processer och verktyg. Dessa är interaktiva, visuella, standardiserade och regelbaserade t ex: IFC-formatet, BCF standard, VR/AR-tekniker, MultiTouch-skärm, samverkansrum och olika programvaruverktyg och databaser (objektbibliotek och kravdatabas). De regelbaserade kan möjliggöra näst intill automatisk granskning, då strukturerad information och IFC-format kommer att utvärderas och användas.

Arbetspaket 4 (AP4) Prototyper: De tekniska möjligheterna från AP3 används för att utveckla processer/arbetssätt och ta fram prototyp(er) som demonstrerar tekniska möjligheter. Begreppet prototyp används här i vid mening. Det kan t.ex. vara ett regelset utvecklat i Solibri för automatisk kontroll av informationsinnehåll, men även en testmiljö för att se hur VR-teknik kan användas för byggbarhetsgranskning direkt utifrån IFC-modeller.

Arbetspaket 5 (AP5) Test: Processer och prototyper från AP4 kommer att testas i riktiga projekt (väg- och järnvägsprojekt).

För Design Science-metodiken är det viktigt att arbetet mellan AP3, 4 och 5 har skett iterativt och utgörs av design loopar med analys av problemet, prototypbygge och därefter utvärdering av prototypen i dess kontext. Utveckling och testning av prototyper görs i samverkan med ett programvaruföretag och riktiga projekt. AP2-5 var ett samarbete mellan Chalmers (Mikael Johansson, Mattias Roupé), Trafikverket (Susanne van Raalte), Trimble (Stefan Granberg), Norconsult (Alexander Svensson) och Sweco (Niklas Bergström).

Arbetspaket 6 (AP6) Utvärdering: Efter testning av prototyper i ett skarpt vägprojekt och järnvägsprojekt kommer lösningen att utvärderas. Testning i pågående investeringsprojekt kommer att genomföras i samverkan med konsultföretag.

Arbetspaket 6 har inte genomförts som planerat på grund av resursbortfall, men små tester i labbformat har genomförts med 3D-modeller från riktiga väg- och järnvägsprojekt.

Arbetspaket 7 (AP7) Rapport: Slutresultatet är en rapport med förslag och metodiker som testats och utvärderats inom integrerad kvalitetssäkring och automatiserad kvalitetskontroll av information både vad gäller kravställning och designlösningar.

1.5. Metod

Projektet kommer att ha en socioteknisk ansats som har sitt ursprung i behovet av att beskriva interaktionen mellan människor och teknik, ur kontext och arbetsprocesser, där tekniken används. Projektet fokuserar på processen för beslutsfattande och leveranskontroller, kvalitetssäkring samt de delar av kvalitetskontrollen som kan automatiseras. Projektet kommer att genomföras baserat på ett Design Science-angreppssätt som tar sin utgångspunkt i att både tekniska och mänskliga aspekter kopplas till det problem som ska lösas (Hevner et al. 2004). Design Science består av tre grundläggande aktiviteter: analysera problemet, prototypbygge samtutvärdering av prototyp i dess kontext. Detta innebär att de utvecklade arbetsprocesserna och verktygen kommer att utvärderas kontinuerligt i koppling till projekt runt omkring i Sverige. Olika metoder har används under projektets gång, t ex intervjuer, workshops, enkät och bygga prototyper och utvärdering av prototyper. Följande data-insamlingsmetoder har använts för de olika delmoment.

- *Intervjuer* med beställarorganisationer i Sverige och Norge samt teknikkonsult-företag inom väg och järnväg i Sverige (totalt genomfördes 12 intervjuer för AP1).
- *Enkät* till Trafikverket och tekniska konsulter under perioden januari-februari 2021 för AP1. Totalt svarade 189 och varav 151 svarade på hela enkäten (fullföljande var 79%). Respondenter bestod av 74 tekniska konsulter (40,66%) och 108 från beställaren (58,79%). Respondenterna arbetar inom olika verksamhetsområden. 81 svar kom från de som arbetar inom väg (38%), och 113 från järnväg (54%) samt 15 svar från respondenter som arbetar inom ett annat område (7%) såsom miljö, arbetsmiljö, tunnlar, broar etc.
- *Projektmöten* varje månad där presentationer från flera medlemmar men också externa föredragshållare inom relaterade ämnesområden ges, där diskussioner om problematik men också var beslut fattas om vilka kvalitetskontroller som ska prioriteras för automatisering och test.
- *Workshops* (5) inom projektet med projektmedlemmar. I olika workshop diskuterades utmaningar och möjligheter med automatisering inom kvalitetssäkrings-processen samt vad som bör studeras vidare. Ett flertal workshops genomfördes med Trimble, Sweco och Norconsult inom mjukvara, vägg och järnväg. Workshopen kom fram med en önske- och prioriteringslista och med olika use case områden och var input för AP2, 3, 4 och 5.
- *Tester/design loops* har genomförts med 3D modeler från riktiga/skarpa projekt inom järnväg och väg.
- *Webbkonferenser*: Trimble användarträff 2020 och Den kloke teknologin 2020.
- *Två referensgruppmöten* med Trafikverket har genomförts i november och december 2021.

Del I

Kvalitetssäkring & Kvalitetskontroll

En kartläggning utförd 2021 av Petra Bosch-Sijtsema & Susanne van Raalte

Del I: Kartläggning av kvalitetssäkring och kvalitetskontroll

Kvalitetssäkring är ett viktigt område för hela byggbranschen, men enligt Karlsson (2021) finns det stora brister i branschen (bygg- och anläggningsbranschen) avseende kvalitetsstyrning. Uppkomst av kvalitetsbrister är ofta relaterade till bristande tillämpning av kvalitetssystem och arbetssätt. En tydligare kvalitetssäkringsprocess, ett tydligt arbetssätt men även digitalisering kan ha en positiv påverkan på kvaliteten på slutprodukten.

Del 1 i rapporten är en kartläggning över hur kvalitetssäkring och kvalitetskontroller genomförs idag hos olika organisationer i Sverige; Trafikverket som beställare och tekniska konsulter som leverantörer. Erfarenheter samlas och redovisas vad gäller framtagande av kravställning, arbete med kvalitetssäkring och automatisering. Denna del utgör även ett underlag för att ta fram en behovsbild över identifierade förutsättningar för framtida implementering.

2 Begrepp inom kvalitetsområdet

Kvalitetsfrågan är ett viktigt område inom anläggningsbranschen, men trots dess aktualitet och vikt används begrepp och definitioner olika. I det här kapitlet förklaras och definieras de viktigaste kvalitetsbegreppen som är relevanta för branschen.

2.1. Kvalitet

Kvalitet är ett svårt begrepp att definiera. Enligt internationell standard definieras kvalitet som: i vilken grad en uppsättning inneboende egenskaper uppfyller kraven, dvs. behov eller förväntningar som anges, allmänt underförstådda eller obligatoriska (ISO 9000: 2000). Inom byggbranschen definieras kvalitet på en produkt som en byggnadskonstruktion som uppfyller alla avtalsenliga krav till optimal kostnad och tid (Chung 2002). Inom managementområdet för kvalitet ses kvalitet som både en överenstämmelse med krav men också en fokus på kunden (intressenter) (Gremyr et al. 2020). Till exempel Bergman och Klefsjö (2012) definierar kvalitet som att kvaliteten på en produkt (artikel eller tjänst) är dess förmåga att tillfredsställa eller helst överträffa kundernas behov och förväntningar.

Baserat på litteraturen definierar vi kvalitet som:

Kvalitet definieras av en **produkts** (artikel eller tjänst) **egenskaper** som uppfyller och överensstämmer med krav, behov och förväntningar, både obligatoriska och underförstådda, samt dess **förmåga** att tillfredsställa och överträffa krav, behov och förväntningar utifrån optimal lösning, tid och kostnad.

2.2. Kvalitetsbegrepp

Kvalitetsstyrning: Ett kvalitetsledningssystem är ett verktyg för ledningen att leda verksamheten och stötta medarbetarna i det arbete som görs (ISO 9001:2015 / SS-EN ISO 9001:2015). Det kan inkludera upprättande av kvalitetspolicyer, kvalitetsmål och processer för att uppnå dessa kvalitetsmål. Det kan ske genom arbetssätt för kvalitetsplanering, kvalitetssäkring, kvalitetskontroll och kvalitetsförbättring (ISO 9000:2015). Ämnet quality management (QM) / kvalitetsledning fokuserar på tre grundläggande principer: kundfokus, kontinuerlig förbättring och lagarbete (Gremyr et al., 2020). En organisation ska planera, införa och styra och kontrollera de processer som behövs för att uppfylla krav på att tillhandahålla produkter och tjänster (ISO 9001:2015).

Inom Trafikverket definieras kvalitetsstyrning som: att styra med olika metoder, arbetssätt och strategier för ständig förbättring och för att uppnå rätt kvalitet och uppfyllande av ställda krav (TDOK 2016:0032 Kvalitetsstyrning i upphandlad verksamhet - Entreprenad och Projekteringstjänster, version 6.0).

Kvalitetsstyrning är styrning av kvalitet genom olika metoder, arbetssätt och strategier för att uppnå kvalitet, uppfyllandet av ställda krav och ständig förbättring.

Kvalitetsäkring: Kvalitetssäkring (Quality Assurance - QA): en organisation måste upprätta och underhålla ett kvalitetsledningssystem i sin dagliga verksamhet. Ett kvalitetssystem innehåller en uppsättning dokumenterade procedurer för de olika processerna som utförs av organisationen. QA är inriktat på att förebygga kvalitetsbrister och syftar till att minimera risken för att göra misstag i första hand och därigenom undvika behovet av omarbetning, reparation eller avslag (Chung, 2002).

Kvalitetssäkring är preventiv, processorienterad och innefattar planerade och systematiska aktiviteter.

Figur 1: Schematisk illustration över kvalitetsledning.

Kvalitetskontroll: Kvalitetskontroll (Quality Control - QC) är den del av kvalitetsstyrning som fokuserar på att uppfylla kvalitetskrav med hjälp av operativa tekniker och aktiviteter. Kvalitetskontrollen som verifierar innehåll, struktur och designlösningen definieras av kvalitetssäkringens process och aktiviteter. Det är ett system för att bestämma vad man ska kontrollera eller granska, hur man kontrollerar och hur ofta man ska kontrollera. Kvalitets-

kontroll är processen att övervaka och registrera resultat som att för att utföra kvalitetsaktiviteter för att bedöma prestanda och rekommendera nödvändiga ändringar (Hashim & Salah, 2013).

Kvalitetskontroller är preventiva, är produktorienterade (inte processorienterad), identifierar risker och fel, söker problem och eliminerar dem.

Kvalitetsinspektion: Kvalitetsinspektion (Quality Inspection) är enlig ISO 9000 är en bedömning för att kontrollera att specificerade krav stämmer överens eller ej. Efter produktion krävs att produkten utför vissa funktioner. Processen för att kontrollera om produkten gör det eller inte kallas inspektion. Om resultatet av en inspektion visar överensstämmelse kan det användas för verifiering. Resultatet av en inspektion kan vara: överensstämmelse eller avvikelse eller en viss överensstämmelse.

Kvalitetsinspektion är en process för att kontrollera att en tillverkad produkt är godtagbar.

3 Standard och format

Diskussionen om standarder ska ses som en ingång till de mest grundläggande förutsättningarna vad gäller kvalitet inom planläggning och byggande av väg och järnväg. För att kunna automatisera vissa kontroller och processer blir det viktigt att använda standarder såsom ISO19650 och öppna filformat[1] som IFC Infra (BuildingSmart, 2019) och BCF. Även klassificering och kodning av objekt är en betydelsefull förutsättning men är inget som tas upp i denna övergripande kartläggning.

3.1. ISO standarder

ISO 9000/9001 - Kvalitetsledningssytem

Den internationella standarden för kvalitetsledningsområdet är ISO 9000. Standarden består av fyra standarder: ISO 9000, ISO 9001, ISO 9004 och ISO 9011. Där ISO 9001:2015 är en kravstandard som beskriver hur ett kvalitetssystem bör vara uppbyggt. Ett ledningssystem/kvalitetssystem bygger på åtta principer som påminner om hörnstenarna i QM, som beskrevs tidigare. De grundläggande principerna är kundfokus, ledarskap, medarbetarnas engagemang, processinriktning, systemangreppssätt för ledning, ständig förbättring, faktabaserade beslut och ömsesidigt fördelaktiga relationer till leverantörer. Grundtanken med ett kvalitetsledningssystem är att det kontinuerligt ska bidra till att stötta utveckling och förbättring av bland annat organisationens metoder och processer. Ofta kravställer därför beställaren att leverantören ska använda sig av ett kvalitetssystem och ISO 9001 är en standard som organisationer även kan certifiera sig mot.

[1] Trafikverket tittar idag på hur denna standard och öppna filformat som IFC ska tillämpas.

ISO 19650 – Informationshanering över livscykeln

ISO 19650-standarden[2] är en internationell standard för att hantera information över hela livscykeln med hjälp av byggnadsinformationsmodellering (BIM). År 2018 publicerades de första två i standardserien; ISO 19650-1/2. Standarden innehåller följande publikationer:

- ISO 19650-1: *Concepts and principles* (2018)
- ISO 19650-2: *Delivery phase of the assets* (2018)
- ISO 19650-3: *Operational phase of the assets* (2020)
- ISO/WD 19650-4: *Information Exchange* (2022)
- ISO 19560-5: *Security-minded approach to information management* (2020)
- ISO 19560-6: *Health and safety* (under development*)*

ISO 19650-serien drar nytta av ett systematiskt synsätt på kvalitet inom en organisation. Standarden, ISO 19650, är utvecklad enligt ISO 9001 och innehåller principerna: plan-do-check-act som är känd från kvalitetsfältet. ISO 19650 kräver implementering av kvalitetskontroller när projektdata övergår från en status till en annan, dvs. från pågående arbete till delad eller från delad till publicerad. Enligt Häussler och Borrman (2020) genomförs grundläggande modellkvalitetskontroller redan idag, främst inom ramen för modellkoordinering och dataöverlämnande till klienten. De tillämpade testerna är dock begränsad till grundläggande kollisionsdetektering och enkla kontroller för tillhandahållande av de attribut som krävs av klienten. Enligt Häussler och Borrman (2020) finns det ingen ”best practice” på hur man implementerar kontroller på hög nivå av 4D (geometri + tid) och 5D (geometri + tid + kostnader).

CEN/TC442 BIM

CEN är en europeisk standardiseringsorganisation och som stödjer arbetet med europeisk BIM standardisering och ISO 19650 genom deras tekniska kommittéer (TC). Målet för CEN/TC442 BIM är att specificera olika metoder för att definiera, beskriva, utbyta, övervaka, registrera och säkert hantera tillgångsdata, semantik och processer med länkar till geospatiala data och annan extern data som andra TC kan utgå ifrån. TC442 BIM tar fram förklarande och förtydligande dokumentation, s.k. tekniska rapporter (TR). Deras dokument EN 17412-1:2020 Building Information Modelling - Level of Information Need, part 1-4 stödjer till exempel ISO 19650-4 genom att beskriva metoder och nivåer för informationsleveranser. Samarbete med andra kommittéer som exempelvis TC287 GIS vad gäller geospatiala data, är också av stor betydelse.

ISO 19157 – Geodatakvalitet

Den internationella standarden för geodatakvalitet: SS-EN ISO 19157:2013 Geografisk Information - Datakvalitet beskriver datakvalitetsegenskaper relevanta för geodata. Standarden tar upp olika metoder för att ange kvantitativa bestämningar av geodata som kallas datakvalitetsmått. SIS (Svenska Institutet för Standarder) har tagit fram en handledning med svenska rekommendationer till standarden där man bland annat berör olika kvalitets-

[2] Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works,including building information modelling - Information management using building information modelling

kategorier och egenskaper för geografisk data, SIS/TK 323[3] Geodata och för att förstå standarden. Kvalitet ses här som hur väl krav och förväntningar uppfylls. Enligt SIS/TK 323 är syftet med ISO 19157 att ”tillhandahålla principer för att beskriva kvaliteten hos geodata och begrepp för hantering av kvalitetsinformation för geodata, samt att ge ett konsekvent och standardiserat sätt att avgöra och redovisa en datamängds kvalitetsinformation”. Syftet är även att ge riktlinjer för utvärderingsmetoder för kvantitativ kvalitetsinformation för geodata.

Standarden SS-EN ISO 9000:2015 ligger till grund för datakvalitetsstandarder och beskriver principer och terminologi centralt i arbetet runt kvalitetsledning. ISO 19131 specifikation av datamängder och ISO 19115 Metadata för geodata har en särskild koppling till ISO 19157 standarden.

3.2. RAMS och GOP – systemkvalitet och godkännande

Några exempel av olika standarder som används idag, för att bland annat säkerställa kvalitet inom järnväg och väg, är EU standarden[4] (EN 50126-1:2017) för Järnväg – RAMS (Reliability, Availability, Maintainability & Safety). Standarden fungerar som en prestandaindikation för systemkvalitet och prestanda inom järnväg. RAMS är en process som kan tillämpas redan under planeringsfasen i syfte att för att förebygga fel och att säkerställa tillförlitlighet, tillgänglighet, underhållsmässighet och säkerhet.

En annan standardprocess är GOP-processen som syftar på Transportstyrelsens Godkännandeprocess för järnväg (TDOK 2014:0072). Innan man bygger eller bygger om en järnväg måste man utreda anläggningens utseende och uppbyggnad noggrant. För att anläggningen ska godkännas krävs att europeiska och nationella krav är uppfyllda. Godkännandeprocessen följer ett antal steg för att godkänna byggandet eller ombyggnad av en järnväg[5].

Datakvalitet i Trafikverket

Trafikverket hanterar mycket data såsom väg- och järnvägsdata, geodata och trafik-informationsdata. Där t ex. vägdata är en dataprodukt som är en informationsmängd som kan vara själva vägen men också en informationsmängd kopplad till vägen. Dataprodukter är beskrivna i så kallade dataproduktspecifikationer, DPS:er som redogör för bland annat en dataprodukts innehåll, struktur och kvalitetskrav. Dataprodukt-specifikationerna och beskrivningen av kvalitetskraven i dem följer internationella standarder.

3.3. IFC - ett öppet format för digitala modeller

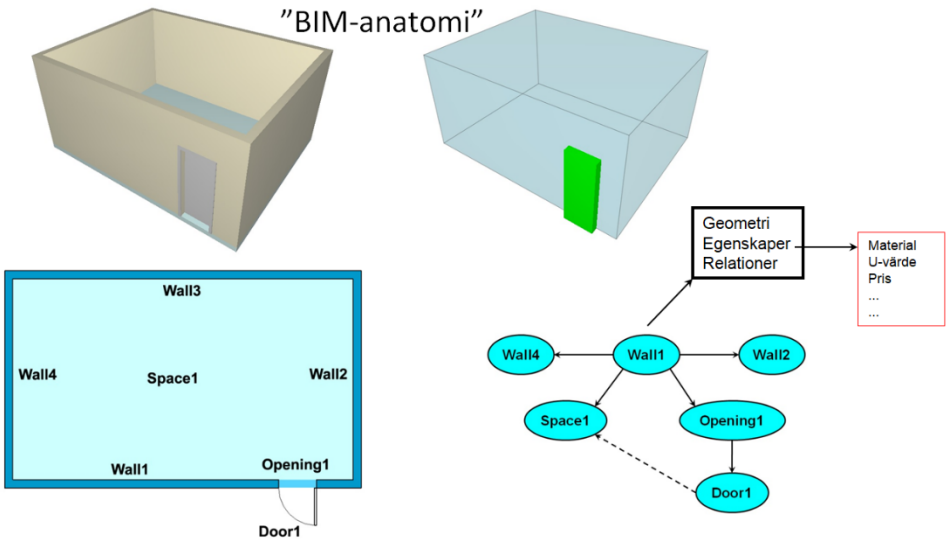
En BIM-modell kan ses som en objektsorienterad informationsmodell som representerar en byggnad eller anläggning (tunnel, bro, väg, järnväg) i detalj. I syfte att få en gemensam struktur på denna informationsmodell har branschen tagit fram IFC-standarden, vilken här används som referensmodell. Industry Foundation Classes (IFC) (buildingSMART, 2019) är BIM-standarden som syftar till att överbrygga klyftan mellan olika discipliner inom samhällsbyggnadsbranschen. IFC är ett öppet, objektbaserat filformat med en datamodell utvecklad av den internationella organisationen buildingSMART.

[3] www.sis.se/tk323 - handledning för datakvalitet

[4] EN 50126-1:2017: https://www.sis.se/api/document/get/80000348

[5] https://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/teknik/anlaggningsteknik/godkannandeprocess-jarnvag/

Något förenklat bär varje *objekt* i denna datamodell information om g*eometri*, e*genskaper*, och r*elationer*, till skillnad från en ”vanlig” 3D-CAD modell där det oftast endast finns information om material och lager. I figur 2 illustreras konceptet med ett exempel där de mer abstrakta objektstyperna *space* (rum) och *opening* (öppning) finns med.



Figur 2: BIM enligt IFC-referensformat.

Begreppen *Geometri*, *Egenskaper*, och *Relationer* kan beskrivas enligt följande:

- *Geometri*: 2D- eller 3D-representation som kan vara analytisk (parameterstyrd, exempelvis i relation till en väglinje) eller diskret (exakt linje mellan två punkter, triangel, fyrhörning, etc.).
- *Egenskaper*: Varje objekt kan ha ett obegränsat antal egenskaper eller *properties*, såsom längd, vikt, tillverkare, etc. Dessa egenskaper organiseras oftast i olika *property-set*, som gör att egenskaperna kan grupperas (allt som rör kostnader tillhör en gruppering, etc.)
- *Relationer*: Varje objekt kan ha relationer till andra objekt, exempelvis en dörr har en logisk relation till väggen som den sitter i, och den väggen har i sin tur en relation till utrymmet den är med och omsluter. Andra typer av relationer kan vara att ett ventilationsrör tillhör ett visst system, eller att ett objekt tillhör ett visst rum eller våningsplan.

IFC är registrerat som en officiell internationell standard: ISO 16739–1:2018 och har använts i branschen sedan 1990-talet. Det finns dock två stora utmaningar med IFC. Tidigare har fokus legat specifikt på byggnader och därför finns endast ett begränsat stöd för infrastrukturelement och för det andra har informationsutbytet syftat huvudsakligen till att beskriva byggfasen (Floros et al., 2019).

IFC och vägen till anläggning/infra

Hösten 2019 publicerades IFC Infra (bro, väg och järnväg), som stödjer infrastruktur, (buildingSmart, 2019). Det finns idag ingen kravställning på formatet från Trafikverket och det är få projekt som har testat formatet reellt. I en av standardiseringsgrupperna i buildingSMART, där Sverige och Trafikverket medverkar*; Infrastructure Room* eller

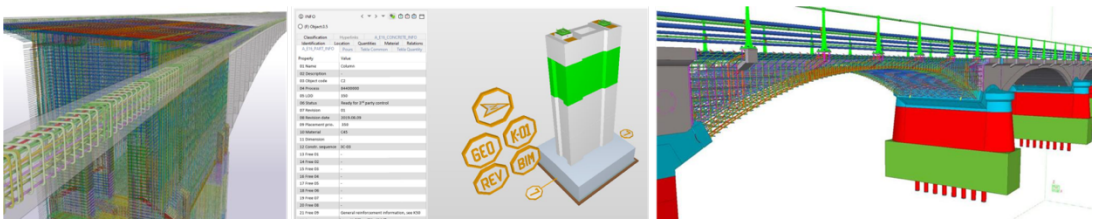
InfraRoom utökar man IFC-schemat för användning inom anläggningsprojektering. Under 2018 skapades en ny standardiseringsgrupp för järnväg, *RailRoom*. Den har som uppgift att ta fram delar för järnväg i IFC5. Trafikverket är medfinansiär och aktiv deltagare i projektet[6].

Målbilden för Trafikverket är att IFC 4.3, inom de närmsta 5 åren, ska bli en kravställd standard, istället för som nu, att leveranser sker med ett flertal icke-standardiserade format. IFC kommer att bli en viktig komponent för att få till en mer enhetlig och strukturerad informationshantering inom anläggningsbranschen.

Även om det finns senare versioner, är IFC2x3 den version som oftast används idag. Detta gäller framförallt inom husbyggnad, men tendensen är samma inom infrastrukturprojekt så som bl.a. Randselva Bron (Wiktor, 2022; Øystein och Tiago, 2021). I fallet med husbyggnad är förklaringen främst att senare versioner av IFC inte inneburit tillräckligt stora förbättringar, samtidigt som utbyte av information via IFC2x3 blivit ganska standardiserat och problemfritt. För infra har den fortsatta utvecklingen av IFC-versioner betydligt större påverkan; det är främst för denna sektor av byggbranschen som uppgraderingarna riktar sig till. Nedan följer en beskrivning av de viktigaste skillnaderna och utvecklingsstegen mellan versionerna.

IFC2x3

IFC2x3 är primärt framtagen för hus, och därmed inte anpassad för infrastruktur. Det saknasexempelvis stöd för representation av infra-specifika objekt såsom väglinjen, signalsystem. Denna version har ändå framgångsrikt använts i skarpa infrastrukturprojekt, även i s.k. ritningslösa projekt t ex Röforsbron, Randselva – se figur 3. För de objektstyper som saknas i IFC2x3 kan istället den generella objektstypen IfcBuildingElementProxy användas för att särskilja objektet från väggar, pelare, balkar, etc. Genom att lägga till en egenskap som beskriver klassificering enligt BSAB eller CoClass ges möjlighet att beskriva alla objektstyper tillräckligt bra. Det stora problemet är istället att det finns begränsat stöd i IFC2x3 för flera typer av automatisk kvalitetskontroll, exempelvis p.g.a. avsaknad av väglinje som objektstyp. Det gör det svårt att granska krav kopplade till väglinje och spårmitt. I teorin skulle IfcBuildingElementProxy kunnat användas i större utsträckning för att hantera detta, eftersom objekttypeninte är en del av IFC-standarden är det svårt att skapa en enhetlig och allmän hantering för detta. Avsaknad av standard innebär också att det saknas styrning för projekteringsverktyg. Vidare är IfcBuildingElementProxy-objekt i viss mån också ointelligenta objekt, i och med att de inte har några specifika parametrar kopplat till objektet såsom exempelvis IfcStair som förutom 3D-geometri beskriver en trappa parametriskt med stegdjup, etc.

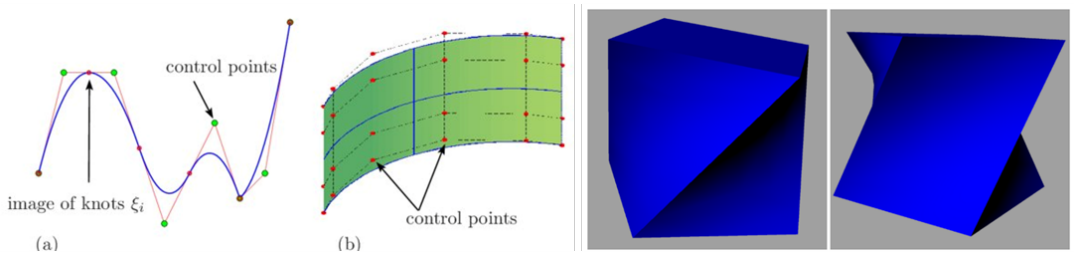


Figur 3: Exempel på användning av IFC2x3 i ritningslösa projekt så som Randselva bron (vänster) och Rörforsbron (höger) (Øystein & Tiago, 2021).

[6] https://www.bimalliance.se/om-oss/nyheter/2018/180425-tekniska-radet-paris-rail-room/

IFC4 (IFC2x3 till IFC4)

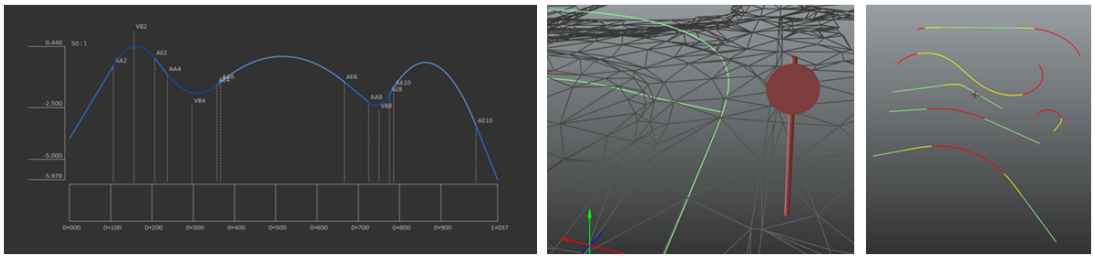
IFC4 (se tex figur 4) innebar framförallt stöd för mer komplexa geometrier, både vad gäller kurvor och ytor (B-splines, NURBS).



Figur 4: Exempel IFC4 (BuildingSmart).

IFC4.1

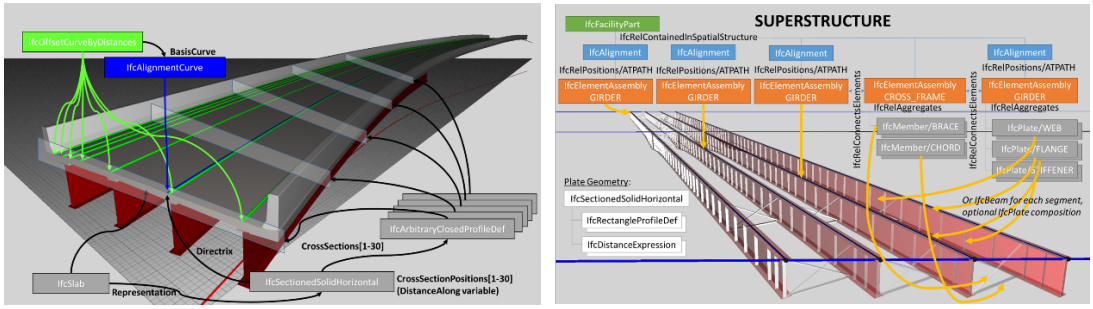
IFC4.1 (se tex figur 5) innebar framförallt stöd för IfcAlignment, dvs placering av objekt och geometri utifrån en alignmentkurva.



Figur 5: Exempel IFC4.1 (BuildingSmart).

IFC4.3

IFC4.3[7] versionen innebar fler objekt specifikt för infra, exempelvis IfcSignal och IfcRail, objekt som tidigare representerades av den generella IfcBuildingElementProxy (se figur 6).



Figur 6: IFC4.3 (BuildingSmart).

Sammanfattningsvis är det fullt möjligt att genomföra ”ritningslösa”, modellbaserade projekt med IFC2x3 trots att versionen saknar många infra-specifika objekttyper. För att kunna genomföra automatiska kvalitetskontroller krävs dock IFC4.1 eller t.o.m. IFC4.3, framförallt för objekt med koppling till väg- eller spårmitt.

[7] IFC4.2 drogs tillbaka och blev ingen formell standard men allt flyttades till IFC4.3.

3.3.1. IFC och Model View Definition (MVD)

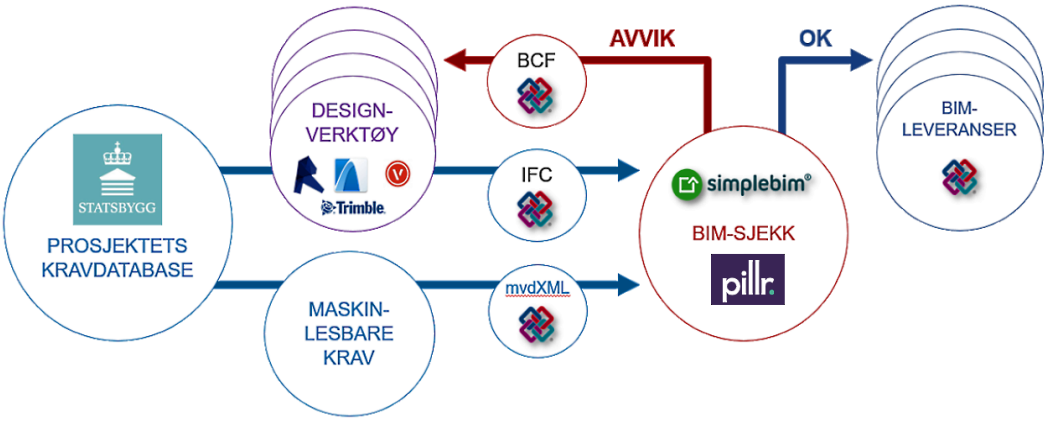
Information Delivery Manual (IDM) och Model View Definition (MVD) används för att definiera vilken information som ska utväxlas mellan olika parter och applikationer. IDM används för att beskriva och överenskomma vad som ska levereras för ett givet ändamål, MVD används sedan i programvara för att automatisera export, import och verifiering av leveranser[8].

Enkelt sett kan en Model View Definition (MVD) liknas vid ett krav på *ett subset av hela IFC-standarden*, både i form av vilka objektstyper som stöds (Exempel: Tillåts komplexa geometridefinitioner såsom klotoider), men även vilka egenskaper som förväntas (exempelvis om väggar ska ha en parameter med U-värde). En MVD är primärt behovsstyrd.: För tidiga energiberäkningar i ett projekt, ehövs en viss typ av b information i IFC-filen. För mängdavtagning och kalkyl, ställs det andra krav, med en annan MVD. En MVD ställer alltså krav på en delmängd av IFC-standarden utifrån behov baserat på vad modellen ska användas till (tillämpningsområde). För att underlätta kravställningen finns konceptet mvdXML som är maskinläsbara MVDer (se avsnitt 3.3.2).

3.3.2. Maskinläsbara MVDs - mvdXML

MVDer har tagits fram och beskrivits och dokumenterats på lite olika sätt genom åren. Gemensamt har dock varit att de alltid krävt någon form av mänsklig tolkning. Numera finns dock stöd för *maskinläsbara* MVDer, så kallade mvdXML.

Som exempel använde tidigare Norska Statsbygg enbart Solibri för kvalitetskontroll av BIM-modeller (genom ett antal regelset). Utifrån de befintliga kraven gjordes dock en översyn, där de krav som kunde göras om till maskinläsbara konverteras till mvdXML. I detta fallet användes den molnbaserade kravdatabasen BIMQ för skapande av mvdXML. Genom att sedan använda en BIM-viewer (dvs. programvara för att titta på modelen) med stöd för mvdXML-kontroll, såsom SimpleBIM, FZK Viewer, eller xBIM Viewer är det möjligt att göra en kontroll på en IFC-fil enbart utifrån denna mvdXML. I och med detta så kan automatiska leveranskontroller genomföras enligt processen i figur 7. Denna filosofi och process refererar numera till *SIMBA: Statsbyggs BIM-krav*.



Figur 7: Exempel från Statsbygg BIM-krav – SIMBA (https://sites.google.com/view/simba-bim-krav/hjem).

[8] https://www.bimalliance.se/for-dig-inom-bygg-och-forvaltning/standarder-for-digital-informationshantering/idm-och-mvd/

Enklast är att se en mvdXML som ett ruleset/regelset, dvs den innehåller regler för hur objekt och parametrar ska kontrolleras. exempel visar en regel för att kontrollera att parametern "ThermalTransmitance" finns tillgänglig för de objektstyper som *ska* ha den. De objektstyper som ska ha parametern inkluderar bl.a. väggar, fönster, och dörrar, och de har PropertySet som heter Pset_WallCommon, Pset_WindowCommon, etc. Reglerna i mvdXML stödjer användning av en asterix (*) för namn, och även användning av ett referensvärde för parametern. Något förenklat anses regeln uppfyllas om a) PropertySetName är lika med Pset_*Common b) PropertyName är lika med ThermalTransmitance samt c) PropertyValue är större än 0.0. Skulle däremot värdet på ThermalTransmitance saknas eller vara noll (0.0) så sker en varning att denna kontroll/regel inte är uppfylld, se figur 8.

```
</Requirements>
<TemplateRules operator="and">
<TemplateRule Parameters="PropertySetName[Value]=reg'Pset_.*([A-Z]|[a-z])Common' and SimplePropertyName[Value]='ThermalTransmittance' and NominalValue[Value] > '0.0'"/>
</TemplateRules>
```

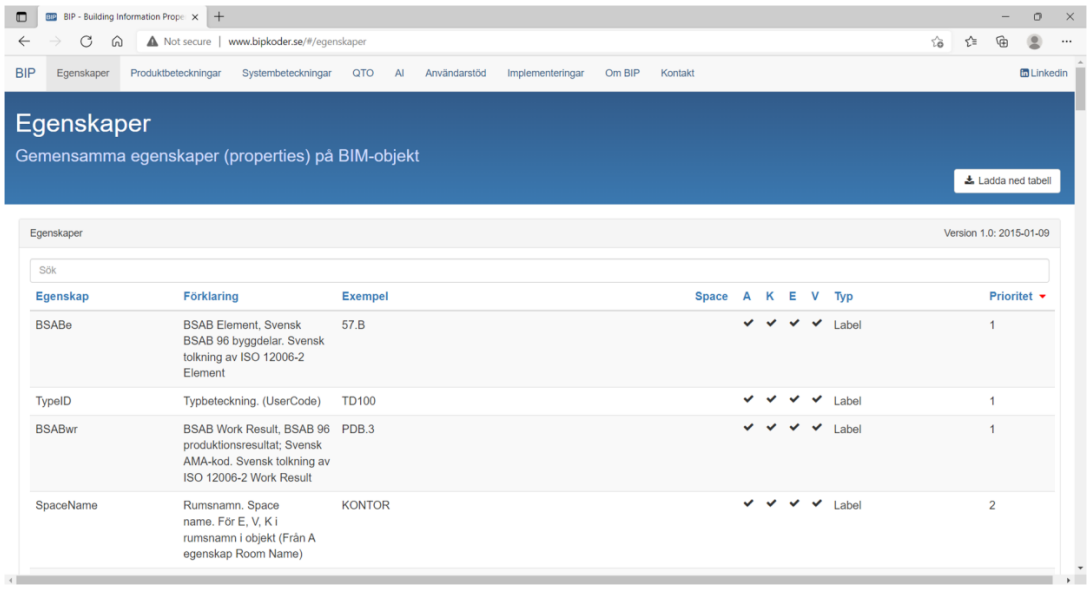
Figur 8: Exempel på attributkontroll i mvdXML.

En informationsleveransspecifikation (Information Delivery Specification, IDS) är ett datortolkbart dokument som definierar utbyteskraven för modellbaserat utbyte. Den definierar hur objekt, klassificeringar, egenskaper och till och med värden och enheter måste levereras och utbytas. Denna standard används för att definiera rätt nivå av informationsbehov (level of information need). Inom BuildingSmart utvecklas nu kravställning och kvalitetssäkring av modeller baserat på IDS som successivt kommer att tar över efter mvdXML[9].

3.3.3. Egenskaper och namngivning av attribut

När det gäller egenskaper, d.v.s. attribut (Properties) och gruppering av attribut (PropertySet) så finns en föreslagen struktur och namngivning enligt IFC-standarden (skiljer sig mellan de olika versionerna). Inom husbyggnad har dock en alternativ nationell standard tagits fram i form av BIP (www.bipkoder.se – se tex figur 9), vilken används av många aktörer. Förutom struktur och namngivning finns även typidentifiering och klassificering (enl. BSAB). Här lyfts ofta enkelheten och öppenheten fram som drivkraft och argument för användning, då all information kopplat till BIP finns lättillgängligt och sökbart på webben tillsammans med användarstöd i form av instruktioner och exportmallar för olika BIM-system.

[9] https://technical.buildingsmart.org/projects/information-delivery-specification-ids/



Figur 9: Exempel BIP-koder.

Vidare ställer större entreprenörer och beställare krav på attribut och information i "egna" PropertySet. Dessa kan i många fall var dubbletter på attribut som IFC-standarden placerat på andra ställen, men fördelen är att kunna få all den viktigaste informationen samlat på ett ställe med svenska namn. Drivkraften är att få samma informationsstruktur i alla projekt.

3.4. BCF - ett öppet kommunikationsformat

BCF[10] (BIM Collaboration Format), är en öppen internationell standard, utvecklad 2009 och förvaltad av BuildingSMART International. Formatet tillåter olika BIM-applikationer kommunicera med varandra om och med digitala modeller, genom att ta ut grundläggande information från dem. BCF baseras på XML-formatet (bcfXML) och stödjer hantering av ärenden och synpunkter i IFC-modeller, vilket underlättar kommunikation och samarbete mellan olika projektmedlemmar och andra intressenter. BCF utbyter alltså inte geometrisk information utan illustrerar vyer och hanterar ärenden som behöver lösas.

Tillämpningen består i att en ögonblicksbild, en vy över problemområdet, hämtas från modellen och kopplas ihop med en kommentar/synpunkt. Det är alltså information som enkelt kan delas oberoende av projekteringsplattform. BCF säkerställer också spårbarhet genom historik och unika ID (GUID) för varje ärende. Det är även möjligt att använda vissa attribut för att ta fram effektiva arbetsflöden.

Ett viktigt användningsområde för BCF är därmed hantering av synpunkter och dokumentation vid kvalitetssäkring och kvalitetskontroll, av och med digitala modeller, i både projekterings- och produktionsfasen.

[10] https://technical.buildingsmart.org/standards/bcf/

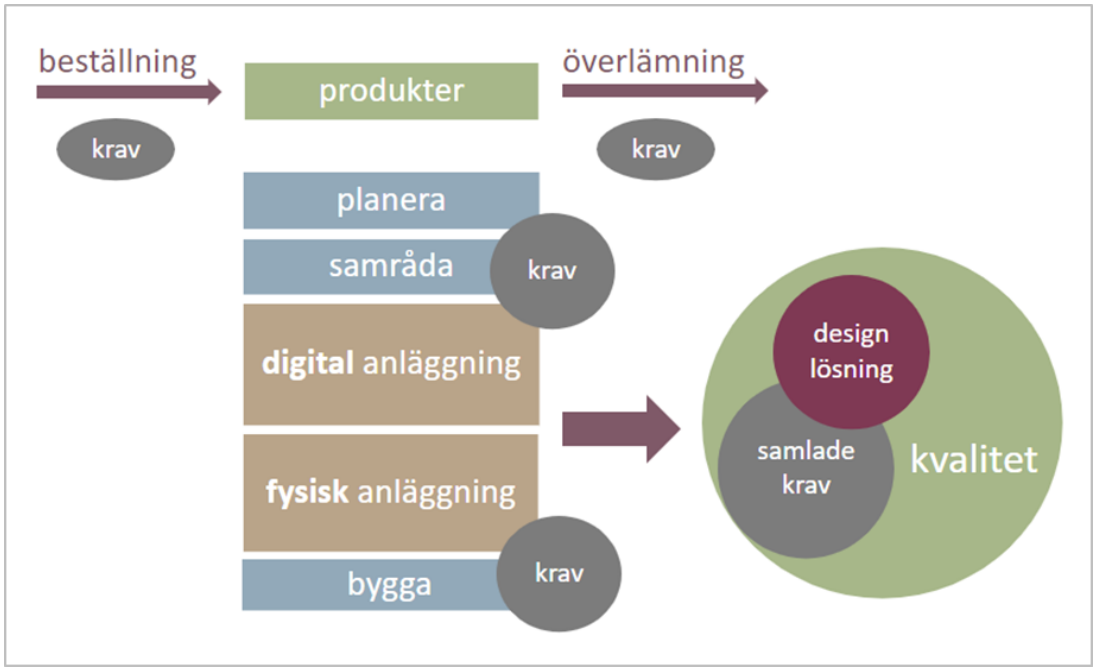
4 Kvalitetssäkring i Trafikverket

4.1. Planering och åtgärder av väg och järnväg

Trafikverket ansvarar för långsiktig planering av transportsystemet för alla trafikslag samt för byggande, drift och underhåll av statliga vägar och järnvägar. Verksamhetsområdena Investering, Stora projekt samt program Nya stambanor ansvarar för upphandling, genomförande och uppföljning, ombyggnadsåtgärder och nyinvesteringar. Investeringsprojekten kan vara små, stora, megastora och mer eller mindre komplexa. Beställning av åtgärder görs från verksamhetsområde Planering eller Underhåll.

Inom skedena planläggningsprocess och produktion ska en digital anläggning, en digital motsvarighet till den planerade fysiska anläggningen tas fram och användas. Produkterna, den digitala och den fysiska anläggningen överlämnas vid färdigställande till underhåll och förvaltning.

Det finns idag krav på både den digitala och den fysiska anläggningen vad gäller struktur, innehåll och lösning. Ofta specificeras de utifrån aspekterna; teknik, säkerhet, funktion och utförande. Krav på spårbarhet och krav från underhåll och förvaltning ska tas hänsyn till redan i ett tidigt skede (se figur 10).



Figur 10: Övergripande illustration över den samlade kravbilden och kvalitetssäkring utifrån krav och designlösning för den digitala och fysiska anläggningen.

I samband med att åtgärder utförs måste rätt kvalitet säkerställas, i förhållande till åtgärdens krav och behov. Kvalitetssäkring och kvalitetskontroller sker utifrån aspekterna process, organisation och produkt och som stöd till arbetet med kvalitetssäkring och krav inom planläggnings- och produktionsprocessen finns bland annat; ett styrmedel: *GÅ-processen* för att genomföra åtgärder (se 4.3.1**Error! Reference source not found.**), ett regelverk: *TRV Infra* och arbetssätt som till exempel: *Systematisk kravhantering* (se 4.2.1).

4.2. Kravställning och kravhantering

För att säkerställa en produkts kvalitet är det viktigt att dess egenskaper uppfyller och överensstämmer med krav, behov och förväntningar, både obligatoriska och underförstådda. En förutsättning för en smidig kvalitetssäkring är därför en bra kravställning. I detta kapitel beskrivs kravställning och kravhantering hos Trafikverket, i egenskap av kravställare och kravägare.

Krav kan definieras på olika sätt beroende på kontext. En av definitionerna som används inom investeringsverksamheten på Trafikverket är: *Ett krav är ett nödvändigt attribut hos ett system, ett påstående som identifierar en förmåga, ett särdrag, eller en kvalitetsfaktor hos ett system som innebär att det har värde och nytta för en kund eller användare. Ett krav är något som måste uppfyllas för att allt ska fungera så som det är tänkt.*

4.2.1. Arbetssättet systematisk kravhantering

Inom Trafikverket använder man sig av systematisk kravhantering. Systematisk kravhantering är en metodik för att hantera krav under hela planläggnings- och byggprocessen, från tidigt skede till drift, på ett systematiskt sätt (Svensson Tengberg och Strand, 2019).

Syftet med systematisk kravhantering i investeringsprojekt, enligt handledningen TDOK 2012:1025, är att säkra att kraven på anläggningen är kända, att inga krav förloras under projektens gång och att det i slutändan kan visas att kraven har uppfyllts. Kraven kommer från olika källor som myndighetskrav, drift- och underhållskrav, teknikkrav samt övriga interna och övriga externa krav (se figur 11).

Trafikverket använder systematisk kravhantering som är en metod för att samla in och följa upp krav. Den består av sju grundelement:

1. Identifiera krav – så att alla förutsättningar finns med från början
2. Formulera krav – kraven ska vara entydiga och begripliga
3. Acceptera krav – så att det är klart att kravuppfyllarna har förstått kraven
4. Systematisera krav – så att de är ordnade, bedömda och fördelade till kravuppfyllare.
5. Verifiera krav – så att det är kvalitetssäkrat att kraven tagits omhand i nästa steg.
6. Validera krav – så att det är bevisat att begärda funktioner uppnåtts.
7. Håll spårbarhet – så att resultatet kan spåras från ursprungliga och ändrade krav

Processen är iterativ och punkt 2 till 5 repeteras med ökande detaljeringsnivå allteftersom.

Trafikverket använder kravhanteringssystemet IMB Doors Next Generation (DNG) som är en databas för kraven. Övriga aktörer arbetar oftast utanför, dvs. med exporterade listor från kravhanteringssystemet (Svensson Tengberg och Strand, 2019).

Enligt Uludag (2017) är ett systematiskt kravhanteringssystem (requirement engineering) en process som består av två delar: (1) kravutveckling (requirement development) var man samlar in krav från olika intressenter följt av uppgifter där man måste analysera, förhandla och utveckla en specifikation. (2) kravhantering (requirement management) som besvarar frågan hur man hanterar krav som består av 4 olika steg: identifiering av krav, spårbarhet, förändringsledning av krav och planering av kravhantering.

För arbetssättet systematisk kravhantering ingår olika roller där *kravhandläggaren* (kravspecialisten) är ansvarig för kravhanteringsprocessen, vilken innebär att anläggningsspecifika krav identifieras och följs upp systematiskt. *Kravställaren* är den som ställer kraven på projektet och *kravägaren* ingår i projektet från beställarsidan och fastställer och är

ansvarig för t ex krav inom vissa ämnesområden. En *kravuppfyllare* ska uppfyllt ett visst antal krav i projektet (TDOK 2012:1025), är oftast en kontrakterad leverantör. Inom ramen för systematisk kravhantering definieras några viktiga begrepp enligt nedan:

Spårbarhet definieras som förmågan att beskriva och följa ett kravs livscykler från ursprunget genom dess utveckling (Mirnezami, 2015).

Verifiering och validering är processer för att kontrollera att en produkt, tjänst eller system uppfyller specifikationerna:

Verifiering: **kvalitetskontroll** används att utvärdera om en produkt, tjänst, system uppfyller specifikationer, föreskrifter, eller villkor, se TDOK 2012:1025 *"Har vi med oss alla ställda krav?*" För att verifiera krav idag används projektets kontrollprogram av kravuppfyllaren för att säkerställa att de har inarbetats i produkten. Detta ska anges med en referens som kan kontrollera kravuppfyllnaden av projektet.

Validering: **kvalitetssäkringsprocess** för att upprätta bevis att en produkt, tjänst, system åstadkommit det som överenskommits utifrån ställda krav, se TDOK 2012:1025 *"Uppfyller det vi bygger intentionen med kraven?*". Projektets kontrollprogram används här för att säkra att ställda krav är uppfyllda i produkten.

4.2.2. Kravställning och typer av krav

Krav som behöver hanteras kan vara av olika typ. Inom systematisk kravhantering delas krav upp i anläggningskrav, genomförandekrav och krav på dokumentation medan projektets kontrollprogram har en annan indelning, se 4.3.1. Här nedan tolkas olika källor för att få fram ett tydligt underlag till utvecklingen av kvalitetskontroll för digitala modeller.

Krav kommer från olika källor det vill säga från kravställare med sina respektive behov och kan delas upp i interna och externa där de interna är Trafikverkets egna behov som beställare och byggherre och de externa är de som kommer från intressenter eller är rena lagkrav/ standarder (se figur 11).

Interna krav

- **Regelverk** Trafikverkets styrande och stödjande dokument finns idag som TDOK och i DNG databasen TRVInfra.
- **Systemspecifika krav** är krav som ställs på ett helt system som till exempel TSK (Tekniska System Krav) för höghastighetsjärnväg som är kompletterande krav på anläggningen för att kunna köra i högre hastighet. TSK kraven finns samlade i DNG.
- **Projektspecifika krav** från Trafikverket är krav som är relaterade till vilken typ av anläggningsprojekt det gäller. Det finns exempelvis **anläggningsspecifika krav** för väg (AKV) respektive järnväg (AKJ). Ett projektspecifikt krav är ett krav som är speciellt för just det aktuella projektet. Idag finns AKJ för plan skedet inlagt i DNG.

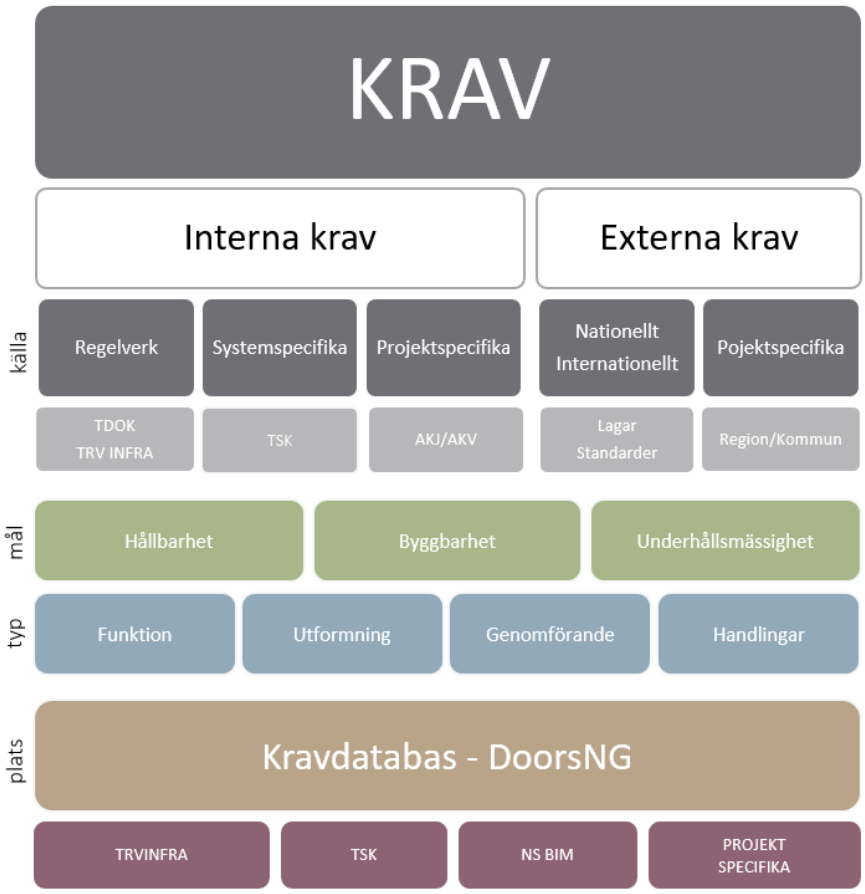
Externa krav

- **Nationella och/eller internationella krav** är krav som kommer från övergripande organ och kan vara lagkrav, standarder eller krav från myndigheter. Det kan exempelvis vara lagkrav om klimat, miljö och arbetsmiljö.
- **Projektspecifika krav** är krav från externa intressenter som en region, kommun eller lokal anläggningsägare vilka berörs av projektet. Det kan vara en precisering av ett generellt krav eller ett krav som ställs av annan intressent, specifikt på det aktuella projektet (TDOK 2012-1025). Dessa krav definieras i tidigt skede, ofta i samspel

mellan beställare och leverantör (konsulter/entreprenörer). Ett projektspecifikt krav är ett krav som är speciellt för just det aktuella projektet.

Typ av krav

Det finns många olika typer av krav som ska hanteras. Både krav på själva anläggningens utformning och funktion men också på hur anläggningen påverkar sin omgivning både under byggtiden och vid slutlig användning. De vanligaste är krav på funktion, utformning, genomförande och dokumentation (se figur 11). Kraven bör vara överensstämmande med projektmålen samt de övergripande målen inom Trafikverket som exempelvis hållbarhet, byggbarhet och underhållsmässighet. Inga krav är idag anpassade/skrivna för maskinläsbarhet.



Figur 11: Tolkad översikt av kravställning och kravhantering i Trafikverket. De mörkgråa boxarna beskriver var kraven kommer från med ljusgrå boxar som exempel. De blå boxarna beskriver vilken typ av krav som kan förekomma och de gröna boxar är exempel på övergripande mål och krav. Lila boxar är exempel på kravdatabaser för regelverk och system- och projektspecifika krav, se 4.2.4.

Krav på funktion: ett funktionskrav för en anläggning anger vilken funktion som ska kunna utföras i anläggningen/systemet i den slutliga situationen. Många anläggningskrav är idag funktionskrav. Men ett funktionskrav kan också vara ett övergripande krav på en anläggningsdel som medger en större frihet för leverantör att hitta en bra lösning. Ett övergripande funktionskrav kan även vara krav på utformning, genomförande och handling.

Krav på utformning: krav på en anläggning och dess omgivning kan ha olika karaktär och definieras utifrån perspektiven teknik, miljö och gestaltning. Kraven beskriver ofta en

anläggnings egenskaper. Ett krav på utformning kan också vara ett övergripande funktionskrav.

Krav på genomförande: krav på att beskriva processer och arbetssätt för framtagande av innehåll, tekniska lösningar och kvalitetssäkring av produkter eller system. Det kan också vara krav på möten, leveranser, kompetens eller anvisning för hur den digitala eller fysiska anläggningen ska byggas. Ett krav på genomförande kan också vara ett övergripande funktionskrav.

Krav på handlingar: Det finns krav på vilken dokumentation och vilka produkthandlingar (text, ritning, karta, modell och analys) som ska tas fram och levereras för godkännande. Men krav finns även på hur de ska vara strukturerade och ibland också på hur de tas fram och används (krav på genomförande). Ett krav på en handling kan även vara ett övergripande funktionskrav.

Övergripande mål och krav

Det finns ett antal övergripande mål och krav som ska tas hänsyn till under både planläggnings- och förvaltningsskedet. Delar är inarbetade i kravställningen men är ofta inte helt tydliga. Exempel på dessa är *hållbarhet*, *byggbarhet* och *underhållsmässighet* (se figur 11). De övergripande kraven är viktiga inom Trafikverket men de kan vara svåra att definiera och mäta vilket innebär att de också kan vara svåra att kontrollera utifrån ett kvalitetsperspektiv. Här blir därför en tydlig kravställning central för att nå målen men likaså är visualisering ett grundläggande verktyg för ökad kommunikation och bättre förståelse.

Hållbarhet inom Trafikverket delas in i ekonomisk, ekologisk och social hållbarhet. Exempel på ett hållbarhetskrav är anläggningens hälsopåverkan såsom reducering av buller eller tillgång till frisk luft. Dessa krav handlar mycket om osynliga värden och konsekvenser som är svåra att mäta, förstå och kommunicera. För att kunna ta beslut om påverkan utifrån buller, luft och Co2 blir visualisering viktigt för att kommunicera och öka förståelse av målet om hållbarhet (se figur 12). I projektet *MiljöVis - Effektiv representation av miljödata* tittar man bland annat på visualisering av buller utifrån färgskalor, symboler och geometriska former (Stahre Wästberg, et al. 2021).

Figur 12: Koncept för visualisering av buller från rörlig källa, Chalmers.

Byggbarhet handlar om att i förväg säkerställa att en anläggning kan byggas på ett effektivt och genomförbart sätt. Inom Trafikverket är byggbarhetsanalyser och produktionsplanering viktiga aspekter att ta hänsyn till redan i de tidiga skedena.

Ett PM Byggbarhet ska alltid tas fram. Det beskriver utbyggnads principer och arbetsintensiva områden inom projektområdet med fokus på arbetsmiljösäkerhet (skyddszoner, släntlutningar, schaktdjup, bygghöjder), teknisk byggbarhet (metodval/utrymme för maskiner, tillgänglighet för maskiner), trafik (hur trafik och trafikant leds förbi arbetet på ett säkert sätt), järnvägssäkerhet (”tid i spår” för specifika arbeten) och tillgänglighet (etablering av maskiner i spår vid spårarbeten, masstransporter, tillförsel nytt material).

Att också visualisera (i 3D) utrymmesbehov (”fria rummet”) etapplösningar och konsekvenser i kritiska områden, innan byggskedet, ger ett mervärde genom tydligare beslutsunderlag.

Underhållsmässighet avser hur enkelt och säkert det är att utföra underhåll av/på en anläggning utifrån åtkomst, utrymme, aktiviteter och tid. Det är en del av driftssäkerheten. Många krav på underhållsmässighet kommer från behovet i förvaltningsskedet.

I en förstudie, *Visualisering av inspektionshandlingar i 3D* (Ek, 2018) påvisades behov av visualisering för att underlätta arbetet med att följa och ajourhålla åtgärder för underhåll och inspektion. Förstudien innehåller exempel inom berg, betong, geo och miljö. Diskussion förs här kring digitala modellers koppling till trafikverkets inspektionsdatabas BaTMan och hur de kan användas för att dra uppmärksamhet till viktig information Det pågående verksamhetsutvecklingprojektet HDMI AP2 tar också upp behovet av digitala modeller i tillgångsförvaltningen, se 7.6

4.2.3. Kravdatabas Doors NG

Det finns många kravdatabaser som används inom Trafikverket som exempelvis TRVInfra för tekniska regelverket (förmedlas till trots fortfarande som dokument), TSK för systemspecifika krav vad gäller höghastighetsjärnväg och NSBIM för krav om BIM inom programmet Nya Stambanor. Många projekt har även en egen kravdatas för deras anläggnings- och projektspecifika krav. De använder alla samma system; DNG (Doors Next Generation). Systemet används främst inom verksamhetsområde Stora projekt och Nya Stambanor, se kap. 7.5.

Målet är att, när ett nytt projekt startar, importera krav från olika databaser till en projektdatabas. Men att jobba med kravdatabaser tar tid och kräver nya arbetssätt. Idag bygger alla stora projekt sin egen kravprocess eftersom den inte finns definierad i GÅ-processen, se 5.3.1. Det finns exempelvis funktioner för att arbeta med kravuppfyllnad i DNG som inte nyttjas i någon större omfattning idag. Att följa upp kraven ger dock en bra indikation på framdrift i projekt, speciellt då infrastrukturprojekt är väldigt långa, 10-20 år. Genom att successivt verifiera kraven och exempel identifiera de som inte behövs, kan kravhantering också bidra till att kostnaden minskar som i projekt Norrbottniabanan som sparade cirka 108 miljoner på att bara ta bort ett krav.

4.2.4. Uppföljning av krav och kvalitet på produkt

När kvalitetssäkring utförs kan skilja sig åt beroende på vad som är överenskommet inom det specifika projektet. Men en leverans ska alltid kvalitetssäkras av beställaren, det är bland annat det som definierar en leverans. Det som däremot inte är kravställt att kvalitetssäkras av beställaren, klassas som en delning av arbetsmaterial. Trafikverket använder olika arbetssätt vid olika tillfällen för att följa upp och kontrollera kvalitet på produkter:

Slutleverans: tillfälle då den slutliga produkten levereras. Kvalitetssäkras alltid

Delleverans: en delleverans är att betrakta som en milstolpe för leverantörens arbete med produkten. Definieras i projektets arbetssätt för delleveranser. Delleveranser kvalitetssäkras alltid.

Delgivning/delning: leveranser som sker löpande under uppdragets gång, ofta arbetsmaterial. Kvalitetssäkras vanligen inte.

Succesiv acceptans: arbetssätt som främst används under byggskedet för att få till högre kvalitet på handlingar och för att tidigare ge leverantören en trygghet i att de är rätt ute i sin projektering. Genom att gemensamt hitta rätt nivå i projekteringen och att delar av anläggningen kan accepteras separat, kan principiella beslut kan tas tidig. Kontroll och godkännande av projekterade bygghandlingar sker genom acceptans via successiv acceptansmöten och protokollförs i s.k. successiv acceptans-mötesprotokoll som signeras av beställare och leverantör.

Succesiv uppföljning: arbetssätt för att samverka mer och successivt följa upp leverantörernas arbete såsom arbetsmaterial och handlingar med avseende på förutsättningar, risker, kravbild och regelverk Resulterar i mindre arbetsbelastning och färre fel vid del- och slutleveranser. Är inte detsamma som successiv acceptans.

Succesiv uppföljning i stora och komplexa projekt

Inom verksamhetsområde Stora projekt har vissa projekt infört successiv uppföljning som ett arbetssätt för beställaren att säkerställa att leverantören tar sitt ansvar och levererar enligt kontraktet genom att successivt följa upp leverantörernas arbetsmaterial. Det innefattar inte kvalitetssäkring av planerade leveranser. I den successiva uppföljningen lämnas inga formella synpunkter. Successiv uppföljning ska inte blandas ihop med successiv acceptans som är ett arbetssätt för formell accept av utvalda delar av en arbetshandling. Enligt Dalmalm och Vedin (2018: sida 13) är ”*succesiv uppföljning av leverantörernas arbete är ett flexibelt arbetssätt att samverka, att jobba tillsammans, och går därför inte att definiera exakt. Det handlar om att anpassa graden av stöd till leverantören, utifrån hur väl vi definierat uppdraget och leverantörens kompetens och erfarenheter*”.

Syftet med en vanlig granskning är att avgöra om en slutleverans är utförd enligt beställning och att den uppfyller ställda krav. Syftet med succesiv uppföljning är att öka samverkan och erfarenhetsutbyte mellan leverantörer och beställare, ge utrymme för innovation och höja kvalitén i levererade handlingar, men framförallt att minimera risken för att dyra grundläggande fel upptäcks i ett alltför sent skede och därmed undvika onödigt arbete och för stora kostnader. Enligt Dalmalm och Vedin (2018) kan fördelningen mellan succesiv uppföljning och granskning variera per projekt. Succesiv uppföljning sker idag mestadels i uppdragsstarten av projektet, och granskning sker först när projektet börjar färdigställas. I långa, stora och komplexa projekt används därför också krav på kvalitetssäkrade delleveranser.

I arbetssättet succesiv uppföljning är beställarens specialister, inom olika ämnesområden, viktiga för att öka samverkan och att kunna följa upp och ge råd baserat på kunskap om regelverk och deras individuella kompetens och erfarenhet och. Syftet är att tidigt säkerställa att alla krav i kontrakt, överenskommelser och regelverk är tydliga och verifierbara. Om successiv uppföljning kompletteras med en gemensam kvalitetssäkring, av och med digitala modeller, kan kvalitén på levererade handlingar öka ytterligare (se 7.8).

Leverantören har fortsatt ansvar för att de handlingar som ska levereras är tillräckligt bra. Leverantörens ansvar är också att söka stöd hos Trafikverket för att förankra föreslagna lösningar och efterfråga erfarenheter eller underlag för att kunna utföra arbetet.

Ett resultat av att använda successiv uppföljning är att man samtidigt uppnår en ökad tillgänglighet, transparens och tillit inom uppdraget.

4.3. Kvalitetssäkring och kvalitetskontroll

4.3.1. Process för kvalitet i ledningssystemet – XLPM metodik

Trafikverket har ett antal **huvudprocesser** som samlas i ett **ledningssystem** varav GÅ-processen är en av dem. GÅ-processen står för Genomföra åtgärder på vägar och järnvägar är en av processerna inom Trafikverkets ledningssystem som används för investeringsprojekt.

Inom ledningssystemet använder investeringsprojekt GÅ-processen för att genomföra åtgärder. En specifik metodik som används är XLPM: som är en *projektmodell- och projektledningsmetodik,* vilken är utgångspunkten för investeringsprojekten i GÅ-processen.

Enligt XLPM metodiken är syftet med kvalitetsstyrning i projekt att *"säkerställa att projektets slutresultat uppfyller de formulerade kraven och att projektet genomförs i enlighet med gällande processer och arbetssätt*". Detta görs genom att välja ut de krav som ska följas upp, utifrån projektets totala kravmassa, upprätta ett kontrollprogram för projektet samt genomföra och dokumentera kontroller i enlighet med kontrollprogrammet.

Alla investeringsprojekt har ett kontrollprogram. I programmet anges kontrollplaner för egenkontroll och för hur beställar-, byggherre- och anläggningsspecifika krav ska hanteras. Egenkontroll avser egenkontroll av projektorganisationens interna leveranser och planeras utifrån förutsättningar att handlingar och interna krav är avgörande för bra kvalitet i efterföljande led. Byggherrekrav avser krav som omfattar Trafikverkets verksamhet. Trafikverket har ansvar för att gällande lagar, förordningar, föreskrifter, beslut och risker följs upp, kontrolleras och efterlevs. Beställarkrav avser därför projektets uppföljning av leverantör.

Inom XLPM står följande text om kvalitet:

Kvalitetssäkring *"innefattar alla planerade och systematiska aktiviteter som implementeras inom kvalitetssystemet för att trygga att projektet och dess leveransobjekt uppfyller relevanta kvalitetsstandarder"*. Viktiga aktiviteter för kvalitetssäkring enligt metodiken är: projektmilstolpegranskningar, TG-bedömningar, övervakning och mätningar av projektgenomförande, projektrevisioner och projektutvärdering.

Kontrollera kvaliteten *"innefattar att övervaka vissa projektresultat, för att fastställa om de överensstämmer med relevanta krav och identifiera sätt att undanröja orsaker till otillfredsställande resultat*." Viktiga aktiviteter för kvalitetskontroll är enligt metodiken: övervakning av och kvalitetsrapportering för projektets slutresultat, kontroll av kvaliteten i arbetsprocesser och kontroll av kvalitetsändring.

I intervjuerna framgår det att man kan hämta inspiration för kvalitetsarbete från XLPM, men att det också saknas en del i metodiken vad gäller kvalitetssäkring. Det finns några arbetssätt för kvalitetsarbete framtagna inom Trafikverket men det fattas fortfarande en gemensam process för detta.

I XLPM finns vissa mallar och kontroller på plats för att säkerställa att stickprov, uppföljning, projektredovisningar och projektutvärderingar sker. Kontroll av kvaliteten i arbetsprocessen sker genom leverantörsuppföljningar, olika mätningar och oberoende granskning av internt arbete. Men arbetet behöver förtydligas internt; inte alla definitioner är på plats, dokumentation och fler mallar behövs som stöd. Det krävs också mer stöd och resurser att följa upp det interna arbetssättet samt beställarens egenkontroll. En annan faktor som lyfts upp i intervjuer är att man, inom Trafikverket, behöver mer resurser för kvalitetsarbete, nu har många specialister en pressad vardag.

Kravställningen kring kvalitet är också en viktig punkt som kommer upp i vissa intervjuer. Just nu ställer Trafikverket krav på egenkontroll hos leverantören, men den egenkontrollen kan tolkas på olika sätt. Det blir relevant att tydliggöra rollerna mellan beställaren och leverantören och definiera begrepp tydligare i kravställningen.

Sammanfattande från intervjuerna så anser man att det behövs mer fokus på de olika aktiviteter som ingår i kvalitetsarbetet inom ett projekt. Begrepp måste tydliggöras liksom den gemensamma arbetsprocessen och en tydligare kravställning av kvalitet för leverantören bör tas fram. Det behövs mer stöd i form av mallar, checklistor och resurser internt.

Från enkäten har ett antal öppna svar om kvalitetssäkringsprocessen anförtrotts. Några personer skriver att det finns verktyg men att det behövs tydliga processer och roller för alla teknikområden och att det inte finns något etablerat arbetssätt/arbetsprocess för kvalitetssäkring just nu. Enkäten visar att det finns behov för utbildning inom kvalitetssäkring men också ett behov av fler resurser.

4.3.2. Organisation – stöd för kvalitetssäkring

Speglad organisation

I stora projekt speglas ibland projektorganisationerna (beställare och leverantör) vilket kan underlätta dialog och samarbete då alla har en ”egen” motpart. Det underlättar arbetet med kvalitetssäkring av produkter som genomförs av teknik- och miljöspecialister, BIM specialister och andra projektmedlemmar. Trafikverkets specialister kontrollerar om kraven har uppfyllts utifrån dokumenterad kravställning och erfarenhet. Organisationen för kvalitetssäkring av leveranser anpassas med fördel efter leveransens omfattning och komplexitet.

Kvalitetsspecialist

Kvalitetsspecialister inom Trafikverket arbetar med ledningssystemet, processer inom Trafikverket och programspecifika processer, men också med projektets kontrollprogram. I intervjuer kom det fram att kvalitetsspecialister arbetar olika inom verksamhetsområde Stora projekt och Investering. Inom Investering, som har mindre men många projekt, arbetar man med projektkontrollprogram, ”second opinion” och använder checklistor. Man arbetar i distrikt och är inblandad i många projekt och vid behov. Inom Stora projekt arbetar man däremot i ett eller två större projekt och fokuserar mer på interna processer, ledningssystem men också på dokumenthantering och styrning både internt och gentemot leverantörer. Kvalitetsspecialisterna arbetar främst med att planera och säkerställa kvalitet i processer, system och kontrollprogram men inte med kvalitetssäkring av produkter.

Kravspecialist

Kravhanteraren arbetar med att samordna och kvalitetssäkra anläggningsspecifika krav där kravens relevans och tillräcklighet bedöms inom Trafikverkets projekt. Säkerställer att samt-

liga krav dokumenteras på ett strukturerat och systematiskt sätt. Det kan vara att tillse att samtliga krav har en utpekad ägare med tydligt ansvar inom projektet, att underlätta dialog med interna och externa kravställare och säkerställa spårbarhet på krav från registrering tills verifiering av utförd kravställning är gjord

Ny roll - kvalitetssäkringssamordnare

I Trafikverket har det under senare år tillkommit ett behov av en ny roll, kvalitetssäkringssamordnare, främst i de stora komplexa projekten. En kvalitetssäkringssamordnare ansvarar för kvalitetssäkring av en delleverans det vill säga ansvarar för planering, att rutiner och instruktioner följs, att alla stöddokument är upprättade och att leverantör är informerad om beställarens kvalitetssäkringsarbete. Det är en tillfällig roll som olika funktioner kan inneha. Från den enkät som genomförts svarade 54,7% (från 108 totalt) att de hade en utpekad roll som kvalitetssäkringssamordnare i deras projekt. På frågan om vilka andra arbetsuppgifter/roller har den personen var svaret att det finns en del personer som bara jobbar i den här rollen och med kvalitetsarbete. För andra fanns det även andra arbetsuppgifter utöver kvalitetssäkringssamordning såsom projektledning, teknikspecialist, projektingenjör, miljöansvarig, funktionsansvarig.

I enkäten var ett antal svar kopplade till organisationsfrågor och roller. Man efterfrågade att ansvar och roller bör förtydligas med vem som granskar vad. I program Göteborg-Borås i Nya Stambanor, har man tagit fram en Instruktion för kvalitetssäkring av leveranser. Där beskrivs roller och man har också tagit fram en kvalitetssäkringsmatris som är en lista för ansvarsfördelning vid kvalitetssäkring, vilken underlättar det som efterfrågas.

Det kom också upp att förhållningsättet renodlad beställarroll behövde förtydligas för samtliga medarbetare (både hos beställare och leverantör) i relation till kvalitetssäkring och kvalitetskontroller.

4.3.3. Typer av kvalitetskontroller

I rapporten *Beställarens kvalitetskontroll av beställda Uppdrag,* av Karlsson (2015) ges förslag på två typer av kvalitetskontroller, Systematic check och Intelligent check, som är en del av beställarens egenkontroll. Systematic check är en metodik där man genomför kvalitetskontrollen med hjälp av ett verktyg t.ex. en checklista där man systematiskt bockar av om åtgärder och aktiviteter är genomförda och rätt redovisade. En Intelligent check är en metodik där kontrollen som genomförs tar utgångspunkt från kompetens och erfarenhet. Enligt Karlsson (2015) är projektörens egenkontroll en systematic check, och en intelligent check är oftast genomförd som en oberoende kontroll. Enligt en rapport från ett regeringsuppdrag (Karlsson, 2021: Regeringsuppdrag. Kostnadsutveckling vid upphandling och genomförande av investeringsprojekt) saknar Trafikverket idag en systematisk kvalitetsuppföljning och det finns ett behov av att införa ett systematiskt arbetssätt för uppföljning av kvalitetsavvikelser inom Trafikverket och hos leverantörer, vilket är väsentligt för att förbättra kvalitetsstyrning och sänka merkostnader som uppkommer av stora kvalitetsbrister

Det finns olika typer av kvalitetskontroller:

Beställarens egenkontroll: består av Systematic och Intelligent checks (enligt Karlsson, 2015).

Leverantörens egenkontroll: Leverantören ska enligt TDOK 2012:1039 upprätta och ajourhålla kontrollprogram. I kontrollprogrammet ska olika moment, metod och ansvariga för kontrollen anges. Leverantören ska sammanställa och redovisa genomförda egenkontrollresultat till beställaren och idag räcker det med att skriva på ett papper som en person fyller i

för en leverantör. Enligt intervjuerna ska leverantören göra egenkontroll men hur detta sker kan tolkas på flera sätt och behöver förtydligas.

Beställarens mottagningskontroll: När leverantören översänder handlingar till beställaren så gör beställaren en mottagningskontroll. I denna kontroll verifierar beställaren att översända handlingar är kvalitetssäkrade av leverantören enligt upprättat kontroll program och kontrollplaner. Mottagningskontrollen görs oftast av en datasamordnare inom Trafikverket. Verifikationen sker genom att följa upp att handlingarna är tydligt signerade (Karlsson, 2015). Intervjuerna framhåller att processen för mottagningskontroll inte finns beskriven, bara att en leverans är mottagen.

För ett projekt definieras mottagningskontroll som kontroll av att produktdokument från leverantörer har levererats i enlighet med handlings- och modellförteckning och projektets dokumenthanteringsplan. Sker initialt efter leverantörens leverans, innan kvalitetskontroll. (*Instruktion Kvalitetssäkring av leveranser* i projekt Göteborg-Borås).

Oberoende granskning/kontroll eller second opinion: utförs av en oberoende tredje part. Enligt Karlsson (2021) utarbetades rutiner och arbetssätt för denna funktion för ett antal år sen men har ännu inte implementerats.

Gemensam kvalitetskontroll (samgranskning) definieras som kontroll av leveransens helhet i form av gemensamma teknikövergripande arbetsmöten för att säkerställa kvalitén på levererade produktdokument. Tidigare kallad samgranskning (TDOK 2018:0079 Kvalitets-säkring av objektorienterad informationsmodell - VO PR samt *Instruktion Kvalitetssäkring av leveranser* i projekt Göteborg-Borås). Gemensam kontroll ligger i linjen med arbetssättet från ICE (integrated concurrent engineering, se 7.7.

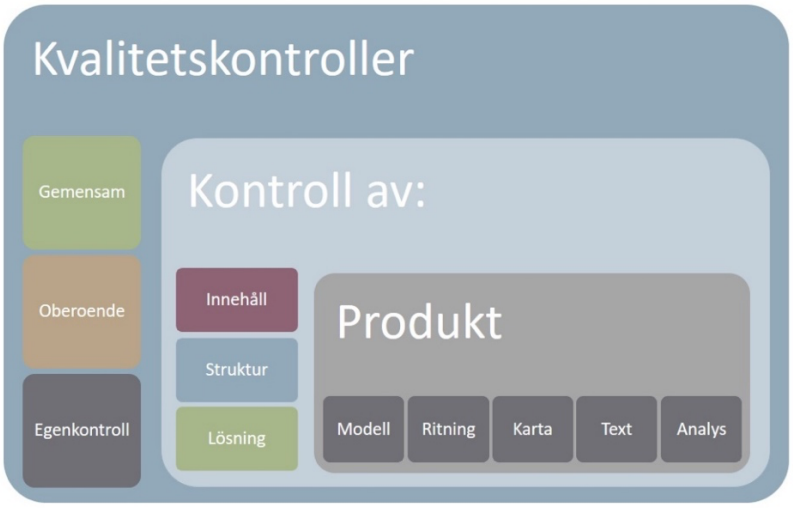
Figur 13: Översikt kvalitetssäkring och kvalitetskontroll och exempel på olika perspektiv.

4.3.4. Produkt – vad kontrolleras?

Olika typer produkter kontrolleras i olika faser. I planläggningsfasen kontrolleras till exempel textdokument, modeller, ritningar, kartor, beräkningar och analyser. I byggfasen kontrolleras även produkter som den fysiska anläggningen, inmätningar, osv.

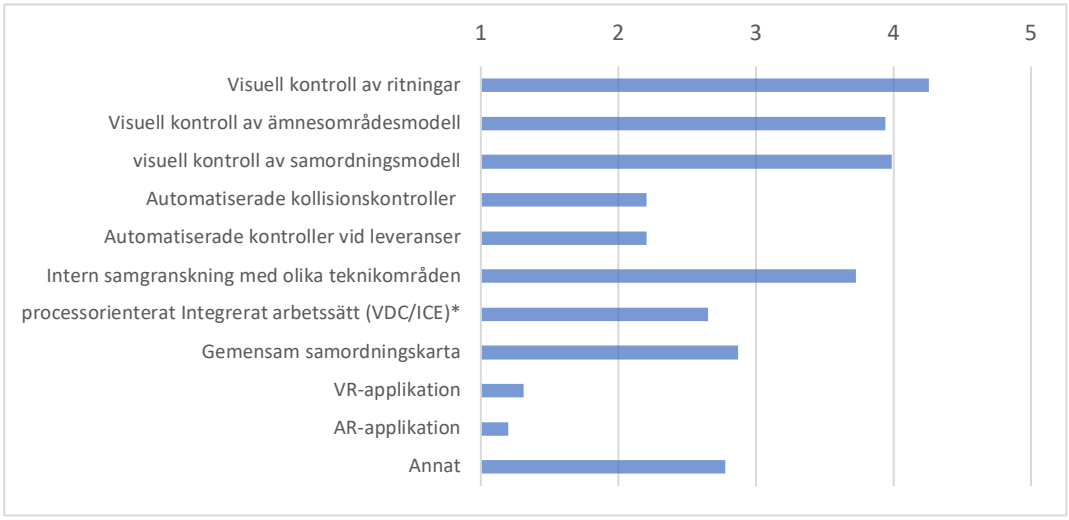
Kontroller sker utifrån innehåll, struktur och lösning (se figur 14). Exempelvis kontrolleras 3D-modellerna på innehåll utifrån från respektive teknik- och miljöområdes krav samt överens-komna attribut och detaljeringsnivåer. Struktur i modellerna innefattar mer uppbyggnad av modellerna; namn- och färgsättning, användargränssnitt etc. Lösningen eller

designlösningen handlar mer om huruvida det är den mest optimala lösningen som valts utifrån perspektiven teknik, säkerhet, funktion och utförande samt tid och kostnad (se figur 13 och 14). Arbetssätt för kontroll av digitala modeller beskrivs i Trafikverket endast i TDOK 2018:0079 Kvalitetssäkring av objektorienterad informationsmodell - VO PR med tillhörande checklistor för kvalitetskontroll av redogörelser och ämnesområdes- och samordnings-modeller.



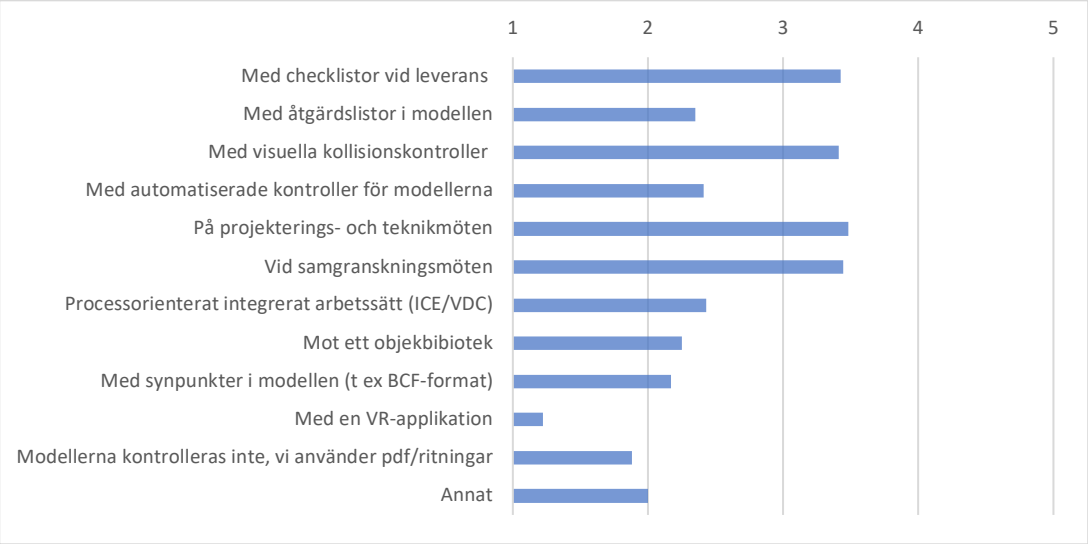
Figur 14: Översikt av kvalitetskontroller utifrån typ av kontroll och produkt.

Ur enkäten framkom en bild över användning av olika metoder, som används för att kontrollera produkter vid (del)leveranser (se figur 15). Den visar att *visuell kontroll* av ritningar, ämnesområdes- och samordningsmodeller liksom *intern granskning med olika teknikområden* används i relativt stor omfattning inom Trafikverket. Under kategori *Annat* kompletterades bilden med *visuell kontroll av dokument* (4 personer) där läsning av olika dokument som tekniska beskrivningar och dokument som levererats av leverantören för dokumentation av deras kontroll nämndes.



Figur 15: Enkätfråga: Hur ofta används följande metoder för att kontrollera produkter och/eller (del)leveranser? Skala 1-inte alls/5-mycket.

I enkäten efterfrågades också vilka metoder som används när man kontrollerar objektorienterade informationsmodeller (digitala modeller). Inte alla kontrollerar modellerna, men för de som gör detta visar figur 16 vilka olika metodiker används inom Trafikverket baserat på 108 svar från enkäten. Modellerna kontrolleras främst med hjälp av checklistor, visuella kollisionskontroller, på projekterings- och teknikmöten och vid samgranskningsmöten.



Figur 16: Enkätfråga: Om ni arbetar med objektorienterade informationsmodeller i vilken grad kontrolleras modellerna utifrån listade aktiviteter? Skala 1-inte alls/5-mycket.

4.3.5. Automatiska kvalitetskontroller

Trafikverket har idag mål för ökad digitalisering att nyttja digitaliseringens möjligheter. Det pågår många initiativ för att nå upp till målen där satsningar på mer automatisering och AI ingår som en betydande del. Kompetens och styrning vad gäller detta är idag centraliserad. Det optimala vore att all kompetens är utplacerad i de olika verksamhetsområden/enheterna och att endast koordinering sker centralt. Det för att lättare identifiera specifika möjligheter med automatisering.

Idag automatiseras processer, ovan till trots, mest ute i de olika projekten där de automatiserade kontrollerna mestadels handlar om mottagningskontroll och kontroll av cad-filer. Inom mottagningskontrollen har processer för att kontrollera format och metadata som filnamn, kontrollera mot handlingsförteckning (pdf) och status och låsning av pdf-filer tagits fram. För de digitala modellerna kontrolleras ”cad-hygien” där man med ett FME-script bland annat kontrollerar lagernamn, tomma lager, insättningspunkter. Det innebär också till stor del att kontrollera och jämföra modeller/ritningar (pdf, dwg och dgn) med varandra för att se vad som har ändrats. Det kan vara versionsskillnader, ritnings/modellruta med metadata eller t ex om man sprängt för lite eller för mycket.

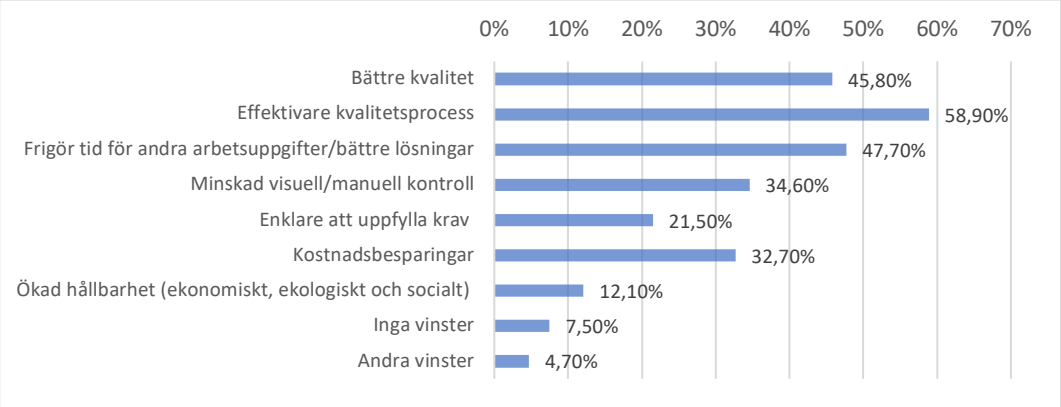
Det finns ett flertal FME-script som utvecklats parallellt i olika projekt. Det pågår därför ett initiativ på VO Stora projekt att anpassa dem och göra dem mer generella så att fler projekt kan ta del av dem. I projektet ingår också att ta fram en sammanställning över arbetsprocesser som i framtiden kan automatiseras.

Ett exempel är webblösningen, KOALA[11] som bygger på FME-sript och hjälper till med att kontrollera dataleveranser, förvaltningsdata, som ska till den Nationella vägdatabasen (NVDB). Användaren skickar här in sina dwg-filer via webbgränssnittet och får tillbaka ett kontrollresultatet i form av ett mejl. På så sätt får projekten möjlighet till en snabb återkoppling på dataleveransens innehåll. KOALAs kontroller är dock inte heltäckande så ett godkänt kontrollresultat från systemet garanterar inte att filerna är felfria. NVDBs handläggare utför ytterligare kontroller efter att filerna skickats in och ger därefter ett slutligt godkännande. Verktyget kontrollerar filerna men leverans sker till annat system.

Inom stora projekt som Förbifart Stockholm och Ostlänken använder man sig av *AEC Plus Infra* för att automatiskt kontrollera många filer mot listor med bl. a lagernamn och klassificeringskoder i databasen Savoir. Även leverantören har tillgång till programverktygen för att kunna köra kontroller innan leverans till beställaren.

Det finns idag checklistor, i GÅ-processen, för kvalitetskontroll av ämnesområdes- och samordningsmodeller (TMALL 1163, 1164 och 1165) som mycket väl skulle kunna automatiseras. De gäller i dagsläget för VO Stora projekt men flertal projekt har tagit dem till sig och anpassat utifrån deras egna behov. Kopplas råd och checklistor mot kraven som ligger i en projektdatabas kan de enkelt automatiseras för just det projektet, se mer under 7.5

I figur 17 visas de viktigaste potentiella vinsterna med att införa automatiserade kvalitetskontroller utifrån svar från respondenterna i enkäten. De viktigaste vinsterna är en effektivare kvalitetsprocess, frigöra tid för andra arbetsuppgifter/bättre lösningar och bättre kvalitet.



Figur 17: Enkätfråga: Vad ser du för potentiella vinster inom er organisation med att införa automatiserade kvalitetskontroller – ange de 3 viktigaste vinsterna. Skalan visar antal svar från beställare i procent.

5 Kvalitetssäkring hos tekniska konsulter

5.1. Kvalitetssäkring och kvalitetskontroll (väg och järnväg)

De tekniska konsulterna inom väg- och järnvägsprojekt har krav från beställaren, på att kontrollera modellerna internt (egenkontroll). Detta görs oftast av en teknikansvarig. Inom konsultföretagen jobbar man med olika typer av intern granskning innan leverans men utför

[11] https://intranat.trafikverket.local/Aktuellt/Nyhetsarkiv/Nyheter---Aktuella/Nyheter/2022-mars/investering/koala--nytt-it-stod-for-investeringsprojekt-infor-leverans-till-nvdb/

även kontroller under hela processen. Intern granskning i relation till BIM sker avseende exempelvis metadatahantering och namngivning, alla sådana delar är en del av konsultens egenkontroll och internkontroll. Det finns olika typer av kontroller som sker inför leverans till beställaren (både i 2D och 3D). Modellerna granskas internt oftast med någon checklista. Checklistan är anpassad efter Trafikverkets krav på ämnesområdes- och samordningsmodeller men är en tolkning av kraven från beställaren. Konsulten efterfrågar därför en checklista från beställaren så att man kan kontrollera och prioritera parametrar som är viktiga för denne. Efter en intern granskning med hjälp av en checklista (för modellen) görs en samgranskning i projektgruppen. Dokumentation från samgranskningen kan exporteras som en PDF-fil och skickas med leveransen till beställaren. Den interna kvalitetskontrollen och dokumentationen av granskningen är till viss del avhängig av kravställningen. Idag ställer beställaren inte krav hur man ska granska men däremot ställs krav på att dokumentationen av kvalitetskontroller och ibland aktionspunkter ska levereras skriftlig till beställaren.

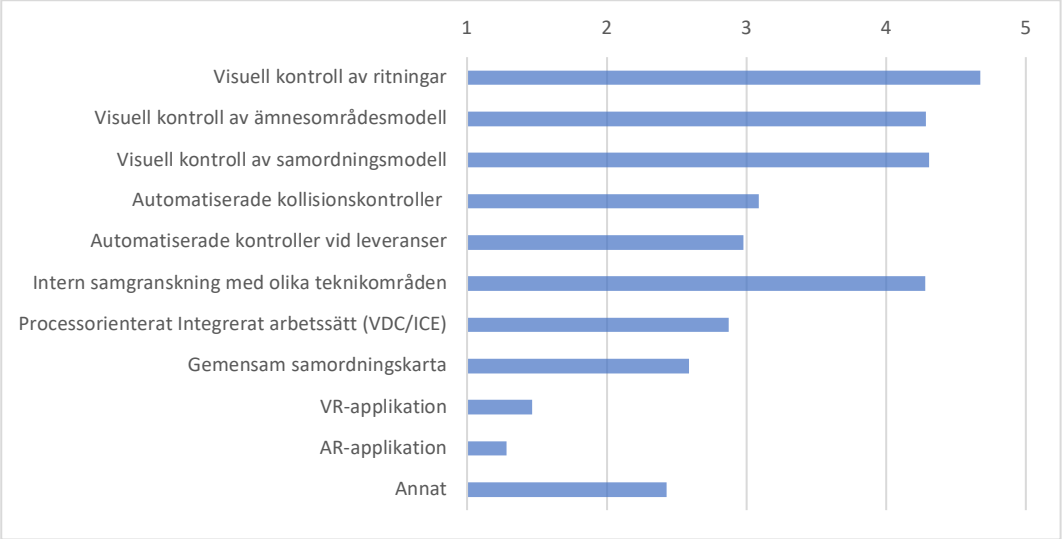
Vägprojekten är ofta väldigt olika och kan innehålla olika typer av underlag men vanligast är 2D underlag för befintligheter, som inte alltid stämmer överens med verkligheten. Man jobbar med 3D-modeller i alla projekt, men leveranser sker ofta både i 3D och 2D. Beställaren kräver fortfarande vissa ritningar. Konsulterna vidhåller också att kraven är tolkningsbara.

Kvalitetskontroller av de tekniska kraven utförs internt för att se att man har uppfyllt dem. Tekniska kontroller görs fortfarande till stor del traditionellt via PDF-filer (t ex. geometriska utformningen) och bara en del i modellerna. Hur och vad som kontrolleras påverkas också av vilken status modellen har, vilken färdigställandegrad.

”*Det går åt mycket tid att granska och kontrollera data som ligger inom de schematiska delarna i järnvägsprojekteringen. Det produceras oerhört många schematiska ritningar och det är mycket data som ska kontrolleras. T ex hur ett teknikhus och dess information är uppbyggt. Det är mycket information som faktiskt ska med i mängdförteckningen också som har med artikelnummer och som ska granskas och verifieras men som idag ligger på ritningar.*” (järnväg)

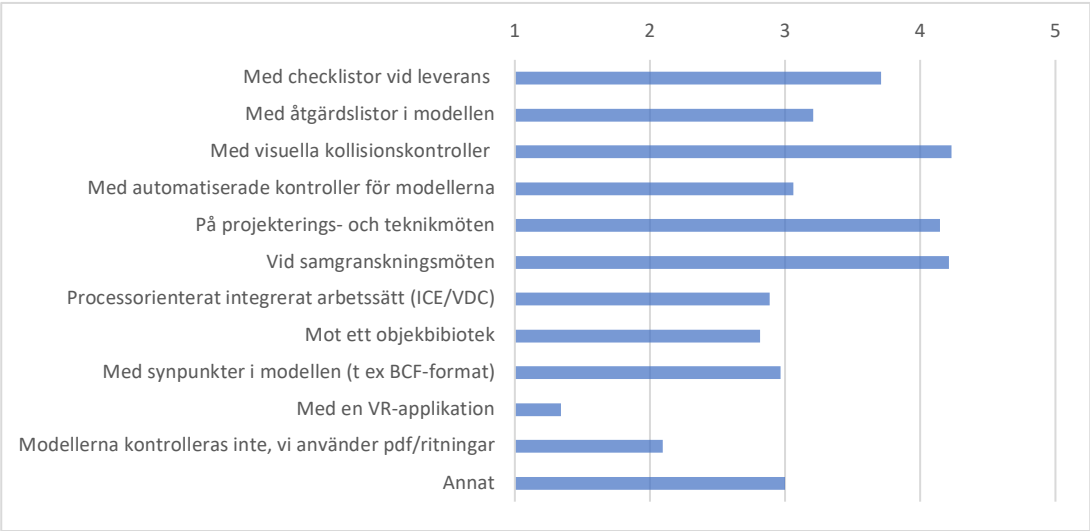
Också i Norge använder man checklistor vid kontroll av modeller, kontroll i designverktyg för respektive ämnesområde och vid gemensam kvalitetskontroll där ett flertal teknik- och miljöområden är inblandade. Några teknikområden, tex. konstruktion/byggnadsverk använder regelkontroller och har egna specifika rutiner. En del beställare i Norge ställer fortfarande krav på ritningar som i Sverige. Men även IFC-modeller kontrolleras, mest konstruktioner som behöver en oberoende kontroll.

Enkäten (74 svar från konsulter inom Sverige) visar på olika metoder, för kvalitetssäkring, som används inom de olika konsultföretagen och hur vanligt det är att de används (se figur 18).



Figur 18: Enkätfråga:: Hur ofta används följande metoder för att kontrollera produkter och/eller (del)leveranser. Skala 1-inte alls / 5-mycket.

En annan fråga tog upp vilka metoder som används för att kontrollera objektorienterade informationsmodeller (se figur 19). Konsulter svarar att de kontrollera modellerna främst med hjälp av visuella kollisionskontroller, vid samgranskningsmöten, på projekterings- och teknikmöten och med checklistor vid leverans.



Figur 19: Enkätfråga: Om ni arbetar med objektorienterade informationsmodeller i vilken grad kontrolleras modellerna utifrån listade aktiviteter? Skala 1-inte alls/5-mycket.

5.2. Organisation för kvalitetssäkring

Rollen kvalitetssäkringssamordnare: I enkäten svarade 68,50% att de har en utpekad roll för kvalitetssäkringssamordning i deras projekt. För vissa var detta den enda arbetsuppgift eller att de var ansvarig för kvalitetsarbete. För andra fanns det andra arbetsuppgifter som datasamordning och BIM, kravhantering, arbetsmiljö och säkerhet, eller uppdragsledning. Men hur arbetsuppgifter var fördelade utifrån kvalitetssäkringssamordning och andra uppgifter varierade per projekt och per person. Från enkäten kom det in ett antal öppna svar

som tog upp organisation och resurser för kvalitetssäkring. En person nämnde att det behövs flera resurser för kvalitetssäkring och mer tid och fokus behöver läggas på detta. En annan svarade att det krävs mer utbildning, insikt och helhetsgrepp från projektledningen.

5.3. Automatiska kvalitetskontroller

Inom järnväg är egenkontroll kravställt av beställaren och sker vid teknikområdenas interna granskningar och samgranskningar. För att kontrollera ”modellhygien” använder vissa konsulter ett system som gör verifiering av t ex namnsättning, lagernivåer osv enklare. Med regler och script i programmet FME (Feature Manipulation Engine) utförs, redan idag, kvalitetskontroller automatiskt och till stor del.

Regelverket för väg och järnväg innehåller textbaserade krav som är svåra för en dator för att kontrollera automatiskt.

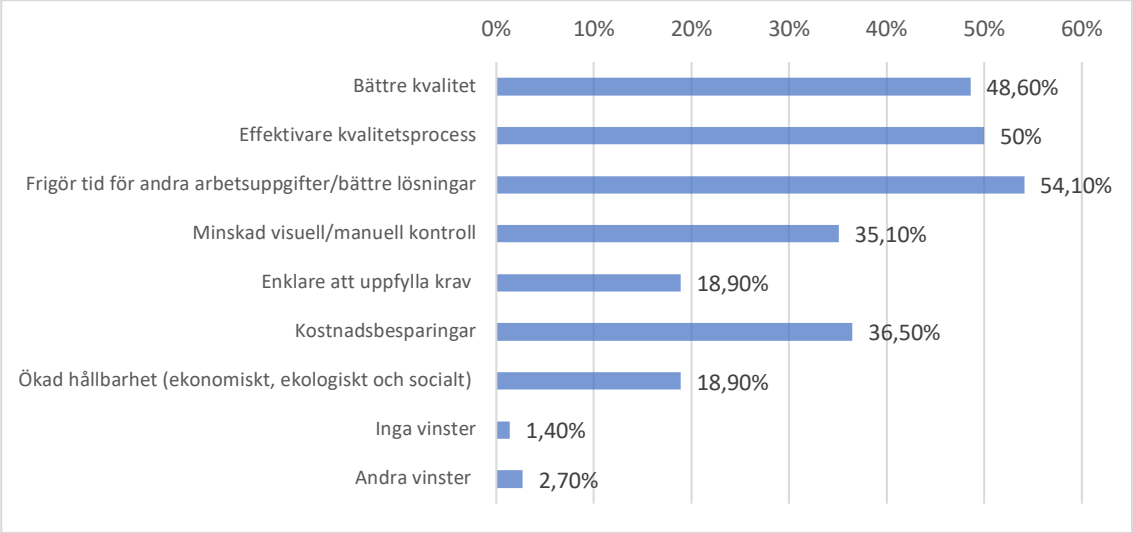
Genom enkäten får man en insikt i vilka kontroller som är mest automatiserade idag. En del har svarat att kollisionskontroller är mest automatiserat men att CAD/modell-hygien och lagerkontroll också till stor del är automatiserat idag. Flera respondenter anger metadata och attribut, visuell kontroll av modellerna och mängdning som exempel på områden där det enkelt skulle kunna automatiseras.

Trafikverkets krav för BIM tar upp den generiska kravställningen att konsulter ska leverera föreslagna tekniska lösningar i både ritningar och modeller, vilket enligt konsulterna betyder mycket dubbelarbete. Hur mycket man jobbar med BIM är delvis styrt av projektet, projektledaren och upphandlingsformen. Vissa projekt är modellbaserade men många kvalitetskontroller inom järnväg utgår från ritningar som för signalsäkerhetsgranskningen. Kvalitetskontroller som görs internt för järnväg är: internkontroll, samgranskning och sen signalsäkerhetsgranskning. Signalsäkerhetsgranskningen tar mycket tid, är komplex och är mest säkerhetskritisk. Kvalitetskontroll av tekniska lösningar görs kontinuerligt och är tillspetsat inför en slutleverans. Sista kontrollerna görs av beställaren via mottagningskontroll när produkten levereras. I vissa projekt jobbar man med ärendehanteringssystem eller aktionslistor för att skapa ärenden och uppföljning av ärenden i Navisworks.

Järnväg skiljer sig från andra anläggningar för att det finns ett stort behov av information i förvaltningssyfte och för drift och underhåll. Förvaltningssystemen styr till viss del leveranserna och förväntningar på arbetet. Järnvägsprojektering är mycket styrt, det finns typritningar för ”allt”. Det som är svårt inom järnvägsprojektering är att man jobbar med mycket gamla system som konsulterna ska projektera mot. När man gör en förändring inom ett befintligt system, använder man ritningar som ska uppdateras.

En del konsulter i Norge använder sig av mycket av automatiserade kontroller för modellerna som exempelvis kollisionskontroll. De kopplar också ärendehantering till modellerna i t ex programmet Jira. Ärendehantering eller aktionslistor används aktivt i stora anläggningsprojekten inte bara för ärenden, men också för arkivering och loggning.

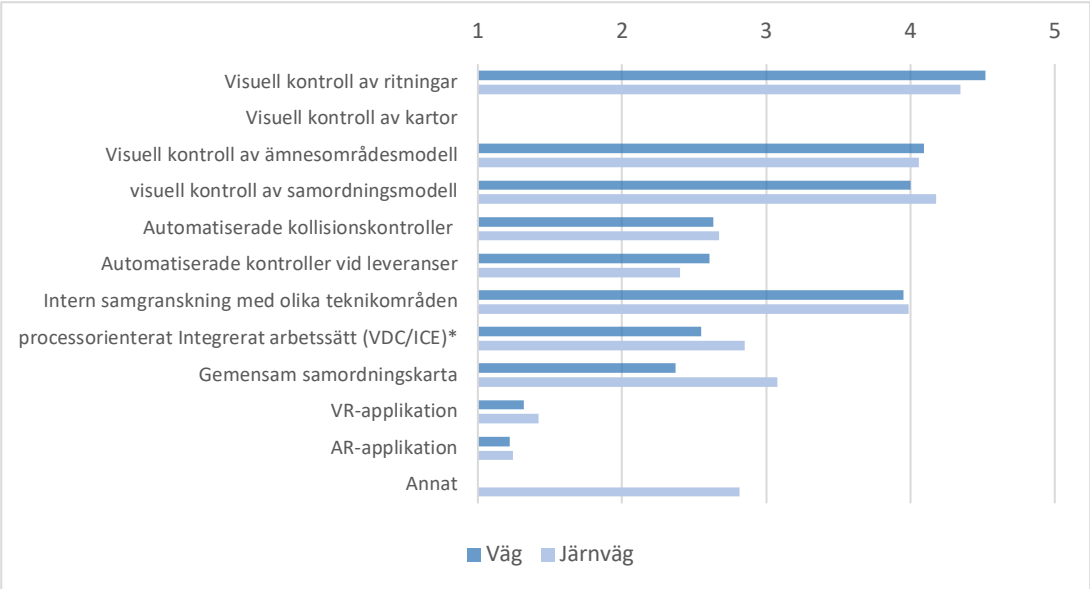
Konsultföretagen tillfrågades om vilka de tre viktigaste vinsterna, för att införa automatiserade kontroller, de ser inom deras företag. Figur 20 visar resultaten och viktigaste vinsterna är: frigör tid för andra arbetsuppgifter/bättre lösningar, effektivare kvalitetsprocess och bättre kvalitet.



Figur 20: Enkätfråga: Vad ser du för potentiella vinster inom er organisation med att införa automatiserade kvalitetskontroller – anger de 3 viktigaste vinsterna. Skala visar antal svar i procent.

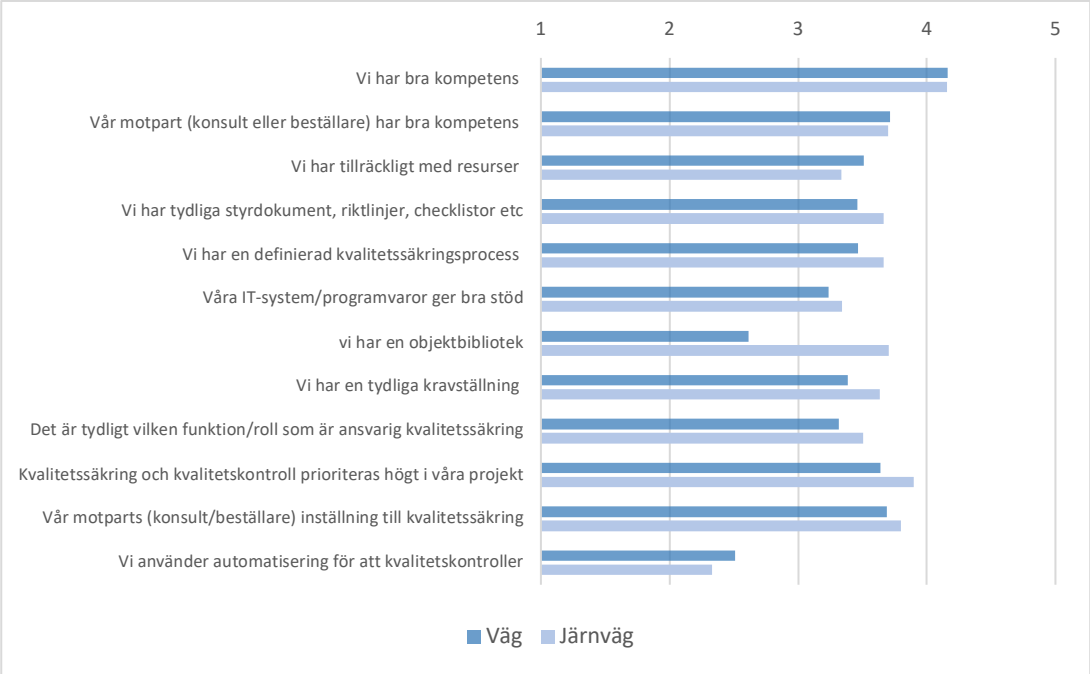
6 Kvalitetskontroller utifrån enkätsvar

Svar från enkäten, som skickades till Svenska teknikkonsultföretag och Trafikverket, delades upp i väg och järnväg för att se om det finns skillnader i kvalitetskontroller. I figur 21, visas olika metoder för att kontrollera produkter. Visuell kontroll av ritningar, ämnesområdes-modell, samordningsmodell och intern samgranskning med olika teknikområden används relativt mycket både för respondenter som arbetar inom väg- respektive järnvägsprojekt VR och AR applikationer används nästan inte alls. För järnvägsområdet angavs det även andra metoder för kvalitetskontroller som t ex kontroll av PDF-filer eller texter.



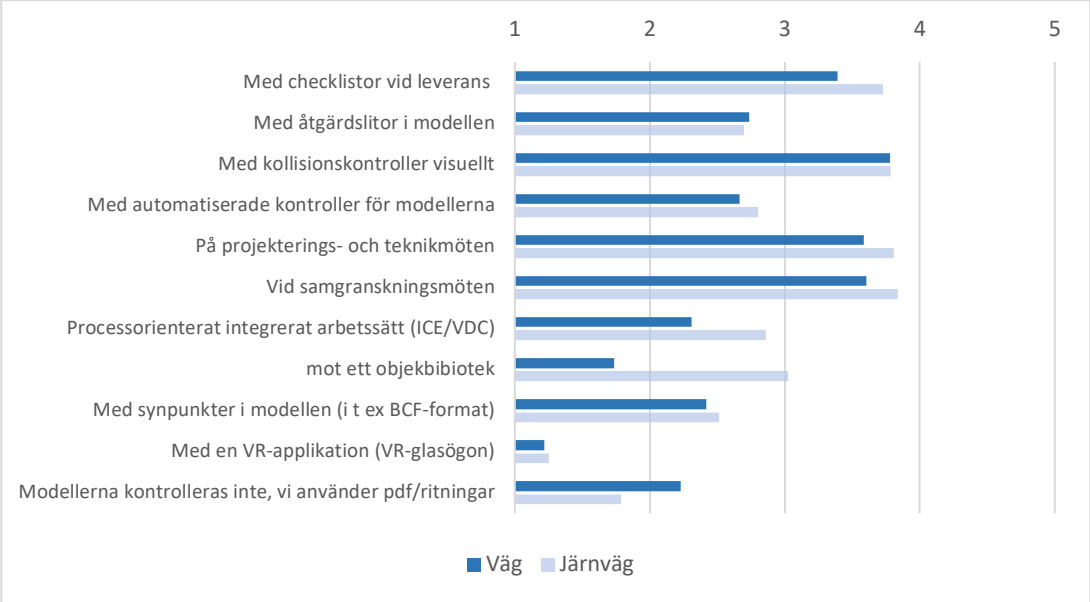
Figur 21: Enkätfråga: Hur ofta används följande metoder för att kontrollera produkter? Skala 1-inte alls/5-mycket.

I enkäten efterfrågades hur olika förutsättningar påverka ditt projekts kvalitetssäkring och kontroll (se figur 22). Svaren mellan personer som arbetar med väg eller järnväg skiljde sig inte mycket och nästan alla svar svarade med 3-4 på en skala från 1-5. Inom järnväg kom det fram att man använder objekttypsbibliotek i större omfattning än på väg. Sen svarade respondenterna att de använder automatisering för kvalitetskontroller bara till en viss del.



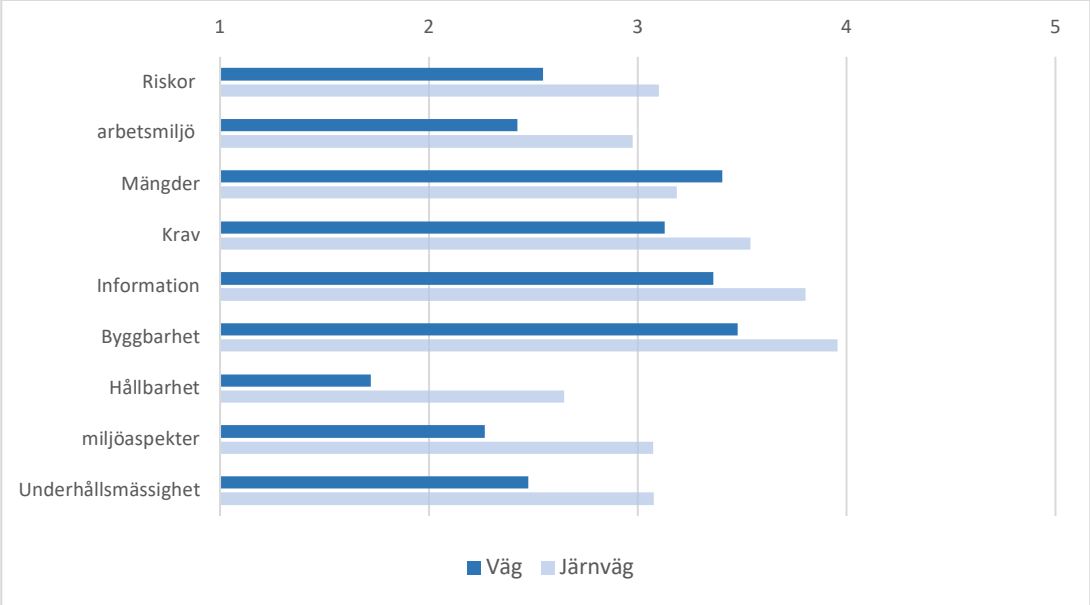
Figur 22: Enkätfråga: Hur påverkar förutsättningar ditt projekts kvalitetssäkring och kontroll? Skala 1-inte alls /5-mycket.

I enkätresultaten framkom att det finns vissa skillnader i när man kontrollerar modellerna och i vilken grad modellerna kontrolleras (se figur 23). Både respondenter som arbetar inom väg och järnväg svarade att de arbetar med checklistor vid leverans, visuella kollisionskontroller, och med kvalitetskontroller på möten (projekterings- och teknikmöten och samgranskningsmöten). Inom järnväg arbetar man lite mer med ett processorienterat integrerat arbetssätt (som ICE/VDC) och mot ett objekttypsbibliotek. BCF och hantering av synpunkter i modellen används bara till en viss del.



Figur 23: Enkätfråga: I vilken grad kontrolleras modellerna? Skala 1-inte alls/5-mycket.

Vad som kontrolleras i modellerna skiljer sig för respondenter som arbetar inom väg och järnväg (se figur 24). Det kan bero på användning och krav för objektorienterad informationsmodell men också ett mer styrt regelverk för järnväg som kräver andra typer av kontroller.



Figur 24: Enkätfråga: Vad kontrolleras i en objektorienterad informationsmodell? Skala 1-inte alls/5-mycket.

7 Exempel på effektivare kvalitetssäkring

I detta avsnitt beskrivs kort ett antal anläggnings- och forskningsprojekt som ger exempel på hur man, genom olika strategier och metoder, arbetat för att få till en effektivare kvalitetssäkring. Här diskuteras olika aspekter som påverkar kravhantering och kvalitetskontroller. Vissa exempel handlar om användning av kravdatabaser, maskinläsbara krav och objekttypsbibliotek, andra tar upp processer och organisationsfrågor relaterade till kvalitetskontroller. Projektexemplen presenteras utifrån olika perspektiv som produkt, teknik, organisation och process.

7.1. ERTMS – Objekttypsbibliotek för signalsystem järnväg

Det europeiska järnvägsnätet ska utrustas med ett nytt gemensamt signalsystem ERTMS (European Rail Traffic Management System) för att få konkurrenskraftig järnvägstrafik. Implementeringen av ERTMS innebär att över 20 signalsystem i Europa kommer att ersättas med den gemensamma standarden , en standard som anpassas till varje land.

Inom ramen för ERTMS projektet i Sverige har bland annat ett systemstöd, ett programoberoende objekttypsbibliotek, en OTL, tagits fram. Det utgår från definitioner som European Road OTL[12] använder. Typobjekten är kravställda och samlade i en versionshanterad kravdatabas. Den består av grafiska objekt med kopplade attribut. Attributen finns samlade i en värdelista. Innehållet är kopplat till behovet av leverans för projektet och behöver utökas om biblioteket skall kunna täcka in övrig anläggningsinformation och kunna användas för Trafikverket som helhet (Törnkvist 2020).

Flertalet leverantörer, tekniska konsulter är med och utvecklar biblioteket. Enligt intervjupersoner så är ERTMS det första projekt som kravställer att specifika attribut ska finnas på vissa objekt och vara kopplade till en värdelista. Projektet har tagit fram en systematik som innebär att Trafikverket kan göra automatiska kontroller och verifiera attributen. Projektdeltagare är Trafikverket och dess kontrakterade leverantörer. Projektet pågår till 2035.

Nyckelord: *Objekttypbibliotek, OTL, Signalsystem*

7.2. D-CAT – metoder för spårbarhet av funktionella krav

Forskningsprojektet D-CAT (Digital collaboration and automized tracing of information)[13] utforskar metoder som kan förbättra spårbarheten av funktionella krav i olika skeden av anläggningsprojekt.

DCAT analyserar kravkommunikationen mellan beställare och leverantörer i infrastrukturprojekt, utvärderar potentialen för klassificeringssystem (CoClass och SB11) utifrån indelning, struktur och koppling till kravställning för digitala anläggningsmodeller samt undersöker möjligheter med spårbarhetsgenerering. Det för att automatiskt etablera spårbarhet mellan krav som anges av beställaren och leveranser från leverantören.

[12] www.roadotl.eu

[13] http://trv35052.trafikverket.local/fudinfointernWebb/pages/ProjektVisa.aspx?ProjektId=4520

Projektdeltagare är Blekinge Tekniska Högskola, Hochtief ViCon och Trafikverket. Projektet pågår under 2020-2022.

Nyckelord: *spårbarhet, funktionella krav, klassificering, CoClass, SB11, automatisering*

7.3. E39/V440 - maskinläsbar klassificeringsmanual för broregistrering

Statens Vegvesen i Norge har i projekt E39 - bro över Bjørnafjorden, kravställt öppna standards och en maskinläsbar databas för broregistrering.

Projektet utgår från kraven i Statens Vegvesens handbok V440 broregistrering (BRUTUS) som tillhandahåller ett gemensamt namn och kodningssystem för alla som arbetar med planering, implementering och drift och underhåll av broar. Målet är uppnå ett sömnlöst, standardiserat och öppet dataflöde mellan olika faser. Implementeringen sker genom att använda informationsmodeller och automatiserade processer på ett standardiserat sätt.

Statens Vegvesen arbetar också mot ett mål att utveckla digitala tvillingar. Tvillingarna skall säkerställa enhetliga och standardiserade projektleveranser, vilket kan bidra till automatiserade processer i hela organisationen. Arbetet inom E39 - bro över Bjørnafjorden är det första exemplet på hur man i framtiden kommer att arbeta med digital konvertering.

Projektet med maskinläsbar klassificeringsmanual för broregistrering blev vinnare 2020 av det internationella priset *Client Leadership Award* som utfärdas av Building Smart (2020)[14].

Nyckelord: *maskinläsbara krav, öppna standarder, digital tvilling, bro*

7.4. SIMBA – maskinläsbar kravdatabas för husbyggnad

Statsbygg i Norge har använt en kravdatabas för BIM och husbyggnad i flera år. Statsbyggs kravdatabas kallas SIMBA som står för S=statsbygg, I=information, M= modell, B= byggnad och A=anläggning[15]. SIMBA används för alla BIM-krav och baseras på en maskinvaliderad kravställning, där man använder öppna standarder för att validera byggnadsinformationsmodeller (BIM) mot uttryckta kravuppsättningar.

Som öppen standard används IFC för att BIM själv ska valideras av maskinen, mvdXML för den uppsättning krav som ska valideras mot och BCF för att rapportera avvikelser mellan krav och modell.

En viktig del med SIMBA är att alla krav som Statsbygg definierar för modeller (BIM) ska kontrolleras automatiskt (det kommer fortfarande finnas vissa krav som inte kan valideras av maskiner). Automatiska kontroller kommer att ge bättre kontroll över modellernas kvalitet och att man får mer ledig tid för kvalitetssäkring för att kontrollera förhållanden som kräver mänsklig bedömning. Statsbyggs krav förvaras i form av kravmallar i en kravdatabas (som kallas BIMQ). Dessa ställer krav på egenskaper för olika objekttyper som måste vara tillgängliga från en viss aktör / roll / ämne vid en given fas / milstolpe. Kravuppställningen är maskinläsbara och giltiga i programvara, avsedda för användning i Statsbyggs projekt, och finns i kravdatabasen (som en mall) som kan anpassas för varje projekt. I januari 2021

[14] https://www.vegvesen.no/Europaveg/e39stordos/nyhetsarkiv/vegvesenet-vant-pris-i-buildingsmart-international

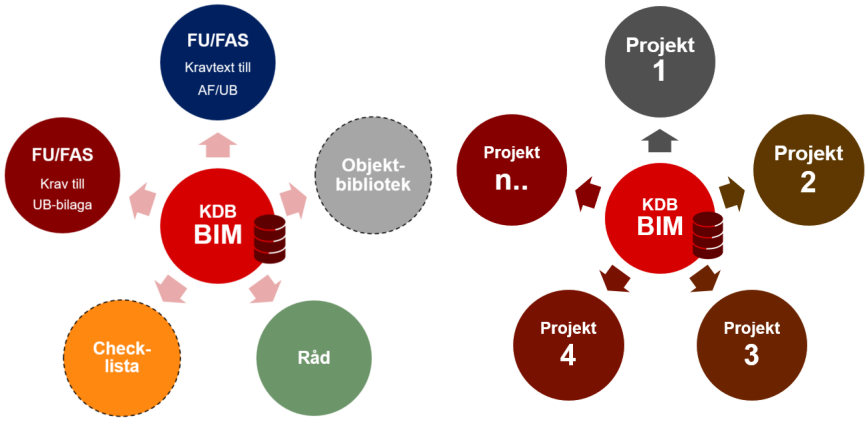
[15] https://sites.google.com/view/simba-bim-krav/hjem

lanserades Statsbygg sina nya BIM krav i SIMBA2.0[16] som är baserat på BuildingSmart standard IFC4. Krav på SIMBA 2.0 gäller för alla nya projekt och projekt som omförhandlar ett avtal i Statsbygg Norge från och med den 1 juli 2021.

Nyckelord: *IFC4, BCF, maskinläsbar kravdatabas, automatiserade kontroller, mvdXML*

7.5. Nya stambanor – kravdatabas för objektorienterad information

Inom programmet Nya Stambanor (höghastighetsjärnväg) har man tagit fram ett arbetssätt för kvalitetssäkring av leveranser som bygger på ICE-metodiken (integrated concurrent engineering) och där den digitala modellen har en naturlig plats (Van Raalte et al., 2019).



Figur 25: Kravdatabas för BIM med tillhörande projektspecifika krav och möjligheter att få ut ett förfrågningsunderlag och råd kopplade till respektive krav.

Programmet har också en gemensam kravdatabas för BIM (i DGN). Den består av ett antal baskrav som varje projekt utgår ifrån och genom att alla projekt är kopplade till kravdatabasen kan de enkelt komplettera med egna projektspecifika krav, vilket underlättar spårbarhet och hanteringen av nya, förändrade och slopade krav. En rådsbilaga som gäller för just det projektets krav kan också enkelt tas ut. Eftersom kraven dessutom är kopplade till skede har upphandling av förfrågningsunderlag (FU) kunnat automatiseras. I framtiden kommer en checklista kopplad till kraven att kunna exporteras ut. Målet är även att koppla objekt, en OTL till kravdatabasen.

Nyckelord: *kvalitetssäkring, kravdatabas, automatisk upphandling*

7.6. HDMI – process för överlämning av anläggningsinformation

HDMI (hantering av digitala modeller vid överlämning av investeringsprojekt) är ett pågående verksamhetsutvecklingsprojekt inom Trafikverket som syftar till att ta fram en enhetlig och tydlig kravställning för hur anläggningsinformation ska hanteras ur ett tillgångsförvaltningsperspektiv (Aronson et al., 2021). Med exempeldata från vägprojekt Förbifart Stockholm vill man påvisa potentialen med ett arbetssätt baserat på 3D-modeller med strukturerad information om anläggningen för drift och underhåll.

[16] https://www.bygg.no/article/1456586

Fokus inom projektet är (utifrån ett förvaltningsperspektiv) sammanställning av regelverk, standarder och format, verktyg för hantering av digitala modeller, IT-stöd för modelleveranser, strukturerad förvaltningsdata och långtidsbevarande. Projektet pågår under 2020-2022.

Nyckelord: *IFC4, LCC, överlämnande, tillgångsförvaltning*

7.7. Samtidig plan og projektering - integrerat arbetssätt för samverkan

I Norge ställer Nya Veier, som är en offentlig beställare inom infrastruktur, krav på VDC-certifiering i flertalet av deras komplexa vägprojekt. VDC certifiering har blivit populärt i Norge och Sverige och fler företag satsar på en VDC-utbildning och certifiering. I Norge använder flera organisationer inom anläggningsbranschen resultaten från ett forskningsprojekt som tog fram en tydlig riktlinje och handbok för *samtidigt projektering*[17] som är baserat på ICE-metodiken. Metodiken kallas Samtidig Plan och Projektering (SPP) och definieras som ett strukturerat tillvägagångssätt för tvärvetenskapligt samarbete i projekt.

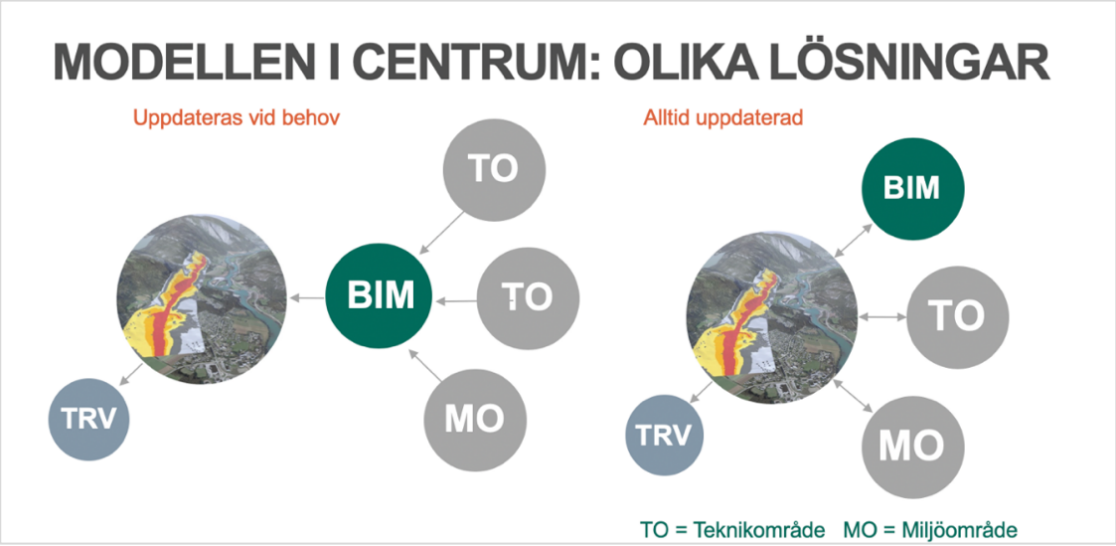
VDC (virtual design and contruction) är en arbetsmetodik för hur digitala modeller kan användas och hanteras, det för att främja och stötta projektets mål och framgångskriterier. Arbetsmetodiken är utvecklad av Stanford University, USA, CIFE (USA) (cf Khanzode et al., 2006; Kunz & Fischer, 2012). Med VDC kommer en rad metoder och verktyg som stöttar arbetet med modeller bland annat Bigroom/iRoom och ICE (integrated concurrent engineering). VDC kräver att projektteamet arbetar tillsammans för att kontinuerligt hantera de ömsesidiga beroendena som finns mellan olika ämnesområden (Bosch-Sijtsema et al., 2017). I Norge och Sverige, där ICE används tillsammans med VDC-metodiken, jobbar man med ämnesövergripande arbetssessioner för att samla alla relevanta aktörer till ett gemensamt arbetspass. I rapporter från Bosch-Sijtsema et al., (2017; 2020) redogörs för ett flertal för- och nackdelar för ett integrerat arbetssätt.

Nyckelord: *gemensam integrerad arbetsmetodik, projektering- och planeringsprocess*

7.8. MIA - Modellorienterat Integrerat Arbetssätt

Studien Modellen i Centrum (2019) syftade till att ta fram en kunskapsbas genom att fördjupat undersöka integrerat arbetssätt. Projektet har kommit fram med en kartläggning och identifiering av nyttor för modellorienterad projektering och integrerat arbetssätt. Att arbeta med *modellen i centrum* (se figur 26) avses ett arbetssätt där alla projekterande discipliner jobbar direkt mot en och samma modell som kontinuerligt uppdateras i realtid (Bosch-Sijtsema, van Raalte, Carlstedt, 2020).

[17] *https://www.samtidigprosjektering.no/*



Figur 26: Modellen i centrum – olika lösningar (lösningen till vänster = dagens lösning; lösningen till höger: morgondagens lösning) (Bosch-Sijtsema, van Raalte, Carlstedt, 2020).

För att kunna ändra till ett arbetssätt med en gemensam modell i centrum där alla jobbar med och mot samma modell kräver det en omställning i hur man jobbar med modellerna i projekt. Om man arbetar med en gemensam modell blir det också viktigt att man använder tydliga standarder och en gemensam eller ett öppet format (t ex IFC) så att alla kan jobba med samma begrepp, strukturer och format. Med ett sådant arbetssätt och gemensam modell skulle automatiserade kvalitetskontroller kunna genomföras enklare.

Nyckelord*: gemensam modell, arbetsmetodik, roller, realtid*

7.9. Real Estate Core - gemensamt språk för delning av data

För RealEstateCore[18] projektet har Vasakronan, i samarbete med andra, utvecklat ett gemensamt system för att hantera fastighetsförvaltning; drift och underhållsdata. RealEstateCore-standarden, är en del av RealEstateCore Konsortium som är en ideell förening där Vasakronan, Akademiska Hus, Willhem, Idun Real Estate Solutions, Jönköpings Högskola samt RISE ingår.

Syftet är att etablera en gemensam definition av byggnadsrelaterade data, som förenklar styrning, övervakning och kommunikation (Kohn Rådberg och Fredriksson, 2020). Målsättningen för RealEstateCore är att överbrygga befintliga standarder, inte ersätta dem. Detta gör det möjligt att beskriva, hantera, lagra och dela data som byggnader genererar (Kohn Rådberg och Fredriksson, 2020).

RealEstateCore ses som ett bidrag till den smarta staden och kan med utvecklingen av ett gemensamt språk – en ontologi - ge förutsättningar för att utveckla nya tjänster för hyresgäster, leverantörer och fastighetsägaren. Språket är en ”modulär ontologi”, vilket är en samling av datascheman som beskriver begrepp och relationer som kan uppstå i data och som genereras för en beskrivning av byggnader och byggsystem, t.ex. tekniska system, byggnadsstruktur, invånare, sensorer osv. Språket som utvecklades bygger på open source och ligger

[18] https://www.realestatecore.io/

under en MIT-licens. RealEstateCore har varit ett gemensamt innovationsprojekt med flera ekosystem aktörer.

Nyckelord: *ontologi, gemensamt språk mellan olika beställare, förvaltningsdata*

7.10. KIM - transparent kravutveckling med branschen

BaneNor i Norge, har i ett projekt, *KIM - krav på informationsmodeller*[19], utvecklat krav för informationsmodellering, ett projekt som nu är avslutat. Projektet, som täcker in både krav för väg, järnväg och bygg, har arbetat tillsammans med branschen och man har haft full transparens som en viktig förutsättning för utvecklingen av det nya kraven.

Drivkraften har varit att få hela branschen involverade i processen genom att ge branschen möjlighet tycka till, påverka och därmed kunna förankra kravställningen. Beställaren har också arbetat nära andra branschinitiativ och det har funnits full öppenhet och insyn i arbetet. Teamet som har utvecklat kravdokumentet representerar ett stort urval av de största konsultföretagen i Norge.

Projektet har publicerat flertalet preliminära versioner över tid och har fått många återkopplingar från branschen vilka har tagits med till nästa version av kravdokumentet. Kraven har samlats i en kravdatabas, BIMQ, samma som Statsbygg. Det har resulterat i ett gemensamt och väl förankrade krav för informationsmodellering som säkerställer likriktade leveranser för både infrastruktur och bygg.

Nyckelord: *BIM krav, kravdatabas för infra och bygg, samverkan i branschen*

7.11. Project Quality Index (PQi)

Project Quality Index (PQi) var ett utvecklingsprojekt (2017-2019) som genomfördes av branschorganisationen Byggherrarna, forskare vid Luleå Tekniska universitet och Binosight AB[20]. PQi är ett verktyg som möjliggör mätning av kvalitet på projektnivå och som jämför projektets kvalitet med 'best practices' inom branschen. Verktyget ger insikt i hur kvalitet ser ut i hela projektet (inklusive förutsättningar och användning av BIM) och kan användas som en startpunkt för att börja åtgärda kvalitetsbrister.

Nyckelord: *kvalitetsmätning av projekt*

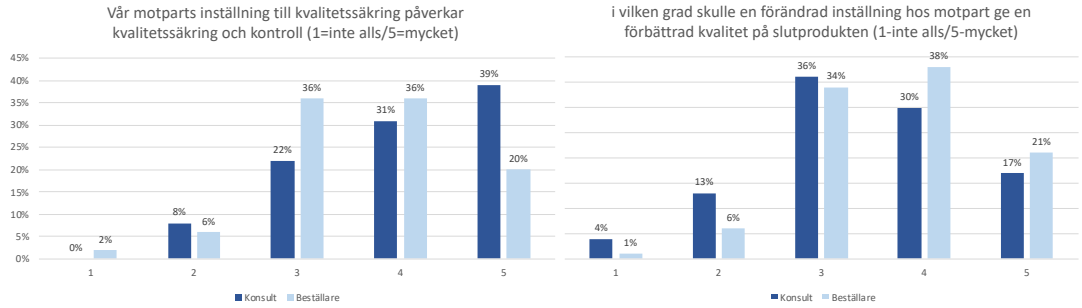
8 Beställarroll - värdeskapande och aktiv kvalitetsstyrning

Enligt Karlsson (2021) har beställaren en stor påverkansmöjlighet i hur kvalitetsstyrningen fungerar i branschen, varför synsättet och förhållningssättet från Trafikverket i relation till kvalitetsfrågor har en stor betydelse för kvalitetskulturen i hela branschen. I enkäten efterfrågades hur motpartens (konsult eller beställare) inställning till kvalitetssäkring påverkar kvalitetssäkring och kvalitetskontroll (se vänster figur 27). Både konsult (medelvärde = 4) och beställare (medelvärde = 3,56) ansåg att motparts inställning påverkar

[19]https://www.banenor.no/Prosjekter/prosjekter/ringeriksbanenoge16/krav-til-informasjonsmodellering-kim/

[20] https://binosight.com/

kvalitets-säkring och kontroll. För frågan i vilken grad en förändrad inställning hos motpart ger en förbättrad kvalitet på slutprodukten tyckte också konsulter (medelvärde = 3,43) och beställaren (medelvärde = 3,7) att detta stämde till viss del (se höger figur 27).



Figur 27: Enkätfrågor: Vår motparts inställning till kvalitetssäkring påverkar kvalitetssäkring och kontroll och I vilken grad skulle en förändrad inställning hos motpart ge en förbättrat kvalitet på slutprodukten. Skala 1-inte alls / 5 – mycket.

Utifrån Trafikverkets förhållningssätt *Renodlad beställare* 2016 (FOI-CE 2018) har fokus varit att inte ställa konkurrensbegränsande krav, att minska de kostnadsdrivande kraven samt att utöka marknadens ansvar för hur uppdraget ska genomföras. Kraven skulle också bli färre, samordnade och mer funktionella, som öppnar upp för innovation och nytänkande (TDOK 2014:0086). Då ansågs det att för samtliga leverantörer är regelverkets omfattning (inklusive de delar av regelverket som inte är uppdaterat och inte praktiskt används i fält) var ett problem. De tekniska regelverken behövde moderniseras och anpassas. Regelverken är väldigt detaljstyrande och de behöver riktas mer mot funktionalitet.

8.1. Utvecklad beställarroll i Trafikverket

Pendeln har svängt och med renodlad beställare avses nu *kunnig beställare* och mer mot arbetssätt såsom succesiv uppföljning (Bosch-Sijtsema, van Raalte, Carlstedt, 2020). Vilket innebär att kravställningen enklare kan följas upp och förklaras och att fel kan uppdagas i tidigare skeden, se kap 4.2.4. Initiativet, projektet Anpassat regelverk har inte nått hela vägen. Det tekniska regelverket är nu uppdelat på krav och råd och placerade i en kravdatabas, TRVInfra, men med begränsad användning utifrån de möjligheter med databaser som finns.

I ett uppdrag inom Trafikverket försöker man effektivisera och anpassa planläggnings-processen till olika typer av projekt så att den ska bli mer effektiv. I 10 projekt har alla fått fria händer att ta bort de krav de tror kan förenkla och effektivisera processen. En konsekvens av har blivit att vissa projekt tog bort alla krav på BIM.

Den renodlade beställarrollen har diskuterats i flera rapporter och Trafikverket genomför nu ett arbete runt utveckling av beställarrollen. De har initierat ett projekt kallat *Utvecklad beställarroll* som genomförs i fem delprojekt. Målet är att Trafikverket ska vara en *värdeskapande, aktiv och tydlig beställare.* Ett delprojektet fokuserar på att utveckla GÅ-processen (Genomföra Åtgärder processen), där man har utformat nya, enhetliga arbetssätt för leverantörsmöten, leverantörsronder och hantering av UR och ÄTA. Målet är att Trafikverket ska uppfattas som en *enhetlig beställare* av leverantörer. Inom projektområdet utvecklad ledarskap/projektledning och utveckling riskhantering genomförs därför under våren 2021 en kartläggning runt beställarrollen.

Beställarrollen i Sverige utvecklas för att blir mer värdeskapande, aktivt och tydligt.

8.2. Norska beställaren - mer fokus på processen

I Norge har man flera statliga beställare inom anläggningsbranschen, BaneNor, Nye Veier och Statens Vegvesen, och alla har de har olika krav och arbetssätt. Nya Veier till exempel, som bara har stora och komplexa projekt, vill lyfta branschen och utmanar med höga krav på nya arbetssätt, krav på leverans av hela Quadridatabasen (från Trimble), krav på att arbetsmodeller och ämnesområdesmodeller delas med beställaren i ett öppet format (t ex IFC), samt krav på leverans av all grunddata som erhållits i projektet såsom GIS-data, illustrationer, presentationsmodell och samordningsmodell. Enligt Aronson et al. (2021), har Statens Vegvesen, Norges vägmyndighet beslutat att revidera och kombinera riktlinjerna för den existerande handboken R700 (Tegningsgrunnlag), som gäller för traditionella ritningar, med V770 handboken (Modellgrunnlag). Enligt Aronson et al. (2021) har granskning/kontroll och godkännande processen anpassats till modellbaserad design utan pappersritningar. Hela processen kan idag utföras med hjälp av endast modeller. Kontroller görs in i modellen (inte ritningar, det finns inga speciella krav på programvara som ska användas vid kontrollen och granskaren skriver kommentarer i BCF format in i modellen.

Nya Veier ställer krav på teknik men också på själva processen, som att leverantören ska använda VDC. Krav på transparens innebär att beställaren ska ha tillgång till all information under hela projektens gång vilket medger insyn i modellen och att all information ska visas utifrån BIM. Ett exempel från kravskrivning är:

”*Helt öppen process- och dataintegration aktiverad av” webbtjänster ”som överensstämmer med de framväxande IFC / IFD-standarderna, som hanteras av en samarbetsmodellserver. Kan betraktas som iBIM eller integrerad BIM som potentiellt använder samtidiga tekniska processer*”

Konsulterna ska alltså stå för webaccess och webtjänsten. Beställaren får en licens att använda webtjänsten. För vissa beställare och projekt är det också viktigt att servern till webtjänsten står i Norge för säkerhetsskäl.

Kraven från beställare i Norge värderas högt i projekten då det handlar om tillgång till information och processer och beställaren litar på att leverantören, konsulterna genomför kvalitetskontroller inom projektet.

Projekt som utförs för Nye Veier har krav på att använda VDC som process och enligt intervjuerna fungerar den processen väldigt bra. Beställaren är engagerad och med i processen under hela projektets gång och det ger dem den information de behöver för att ta kunna beslut och att veta att de får det som är beställt. Det är ett sätt att kontrollera kvalitet under hela projektens gång.

Intervjuerna bekräftade också att det, för att få till en god kvalitetssäkringsprocess och kvalitetskontroll, är viktigast med en bra process som stödjer genomgångar av vad som sker i projektet kontinuerligt.

Beställarrollen i Norge är aktivt engagerad (för en del beställare), är tydligt (kravställning) och ställer process krav (genomförande krav) som lyfter upp nya arbetssätt. I jämförelse med Sverige, så har Sverige inte ställt krav på process och det blir svårare att genomföra nya arbetssätt som fokusera på samverkan.

DEL II

Kvalitetskontroll av Digitala modeller

Medverkade: Mikael Johansson, Mattias Roupé, Stefan Granberg, Alexander Svensson, Niklas Bergström, Susanne van Raalte

DEL II: Kvalitetskontroller av digitala modeller

Med utgångspunkt i kartläggningen av nuvarande leveranser, kvalitetssäkringsprocess och kvalitetskontroller har workshoppar och interna gruppdiskussioner hållits med syftet att definiera en behovsanalys. De definierade behoven har sedan genom workshoppar transformerats till use-cases för kvalitetskontroller, visuella eller regelbaserade. Vid flera workshoppar har relevanta barriärer, problem och projektexempel diskuterats som utgångspunkt vid test av olika kontrollmetoder. Arbetsgruppen har därefter utvecklat en struktur, utifrån olika typer av krav och kvalitetskontroller, som varit en startpunkt för use-cases inom studien.

Digitala modeller säkerställer krav på innehåll, struktur och lösning och kontrolleras därför utifrån alla olika typer av krav. Modellens struktur kontrolleras av BIM-specialist och flertalet av dessa kontroller skulle kunna utföras regelbaserat eller automatiserat. Innehållet i modellen kontrolleras av respektive specialist inom ett teknik- och miljöområde. Vissa kontroller skulle även här kunna utföras regelbaserat eller automatiserat. Som exempelvis kontroll av avstånd mellan signalstolpar.

Modellen är en handling som visar hur en lösning kan utformas. Kontroll av krav på lösning kan vara svåra att göra regelbaserat och kontrolleras med fördel gemensamt med specialister inom berörda teknik- och miljöområden. En fundering här är att om krav på innehåll och struktur är kontrollerat har vi då funnit den bästa lösningen?

Hur modellen hanteras och används under projektering är exempel på ett krav på genomförande. Det kan vara krav på hur projektörerna ska arbeta mot en gemensam samordningsmodell eller hur man ska använda modellen som verktyg för kvalitetssäkring och därmed ta bättre och tryggare beslut. Kontroll av genomförandekrav tas ej med i detta kapitel.

För att välja ut krav och use-cases för IFC och BCF har arbetsgruppen arbetat med och försökt kategorisera krav i förhållande till olika typer av kontrollmetoder. En matris har tagits fram som underlag för diskussion, se figur 28. Kvalitetskontroller som identifierats i kartläggningen är gemensam och oberoende kontroll samt egenkontroll. Kontrollerna kan vara manuella eller automatiska och kan delas in i visuella, regelbaserade eller automatiska och maskinläsbara.

KRAV	KÄLLA	Kravtyp 1	Kravtyp 1	Kravtyp 1	Kontrollmetod A	Kontrollmetod B	Kontrollmetod C
	Välj...	Välj...	Välj...	Välj...	Välj...	Välj...	Välj...
Krav 1		Innehåll	Övergripande funktionskrav	Format (fil)	Gemensam kontroll	Avstånd	Volym
		Struktur	Funktion	Metadata (fil)	Oberoende kontroll	Antal	Yta
		Lösning	Utformning	Geometri (objekt)	Egenkontroll (manuell)	Tid	Punkt
			Genomförande	Attribut (objekt)	Egenkontroll (automatisk)	Status/Ändring	Linje
			Handling	Placering (objekt)	Maskinläsbar kontroll	Funktion	Text
				Units (m/mm)		Koppling	Egenskap (färg/material)
						Kollision	

Figur 28: Diskussionsunderlag med kategorisering av krav på/i modell i förhållande till kontrollmetod

Visuella kontroller är manuella och kan göras gemensamt eller genom egenkontroll och innebär att man själv, genom att ”navigera runt” i modellen försöker hitta bland annat kollisioner och konflikter. Filtrering och färgkodning liksom olika typer av gränssnitt som t ex. VR (virtual reality) och AR (augumented reality) underlättar visuell kontroll. Se mer under kapitel 9.3. Automatiska kontroller kan vara delvis automatiska såsom regelbaserade kontroller eller helautomatiska som maskinläsbarhet.

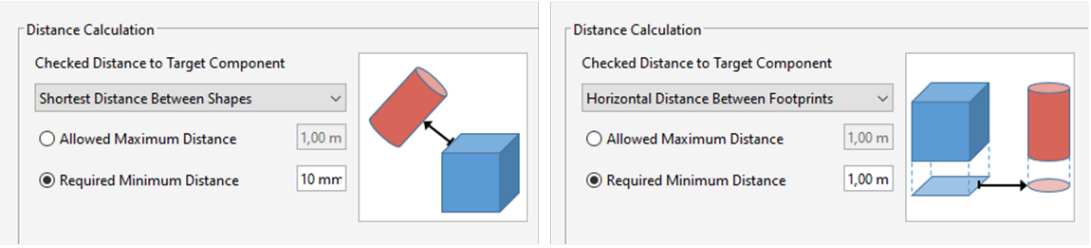
Kommande kapitel 9 och 10 fokuserar på ett antal kravställningar som testats utifrån visuella och regelbaserade kontrollmetoder.

9 Kontrollmetoder av IFC-modeller

Inom husbyggnad är det idag tämligen vanligt att använda sig av olika typer av kvalitetskontroller utifrån BIM-modeller. Vanligast är att göra geometriska kollisionskontroller mellan de olika disciplinerna, men även mer avancerade kvalitetskontroller, såsom automatisk kontroll av tillgänglighetskrav eller visuell granskning med hjälp av Immersive Virtual Reality[21] används mer och mer. Syftet med detta avsnitt är att förklara förutsätt-ningarna, möjligheterna, och begränsningarna med detta koncept utifrån ett husbyggnadsperspektiv samt ge konkreta exempel på olika typer av BIM-baserade kvalitetskontroller som används idag. I följande avsnitt (kapitel 10) tittar vi sedan på hur vi kan använda ett liknande koncept inom infrastruktur.

9.1. Kollisions- och avståndskontroll

En av de stora fördelarna med att jobba med BIM-modeller i projekteringen jämfört med ritningar och 2D-CAD är bl.a. att det finns möjlighet att göra *kollisionskontroller* mellan olika objekt och komponenter, exempelvis mellan ventilationsrör och betongpelare, för att undvika att dessa kolliderar under produktionen. Inom husbyggnad är det vanligt att programvaran Solibri används för denna typ av kontroll, där ett antal olika typer av *regler* finns att tillgå. När det gäller allmän kollisionskontroll så används en regel som i princip säger att ingen geometri får kollidera med någon annan geometri, se figur 29. Denna regel kan även användas mer flexibelt, exempelvis genom att ange ett min- eller maxavstånd till en annan geometri för att på så sätt bl.a. inkludera en *buffer-zon*. Vidare går det också att utnyttja objektens egenskaper för att på så sätt styra vilka objekt som skall kontrolleras, exempelvis att enbart kontrollera kollisioner mellan objekt av typen ”Elstegar” mot ”Ventilationsrör”.



Figur 29: Exempel på några av de typer av avstånds- och kollisionskontroller som kan göras i Solibri.

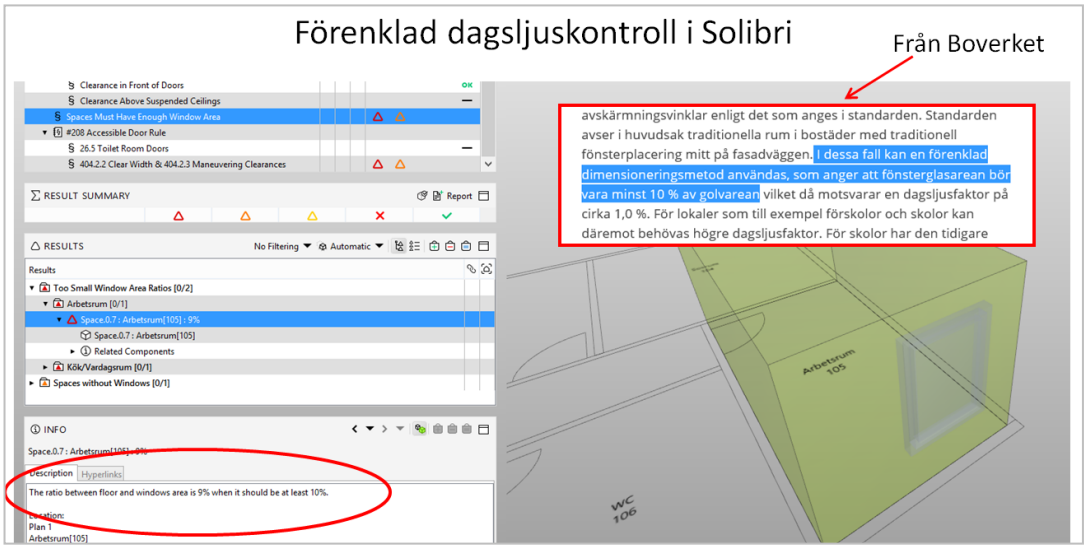
Kollisionskontroll är dock bara en av kontrollerna som kan göras på en BIM-modell. I och med att det även finns objektegenskaper och relation så kan också mer avancerade (logiska kontroller) kvalitetskontroller göras, exempelvis att tillgänglighetskrav är uppfyllda eller att det finns erforderliga brandutrymningsvägar från alla utrymmen.

9.2. Regelbaserade kvalitetskontroller

I syfte att illustrera konceptet med avancerade kvalitetskontroller, och hur det skiljer sig från kollisionskontroller tas här kravet från Boverket gällande tillgång på dagsljus i en byggnad.

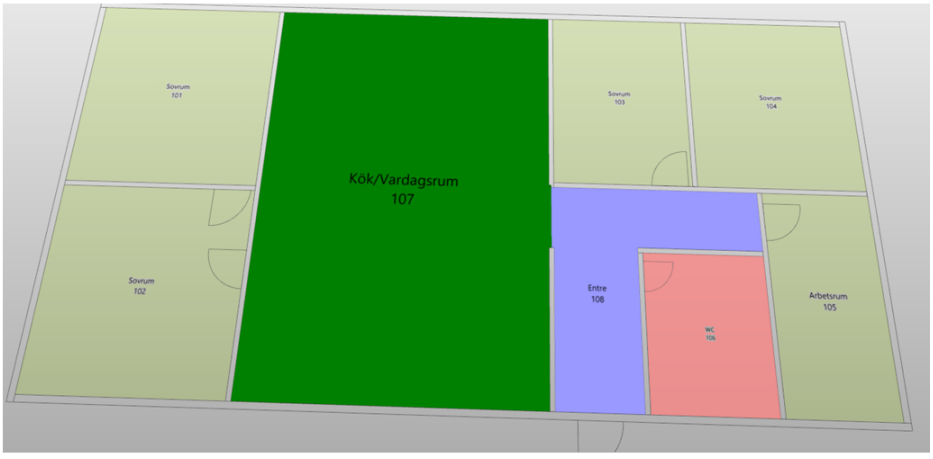
[21] Immersive VR innebär man är innesluten i en virtuell värld med hjälp av exempelvis VR-glasögon (HMD – Head Mouted Display)

Kravet anger att i rum där människor vistas mer än tillfälligt (exempelvis sovrum, vardagsrum, etc.) ska fönsterglasarean vara minst 10% av golvarean i utrymmen. Alltså, för att utföra denna kontroll så behövs följande information för varje rum i modellen: *rumstyp*, *golvarea*, samt *total fönsterarea*. Information om geometri, vissa egenskaper, och relationer i BIM-modellen gör att denna typ av kontroll kan utföras helt automatiskt. Genom rumsobjektets *geometri* fås golvarean, och via *relationen* mellan rumsobjekt och de omslutande väggarna fås de fönster (eller öppningar) som leder till respektive rum (se figur 30). Utöver detta så behöver varje rumsobjekt också ha dess rumstyp som en *egenskap*. Figur 30 visar ett exempel där en regel i Solibri som kontrollerar detta krav har upptäckt ett kvalitetsfel i modellen då ett av sovrummen inte har tillräckligt dagsljusinsläpp (fönsterglasarean är endast 9% av golv arean i detta rum).



Figur 30: Kontroll av dagsljuskrav

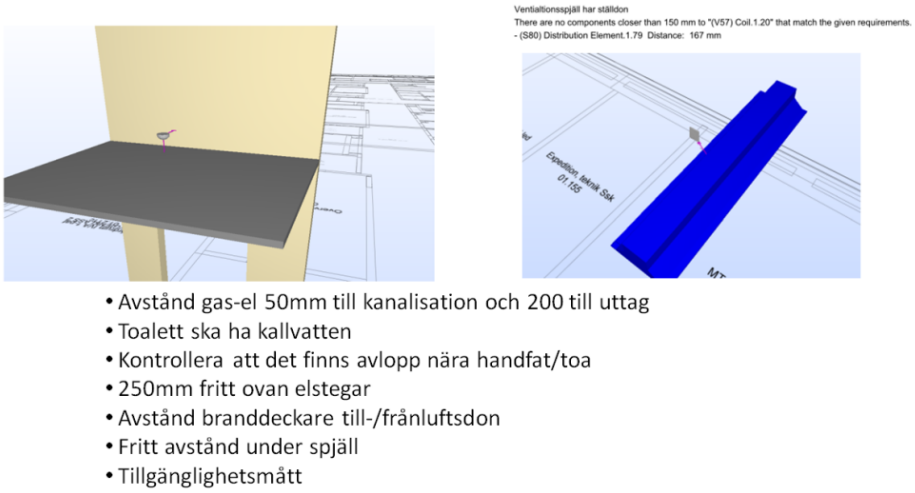
Detta exempel visar också behovet av *modellkrav*, d.v.s. krav som modellen måste uppfylla för att den ska kunna användas för att göra kvalitetskontroller. Väggar och fönster får anses självklart, men utöver detta så behövs också själva rumsobjektet tillsammans med en parameter som beskriver dess rumstyp. Just rumstyp är en parameter som projektören måste upprätta manuellt, genom att ange en utrymmeskod, oftast enligt BSAB-standarden (se figur 31).



Figur 31: Utrymmen klassificerade enl. BSAB-standarden

Genom att göra en *leveranskontroll* kontrolleras att alla rumsobjekt har en parameter med BSAB-koden. Om *inte* leveranskontrollen går igenom så betyder detta med andra ord att modellen inte har tillräcklig kvalitet för att kunna göra själva kvalitetskontrollen. Detta exempel belyser också en utmaning som kan uppstå när det gäller vissa modellkrav: *Hur vet vi att det är rätt rumstyp som är beskriven? Tänk om det är en felskrivning och sovrummet i själva verket är ett badrum*? I många fall görs ytterligare analyser för att se rimligheten i en viss parameter (i detta fall om det finns vattenledningar, garderober, toalett, etc. som kan ge en indikation på typen av utrymme) men det finns en utmaningen i att säkerställa en hundraprocentig kontroll i alla tänkbara situationer.

Fördelarna med automatiska kvalitetskontroller uppväger dock de utmaningar som finns, och inom husbyggnad blir detta allt vanligare. Figur 32 visar exempel på ett antal av de automatiska kvalitetskontroller som användes i ett nyligen genomfört sjukhusprojekt. Utöver dessa gjordes även automatiska kontroller där modellen jämfördes med rumsfunktionsprogrammet för att se avvikelser m.a.p. belysning, eluttag, sprinkler, ventilation, etc. i varje rum. Att göra dessa kontroller manuellt (vare sig från 3D-modell eller 2D-riting) är extremt tidskrävande. Att göra det automatiskt innebär därför inte enbart att det är mer resurseffektivt, *utan säkerställer också att det faktiskt blir gjort*.



Figur 32: Exempel på identifierade kvalitetsproblem och några utav de kontroller som gjorts i ett sjukhusprojekt.

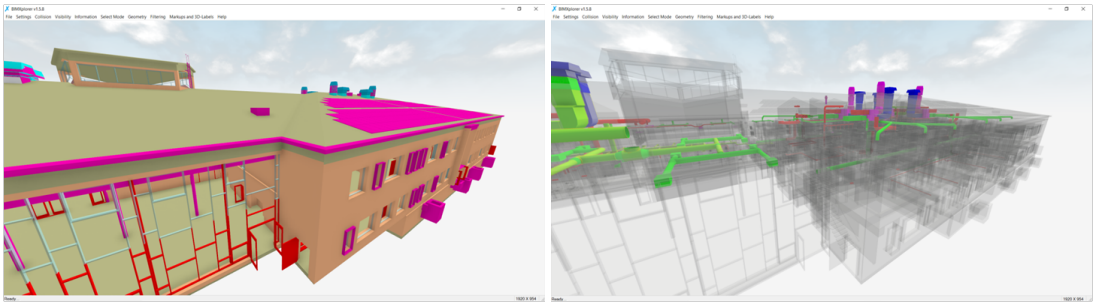
9.3. Visuella kvalitetskontroller

En av de mer direkta fördelarna av att jobba med BIM-modeller är själva 3D-geometrin och möjligheten att använda olika 3D-visualiseringstekniker, inte minst i kommunikationssyfte. Istället för att inblandade parter i ett projekt gör egna tolkningar utifrån 2D-representationer (av något som i verkligheten är i 3D) ger 3D-visualisering möjligheten för alla parter att få en mer gemensam bild. Möjligheten att använda 3D-visualisering medför givetvis också att det går att göra *visuella kvalitetskontroller*. Vissa typer utav kvalitetskrav exempelvis funktionskrav kan vara svåra att kontrollera automatiskt, men desto lättare att granska visuellt, exempelvis krav gällande utformning och byggbarhet. Principen är generellt att om det går att upptäcka en kvalitetsbrist visuellt i verkligheten, så går det att upptäcka visuellt via en 3D-

modell. Det finns dessutom möjligheter att förstärka och underlätta den visuella kvalitetskontrollen, bl.a. med hjälp av filtrering och VR.

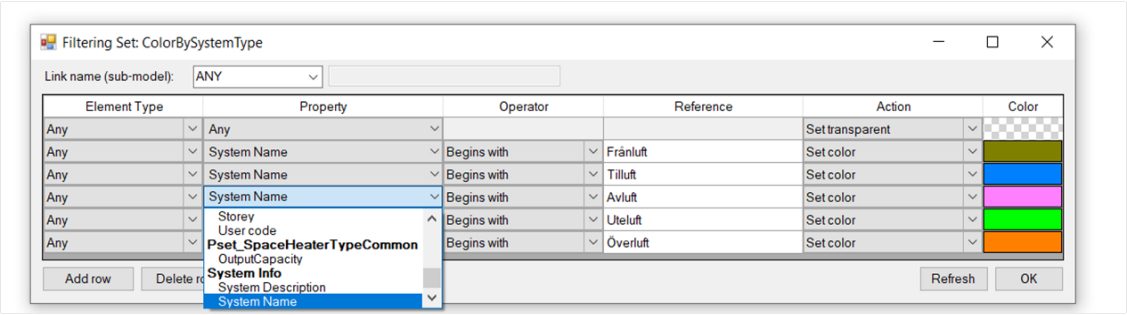
9.3.1. Filtrering och färgkodning

I CAD-världen har lager historiskt används som en teknik för att logiskt gruppera olika objekt med avseende på bl.a. tillhörighet, funktion eller disciplin. Med BIM-modeller försvinner i viss mån konceptet med lager och ersätts med objektbaserad hantering vilket ger större möjligheter för filtrering och färgkodning. Det underlättar att olika objekt i BIM-modellen tillfälligt kan ges olika färger och synlighet baserat på dess egenskaper. Figur 33 visar ett exempel på detta där det är samma modell och vypunkt, men olika filter. På den vänstra sidan är objekten färgkodade efter objektstyp (vägg, pelare, dörr, etc.) och på den högra är ventilationsobjekt färgkodade baserat på vilket system de ingår i medans övriga objekt är transparenta. Att växla mellan dessa två filter sker direkt. Alltså, medans lager är mer eller mindre statiska så är filtrering något som hanteras dynamiskt och kan på så sätt ses som en form av ”dynamiska lager”. Filtrering och färgkodning är dock väldigt programvaruberoende, där vissa BIM-viewers har begränsat eller inget stöd alls, medans exempelvis Solibri och BIMCollab Zoom fullt ut stödjer regelbaserad filtrering och färgkodning, där alla typer av BIM-parametrar kan tas hänsyn till.



Figur 33: Exempel på filtrering och färgkodning

I figur 34 (nedan) nedan, visas ett exempel på hur själva skapandet av ett filter kan gå till. Varje rad representerar en regel, där en BIM-objektsparameter jämförs med ett referensvärde. Beroende på om regeln faller ut eller inte, sätts sedan synlighet, färg, eller transparens. I detta fall kontrolleras parametern *System Name* och färg sätts baserat på om det är från- eller tilluft, etc. Alla andra objekt görs transparenta.



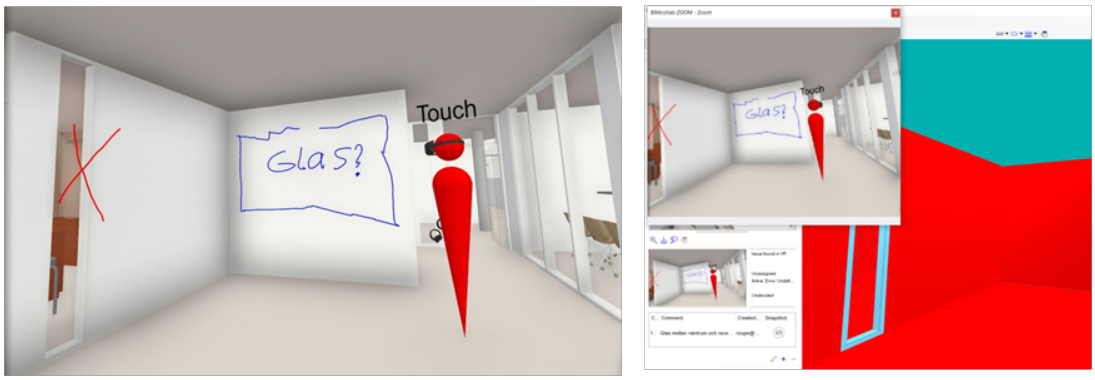
Figur 34: Exempel hur skapandet av ett filter kan gå till utifrån egenskaper och attribut.

9.3.2. Virtual Reality (skala 1:1)

BIM-modeller tillsammans med en ny generation av VR-glasögon, såsom Oculus Rift och HTC Vive, har öppnat upp möjligheten för mer effektivt användande av VR-teknik. Många programvaror stödjer dessutom direktimport av IFC-filer och det finns också möjlighet för flera användare att vara inne i samma VR-modell samtidigt, även på distans. I dagsläget används tekniken både under design- och produktionsskedet och det är framförallt möjligheten att kunna ”kliva in” i projektet och betrakta det i skala 1:1 som är styrkan med tekniken och gör att alla ”ser samma sak”. I designskedet handlar det om att kunna kvalitetsgranska design och utformning, inte bara inom projekteringsteamet, utan ofta tillsammans med brukare och slutanvändare, se figur 35. Det kan exempelvis vara personer som är experter på en viss typ av verksamhet, men som har svårt att läsa och tolka traditionella 2D-ritningar. Under produktionsskedet är det ofta arbetsberedning och planering som är den primära applikationen, men tekniken används även för allmän förståelse, säkerhet, och kommunikation, se figur 35, höger bild.

Figur 35: Användning av virtual reality i VR-möten.

För att få en smidig återkoppling från granskning tillbaka till projekteringen kan med fördel VR användas tillsammans med BCF. Exemplet i figur 36, vänster bild är taget från ett granskningstillfälle i projektet Lundbyskolan i Göteborg, då slutanvändare och beställarens representanter tillsammans genomförde en VR-granskning under projekteringsfasen. Vid frågetecken och problem kunde användarna ta BCF-skärmdumpar direkt inifrån VR-miljön vilka efter mötet skickades till projekteringsgruppen som BCF-filer. Fördelen med detta arbetssätt är att då en BCF är koordinatbestämd så vet projektören direkt var i modellen som problemet eller frågan har uppstått. I figur 36, nedan, visas ett exempel på en föreslagen ändring i VR (vänster), samt denna BCF importerad hos projektören (höger). I detta fall är BCF-filen importerad i BIM-viewern BIMCollab Zoom, men det kan också göras i själva projekteringsverktyget, exempelvis Revit.



Figur 36: Exempel på hur VR används tillsammans med BCF för ärendehantering.

9.3.3. Multi-touch skärm

En s.k. touch-skärm är ytterligare ett sätt att underlätta arbete med 3D- eller BIM-modeller. Personer som har mindre eller begränsad vana att navigera i BIM-modeller med mus och tangentbord brukar oftast föredra ett touch-gränssnitt. I figur 37 visas exempel från ett forskningsprojekt där syftet har varit att ta fram ett gränssnitt för att låta brukare och slutanvändare planera vård- och skollokaler. Dessa personer har oftast ingen erfarenhet av att jobba med 3D- eller BIM-modeller, men kan ändå utforma sina egna lokaler tack vare ett användarvänligt gränssnitt. I just detta fallet har det även varit möjligt att granska och ändra utformningen via ett VR-gränssnitt. Sammanfattningsvis kan man säga att VR-glasögon och touch-skärmar tillsammans med ett användarvänligt gränssnitt gör det möjligt för vem som helst att navigera i och granska en BIM-modell, oavsett vad personen har för bakgrund eller kompetens.

Figur 37: Exempel från ett forskningsprojekt som använder multi-touch skärm för planering av skol- och vårdlokaler.

9.3.4. Augmented reality/mixed reality

Augmentet Reality (AR) betyder förstärkt verklighet. Genom att använda en mobil/tablet så kombineras verkligheten genom kameran och kompletteras med ett visuellt lager av data, exempelvis en datamodell.

Med hjälp av AR så kan även tekniskt ovana personer förstå hur ett framtida förändring kan te sig då verkligheten kombineras med datorgenererad information.

Med AR kan många andra informationsmängder som ritningar minimeras och det kan i många fall skapa möjligheter som inte annars finns. Exempelvis på detta är redovisning av objekt som ligger under markytan.

Trimbles lösning för AR kallas SiteVision (figur 38) och det är en gps-mottagare som kombineras med en mobiltelefon. Detta ger en tydlig visualisering av hur en BIM-modell upplevs ute i fält och där modellen får närmare centimeterprecision när den kopplas mot befintlig terräng.

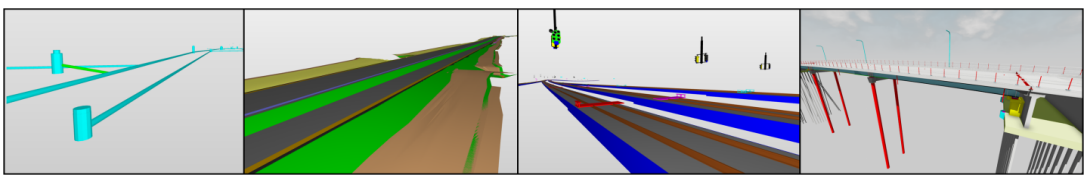
Norconsult har i projekt med omfattande ledningssamordning utfört tester med goda resultat. Sträckan att gå från modell till AR blir väldigt kort.

Figur 38: SiteVision med ny Hide-funksjon, Trimble. https://www.novapoint.com/sitevision-med-ny-hide-funksjon

10 Kontroll av anläggningskrav - test och utvärdering

Inom ramen för projektet så har fyra olika IFC-modeller undersökts med avseende på innehåll och informationsstruktur och även använts för att testa konceptet med automatiska och visuella kvalitetskontroller, se figur 39. Modellerna består av en eller flera IFC-filer som är tagna direkt från riktiga projekt. De fyra projekten har befunnit sig i olika skeden såsom projektering, produktion, etc. och representerar VA, Väg, Järnväg, samt Bro. De fyra projekten kommer från antingen VO Investering eller VO Stora projekt. I nedan text benämns de som Projekt A – D. Modellerna är ursprungligen skapade i Civil3D (A och C), Novapoint/ Quadri (B), och Tekla Structures (D). För kontroll- och granskningsexperiment har primärt programvarorna Solibri, Trimble Connect, FZKViewer, och BIMXplorer används.

Avsikten med testerna har inte varit att kvalitetsgranska projekten i sig utan snarare se på möjligheter, utmaningar och begränsningar med detta koncept utifrån de typer av modeller som finns att tillgå idag.



Figur 39: De projekt/modeller (A-D) som användes för test och utvärdering.

10.1. Utmaningar med ICF i anläggningsmodeller

Under test och utvärdering av kontroll av anläggninskrav har ett antal utmaningar och begränsingar identifierats, såsom informationsstruktur och innehåll samt IfcAlignment och avståndskontroller.

Informationsstruktur och innehåll

En första observation är att ingen av filerna har samma informationsstruktur vilket ger en indikation på att detta *är* ett problemområde. Vissa av filerna har inte några PropertySets överhuvudtaget. En närmare granskning visar att en standard export från Civil 3D skapar en IFC utan PropertySet. Detta går att lösa med en konfigurationsfil, men det är lång ifrån användarvänligt och det är tveksamt om projektörer i branschen kan hantera detta idag. Samma problematik återfinns i viss mån i Novapoint/Quadri. Det krävs konfigurering för attribut utöver CAD-lager förexporterade filer.

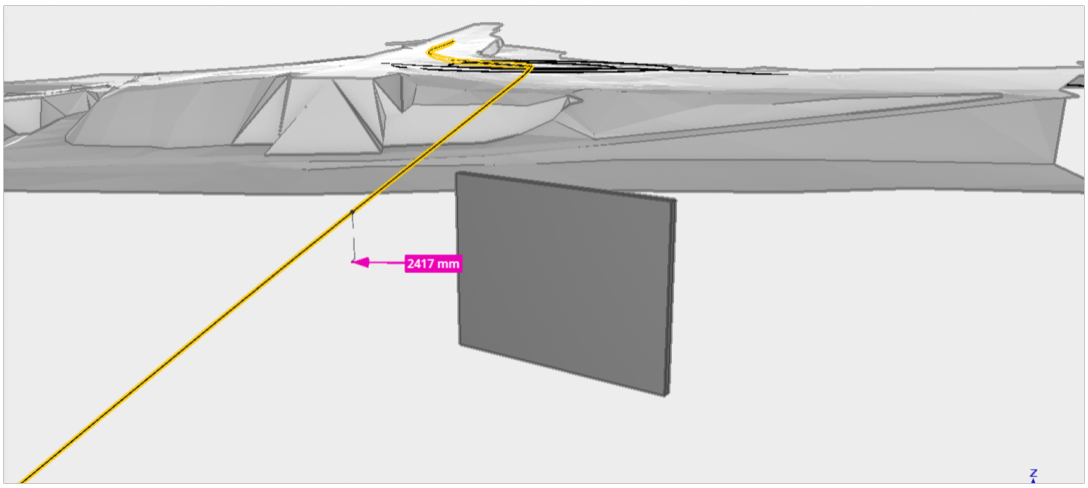
De begränsningar som finns i IFC2x3 när det gäller objektstyper för infrastrukturprojekt blir tydliga i de modeller som testas. I samtliga modeller, förutom bro-modellen (Projekt D) finns endast objektstyperna IfcSlab och IfcBuildingElementProxy representerade. Denna problematik går dock att hantera med klassificerings-attribut, såsom BSAB eller CoClass. För att det ska fungera fullt ut krävs det dock att dessa attribut namnges på ett standardiserat sätt, vilket inte är gjort i filerna som testats. Begränsningar i IFC-standarden (beroende på version) är dock endast en liten del av problematiken. En av de leverade modellerna levererades som IFC4.1, men innehöll trots detta ingen alignment-kurva.

IfcAlignment och avståndskontroller

Även om Solibri kan importera IFC4.1-filer så har den inte stöd för IfcAlignment, dvs den objektstyp som representerar väg- eller spårmitt. Solibri hanterar överhuvudtaget inte linjerepresentationer eller kurvor, så det går heller inte att använda en s.k. proxy-geometri för detta. Orsaken är att systemet primärt är utvecklat för husbyggnad.Det innebär dock att Solibri inte kan utnyttjas för kvalitetskontroller mot en linjerepresentation av väg- eller spårmitt. Enda sättet att komma runt detta är att i projekteringsverktyget skapa en solid-geometri av mittlinjen (exempelvis genom att extrudera en cirkel längs alignment-kurvan), vilket får anses vara en omständlig och mindre önskvärd lösning. Att direkt utnyttja alignment-kurvan för automatiska kontroller är utmanande i de flesta BIM-viewers.

I Trimble Connect importeras och visualiseras alignment-curvan korrekt utifrån en IFC4.1-fil. Med mätverktyget går det att manuellt ta vinkelräta mått mot kurvan (för att få kortaste avstånd), se figur 40, men däremot går det inte att göra automatisk kollisions- eller avståndskontroll mot kurvan. Inom ramen för projektet så har flera andra BIM-viewers testats, bl.a. BIMCollab Zoom, SimpleBIM, FZK Viewer och usBIM. Viewer. Även om vissa utav dem kan importera alignment-kurvor så går det inte att göra automatisk kollisions- eller avståndskontroll mot den. FME är ytterligare en programvara där det hade varit intressant att testa och utvärdera avståndskontroll mot alignment-kurvor. Utifrån frågor och önskemål på FMEs användarforum så är det dock tveksamt om denna funktionalitet finns redan idag[22].

[22] https://community.safe.com/s/bridea/a0r4Q00000Hbrx3QAB/ifc-alignment-extension-reader-and-writer



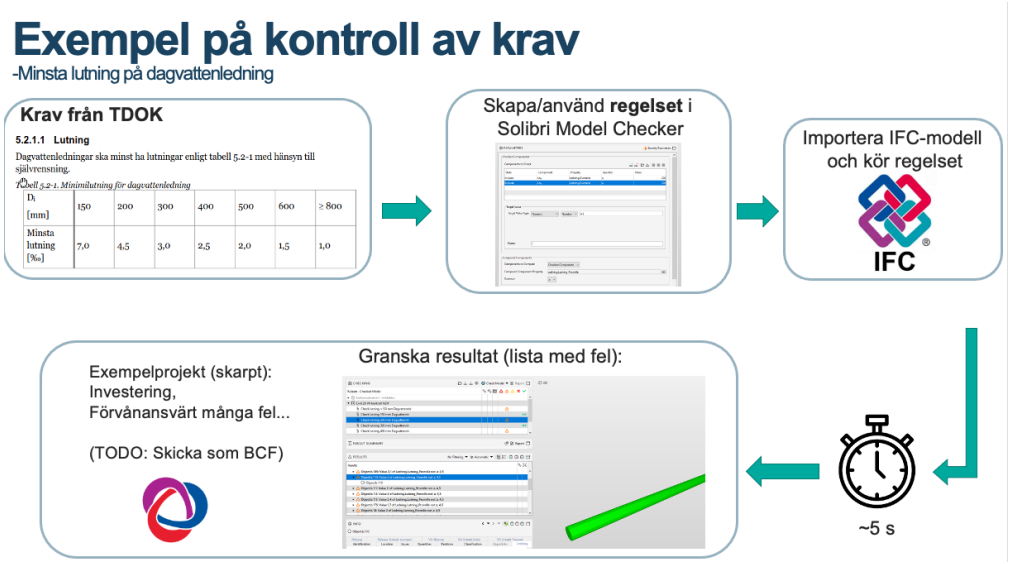
Figur 40: Manuell avståndsmätning mellan objekt och alignment-kurva i Trimble Connect.

10.2. Utvärdering av möjliga IFC kontroller

10.2.1. Attribut-baserad kontroll

I Projekt A utvärderades attribut-baserad kvalitetskontroll, dvs kontroll att en viss parameter befinner sig inom ett godkänt referensintervall. I detta fall valdes krav på erforderlig lutning på dagvattenledning enl. TRVINFRA-00231. Just detta krav är väldigt intressant utifrån ett automatiseringsperspektiv, då kravet i sig är beroende av övriga attribut i modellen. Exempelvis är kravet på lutning beoende av vilken diameter ledningen har. I Solibri hanteras detta genom att flera regler skapas och sedan används en filtreringsfunktion som anger vilka objekt som varje regel skal appliceras på. Exempelvis appliceras regeln som kontrollerar att minsta lutningen är 2 promille enbart på de dagvattenledningar som har en diameter mellan 500 och 600 mm. Genom att skapa 7 olika regler (med tillhörande filtrering) kan således denna kvalitetskontroll göras helt automatiskt på några sekunder, se figur 41. Denna kontroll kan också utgöra exempel på en typ av kontroll där det är förhållandevis hög risk för felprojektering, eftersom det är vanligt att diametern ändras under projekteringen, och att att ändring för lutning inte följer med.

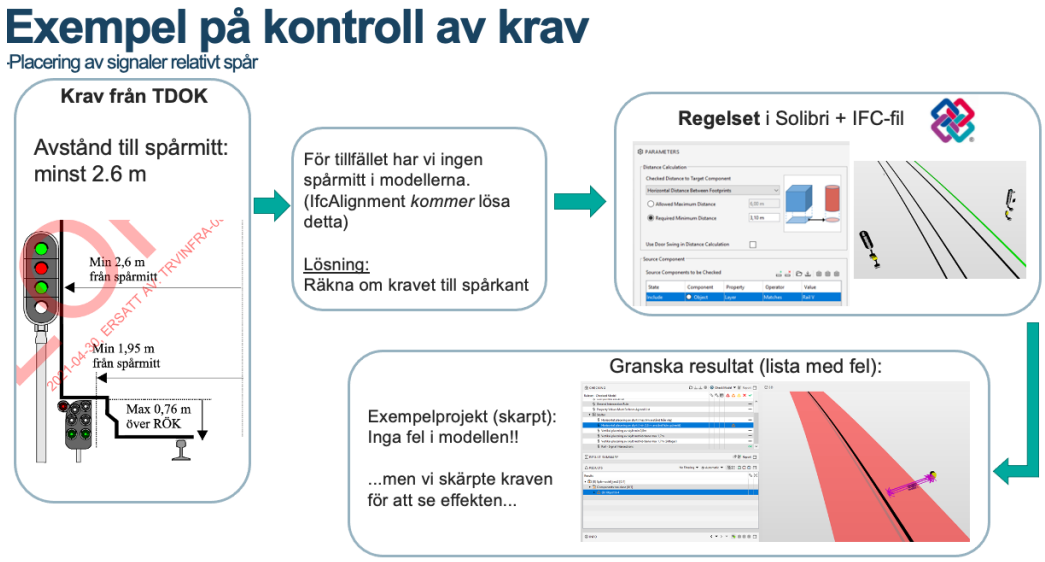
Nödvändiga förutsättningar för denna typ av kontroll är att attributen finns tillgängliga i modellen, i detta fallet *diameter* samt *lutning*. Först behöver alltså en *leveranskontroll* utföras, som ser till att erforderliga attribut finns i modellen. Det är också önskvärt att kontrollera att dessa attribut överensstämmer med dess geometriska motsvarighet, dvs att att ledningens geometriska lutning är samma som är angivet som attribut. Detta kan dock vara en utmaning i dagsläget då det är få, om några, programvaror som tillåter denna typ av geometrisk kontroll.



Figur 41: Exempel på kontroll av krav – Minsta lutning på dagvattenledning.

10.2.2. Kombinerad attribut- och geometri-baserad kontroll

Modellen från Projekt C användes till att utvärdera kombinerad attribut- och geometri-baserad kontroll, i detta fall erforderligt avstånd från räls till signal enligt. TRVINFRA-00307. Testet utfördes på en modell i formatet IFC2x3 vilket tydliggjorde framförallt två brister med formatversionen; (1) avsaknaden av alignment-kurva för spårmitt, samt (2) avsaknad av signaler som tydliga IFC-objektstyper (i princip alla objekt var av typen *IfcBuilding-ElementProxy*). När det gäller alignment-kurvan kunde detta lösas temporärt genom att räkna om kravet från spårmitt till spårkant (genom att ta bort hälften av spårbredden från kravet). När det gäller avsaknaden av lämpliga IFC-objektstyper så kunde istället lager-attributen som fanns i filen användas, i detta fall *Rail V* och *Signal V*. På så sätt användes den regel som skapades i Solibri till att se till att objekt som hade lagerattributet *Signal V* måste ha ett horisontellt avstånd av minst 1.88 m (2.6 - spårbredd/2) till objekt som har lager-attributet *Rail V*. Resultatet från denna kvalitetskontroll på exempelprojektet visade att kraven var uppfyllda. Även om lager-attribut kan hantera avsaknaden av IFC-objektstyper är det ingen optimal lösning, eftersom varje liten geometridel av ensignal utgör ett eget objekt, vilket skapar svårigheter att avgöra vilka objekt som tillsammans representerar en signal. I praktiken innebär detta att ett signalobjekt kan bestå av tio olika delobjekt, vilket gör att om en signal är placerad för nära spårmitt så rapporteras tio olika kvalitetsfel istället för ett kvalitetsfel. Sammanfattningsvis så går det alltså att göra denna typ av kvalitetskontroll i järnvägsprojekt även utifrån IFC2x3-modeller. Klart är dock att IFC4.3 kommer underlätta detta i och med fler objektstyper för infrastruktur-projekt, framförallt med avseende på alignment-kurva.



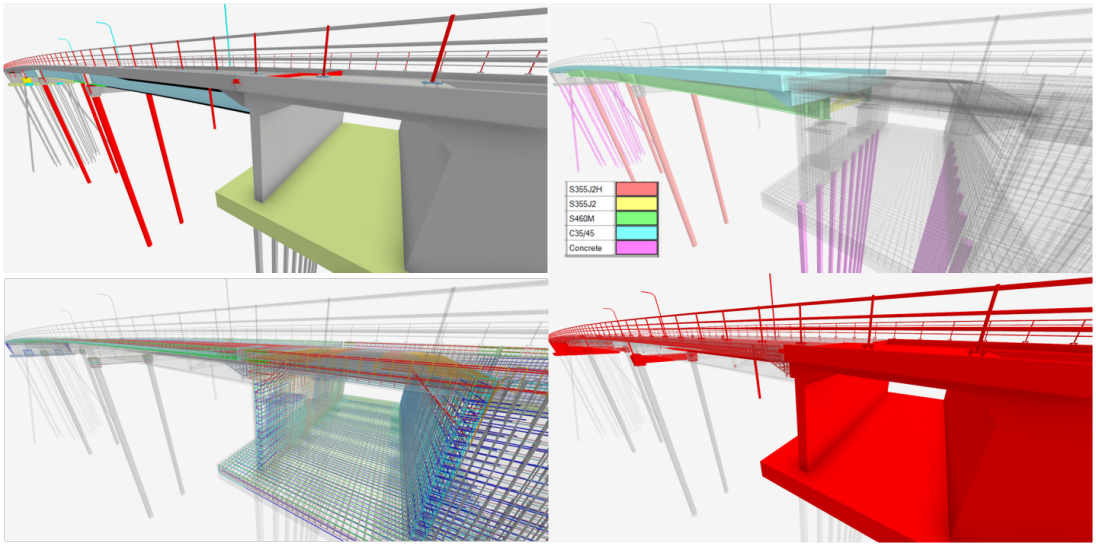
Figur 42: Exempel på kontroll av krav – placering av signaler relativt spår.

10.2.3. Filtrering och färgkodning

Modellen från Projekt D användes för att testa konceptet med filtrering och färgkodning och hur detta skulle kunna underlätta kvalitetsgranskning. Modellen bestod av sju delmodeller, alla skapade i Tekla, och får anses vara detaljerade och informationsrika. Svårigheten är att informationsstrukturen inte var konsekvent och att det var ganska stor spridning i benämningar av egenskaper och properties. I detta test var syftet att påvisa flexibiliteten med filtrering och färgkodning när en informationsrik modell. Figur 30 visar samma vypunkt och modell där olika filter är applicerade. Dessa exempel visar endast en liten del av möjliga tillämpningar. Konceptet är mycket kraftfullt för allmän informationsvisualisering och det går i princip att filtrera på vilka parametrar eller attribut som helst, såsom disciplin, status, nytt/befintligt, tolerans/säkerhet, MMI (Model Maturity Index), etc. Denna typ av kontroll skapar möjligheten att *visuellt* besvara frågor som:

"Vilka befintliga ledningar i skede Y är inmätta av företag ABC?"

"Vilka ändringar är gjorda sedan föregående leverans för disciplin Q?"



Figur 43: Visualisering i BIMXplorer.Samma modell och vypunkt, men olika filter. A) Originalfärger från IFC B) Färgkod baserat på material (element utan materialparameter är transparenta) C) Endast armering (färgkodad enl. IFC-filen) D) De element som saknar parametern "AMA-kod" är röda, övriga transparenta (de element som har parametern).

10.2.4. Kontroll mot väglinje

Ett test utfördes för att simulera ett mer integrerat arbetssätt där kontrollen gjordes direkt mot objekten i modellen, av kontroller mot väglinje.

Vi projektstart var det ingen större systemleverantör som hanterade kontroll av modeller i samband med räknade linjer/geometrier.

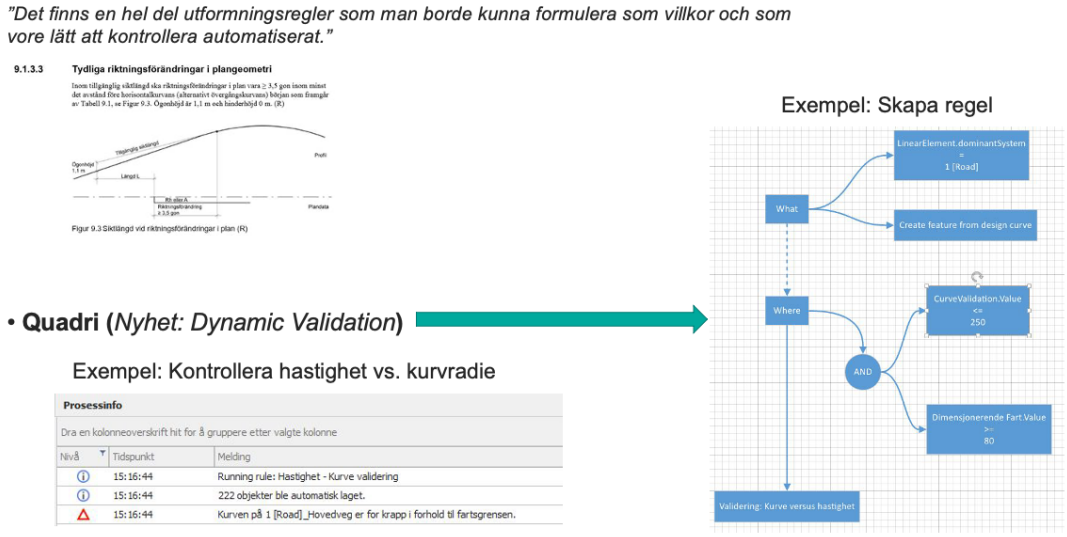
För att åstadkomma en kontroll mot en räknad linjer/geometri, skapade Trimble ett gränssnitt med grafisk programmering och kopplade detta till sin Dataplattform/CDE - Quadri.

Beräkningen/kontrollen benämner Trimble som Dynamic Validation.

Med hjälp av denna lösning var det möjligt att kontrollera geometrier i modellen mot regler och krav. I testexemplet användes hastighet relativt kurvor/geometrier.

Steg för steg:

- Skapa en geometri som lagras i modellen/Quadri alternativt importera via öppna formatet IFC-Alignment
- När beräknad linjegeometri lagras i Quadri så skapas automatiskt ett nätverk. Detta nätverk används sedan för att lägga på egenskaper och i exemplet användes hastighetsobjekt.
- Skapa ett regelset som ska användas. I exemplet användes hastighet relativt geometri enligt TRVs krav från VGU, Vägars och Gators Utformning
- Kör kontrollen genom att välja linjegeometrin och sedan skapat regelset
- Resultatet visar sig både grafisk i en plan vy samt i en process vy (se figur 44).

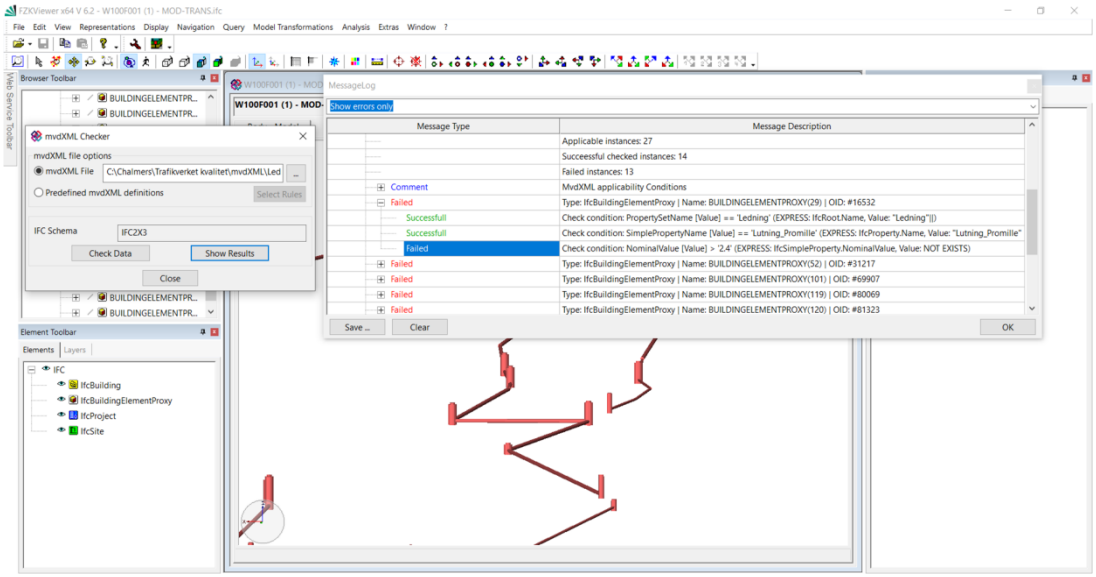


Figur 44: Kontroll av väglinje i Quadri

10.2.5. mvdXML och ”dagvattenlutningskontroll”

För att testa tillämpningen av mvdXML, se kap 3.3.2, gjordes ett test med hjälp av s.k. applicability, något som mvdXML stödjer. Det innebär att utöver att kontrollera att en parameter finns och har ett godkänt värde, stödjer mvdXML möjligheten att kunna styra vilka objekt som en kontroll skall utföras på, s.k. applicability. Med applicability kan en kontroll skapas utifrån en befintlig objektsparameter och baserat på utfallet av kontrollen så körs sedan ytterligare kontroller. Konceptet är detsamma som användes i 9.2.1 där ett värde på en existerande parameter används för att bestämma vilken kontroll som skall göras på en annan parameter, ex.vis att rördiameter bestämmer vilket krav som skall ställas på lutning.

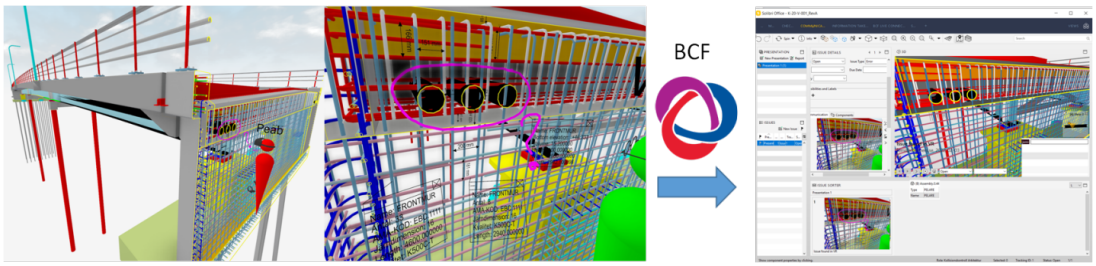
I syfte att undersöka hur väl det fungerar i praktiken så utfördes samma kontroll som i 9.2.1, fast utifrån en mvdXML i BIM-viewern FZKViewer och endast för en diametertyp. Det innebar att applicability sattes till att kontrollera huruvida parametern *diameter* befinner sig i intervallet 400 mm till 500 mm och när så är fallet så kontrolleras att parametern *lutning* är mer än 2.5. Resultatet av denna kontroll blev det samma som den som utfördes i Solibri, vilket visar att mvdXML är såpass kraftfullt att det även hanterar denna lite mer avancerade parameter- och attributkontroll.



Figur 45: Kontroll av lutning i förhållande till rördiameter med mvdXML i FZKViewer.

10.3. Hantering av synpunkter med VR och BCF

Test av möjligheterna att tillämpa VR vid granskning i ett anläggningsprojekt gjordes i Projekt D. Testet gjordes på distans där de fyra deltagarna befann sig på helt skilda platser med var sitt par VR-glasögon. Under granskningen uppstod oklarheter och frågor kring spännarmeringen och en BCF-skärmdump togs direkt i VR-miljön. Denna BCF kunde sedan öppnas i Solibri tillsammans med IFC-filerna, som ett exempel på ett smidigt arbetssätt för kvalitetskontroll och kommunikation inom projekteringsorganisationen. Eftersom BCF är koordinatsatt uppstår inte någon tveksamhet var i modellen synpunkten finns. Möjligheten att jobba på detta sätt via Trafikverkets och granskningsplattform med BCF får här anses vara väldigt goda.



Figur 46: Exempel på VR-möte i BIMXplorer där flera användare gemensamt kontrollerar modellen och skapar ärenden i form av BCF:er som skickas vidare till projekteringen.

DEL III

Diskussion & Rekommendationer

DEL III: Diskussion och rekommendation

11 Diskussion

11.1. Automatisering stödjer behov av förändring

Den här rapporten är en slutrapport för forskningsprojektet *Integrerat kvalitetssäkring och automatiserad kvalitetskontroll i komplexa projekt* som syftar till att undersöka kvalitetssäkring och kontroll för att kunna utveckla, testa och utvärdera en mer effektiv process och beslutsfattande kopplat till användande av digitala anläggningsmodeller. Det långsiktiga målet med projektet var att samla erfarenheter och underlag för framtagande av kravställning för kvalitetssäkring och automatisering.

För att få en tydlig och gemensam grund har vi i denna rapport definierat ett antal begrepp inom kvalitetsområdet som kvalitet, kvalitetsstyrning, kvalitetssäkring, kvalitetskontroll och inspektion. Kvalitetsledningssystemet ska kontinuerligt bidra till att stötta utveckling och förbättring av bland annat organisationens metoder och processer för kvalitetsarbetet.

Kvalitetssäkring ses här som ett systematiskt och proaktivt arbetssätt för mottagnings- och kvalitetskontroll av leveranser samt kontroll av leverantörens utförda kvalitetssäkring. Kvalitetskontroll definieras som kontroll av ämnesinnehåll och struktur i modeller, som är viktiga för att säkerställa en bra designlösning (utifrån perspektiv som byggbarhet, miljö- och hållbarhetskrav och underhållsmässighet) samt informationen/data (t ex geometri, digitala leveranskrav). Kvalitetskontroll sker i olika faser och utförs av olika aktörer och det finns idag inga standardiserade sätt att genomföra kvalitetskontroll av designen i modellen.

Ett antal standarder och öppna filformat har tagits upp i rapporten som är relevanta när man undersöker möjligheter med att automatisera kvalitetskontroller med hjälp av digital modeller.

Process, aktiviteter och roller

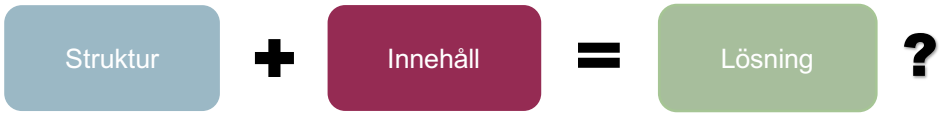
Från kartläggningen om kvalitetssäkring och kvalitetskontroll (del I) kom det fram att det behövs ett större fokus i termer av kunskap och resurser på de olika aktiviteter som ingår i kvalitetsarbetet för projekt. Exempel på dessa aktiviteter är olika sätt att följa upp och kontrollera kvalitet på produkter, olika aktiviteter för kvalitetssäkring och kontroll av kvalitet (se kap.4.2.4 och 4.3).

Inom Trafikverket finns tydliga roller inom kvalitetssäkring, men deras roll omfattar mer kvalitetssäkring av arbetssätt och processer i Trafikverkets ledningssystem, och inte kvalitetssäkring av produktleveranser. Kvalitetskontroller och kvalitetssäkring av produktens innehåll utförs av specialisterna inom projekten, men det finns ingen tydlig process för produktleveransen.

Det finns ett tydligt behov av att tydliggöra begrepp, den gemensamma arbetsprocessen, kravställning relaterat till kvalitet samt stöd i form av mallar, checklistor och mer resurser internt. Just nu används få automatiska kvalitetskontroller för digitala modeller i anläggningsbranschen. Detta kan bero på olika aspekter såsom teknikmognad, att krav behöver skrivas på ett annorlunda sätt (maskinläsbara krav), kunskapbrist, men också att digitala modeller inte används i alla projekt i Trafikverket.

Kontroll av bästa lösningen – integrerat arbetssätt

Från studien framkommer att det finns en stor potential med att automatisera kontroller för olika typer av krav, speciellt krav på struktur (modellens uppbyggnad) men också krav som är kopplat till innehåll (anläggningskrav). Automatisering av kontroller, kontroll av modell- och innehållskrav, kan frigöra tid och resurser och därmed öka utrymme för arbete med att ta fram den bästa lösningen och få en bättre kvalitet på slutprodukten. Men att automatisera kontroll av struktur- och innehållskrav betyder inte alltid att lösningen är kontrollerad och är den rätta eller att kvaliten på lösningen blir bättre (se figur 47). Krav på innovativa, kostnadseffektiva och hållbara lösningar kan vara mycket svårare att automatisera då de de kräver input från flera olika teknikområden och specialister. För att få fram den bästa lösningen behöver man arbeta tillsammans med ett integrerat arbetssätt som kan dra nytta av olika kunskaper, erfarenheter och insikter. Ett integrerat arbetssätt stödjer kommunikation och samverkan mellan olika parter i projekt och uppstår ur en kombination av ett fungerande informationsflöde/informationssystem, en anpassad organisation och en tydliggjord arbetsprocess, med stöd av digitala modeller (se Bosch-Sijtsema m fl., 2017).



Figur 47: Kontroll av struktur och innehåll relaterad till optimal lösning.

Från en tidigare studie (Bosch-Sijtsema, van Raalte, Carlstedt, 2020) kom det fram att en gemensam modell – modellen i centrum - där alla ämnesområdesmodeller ligger i samma samordningsmodell och projektering sker mot en gemensam modell (uppdaterad i realtid) ger möjlighet till, att i ett komplext sammanhang, få ett helhetsperspektiv. Där teknik- och miljöspecialisterna, från olika ämnesområden, samverkar och arbetar tillsammans för hitta bästa lösningen. En modell i centrum skulle underlätta kvalitetssäkring.

Ett större fokus på kvalitet i modeller kan ge den förväntande effektiviseringen utifrån två spår. Genom ökad samverkan med modellen i centrum för diskussioner och beslut om lösningsalternativ kan planeringsprocessen snabbas på. Automatisering av delar av processen utgör också en viktig effektiviseringspotential, där visuell granskning i vissa fall kan ersättas eller underlättas med en regelbaserad automatisk leveranskontroll och kvalitetssäkring.

Ökad tillit - kontroller ger förändring av attityder

Från rapporten Bosch-Sijtsema, van Raalte & Carlstedt (2020) visades det att i mindre komplexa projekt utförs kvaliteskontroller av modeller främst av leverantörer genom egenkontroll, men i mer större eller komplexa projekt används flera kvalitetskontroller som egenkontroll av leverantör men beställaren genomför fler kontroller av modellerna och har gemensamma samgranskningsmöten. I intervjuerna framkom det att delleveranser under projektets gång oftast är pdf-filar och inte digitala modeller. Det blir då svårare att hantera en successiv uppföljning av projektet om inte modellerna levereras under projekteringen.

Detta kan också vara kopplat till attityd- och arbetsrutinfrågor från både leverantörer och Trafikverket. Från enkäten i detta projekt (se figur 27) efterfrågade vi motparts inställning till kvalitetssäkring och hur den påverkar kvalitetskontroller och hur en förändrad inställning hos

motpart kunde ge en förbättrad slutprodukt. Här kom det fram att både leverantörer och Trafikverket tyckte att inställningen påverkar kvalitetssäkring och kontroll till en stor del och att en förbättrad inställning kunde ge ett förbättrat slutresultat. Detta kan relateras till rapporten från Karlsson (2021) som säger att "beställaren har en stor påverkansmöjlighet i hur kvalitetsstyrningen fungerar i branschen, varför synsättet och förhållningssättet från Trafikverket i relation till kvalitetsfrågor har en stor betydelse för kvalitetskulturen i hela branschen" (Karlsson, 2021).

Även vid kommunikation med berörd allmänhet och andra målgrupper är det viktigt vad som visas. Som exempel är det vid samråd relevant att våga använda och visa modellerna innan modellerna är färdiga. Visualiseringen blir här viktig som kvalitetskontroll i den bemärkelsen. Representationen under tidigare skeden kan med fördel blir mer skissartad (se Stahre et al, 2008; Stahre Wästberg et al., 2021).

Med hjälp av automatisering kan man också få bättre tillgång till digitala modeller under projektets gång, en bättre tillit till innehållet i modellerna och en bättre transperans för alla aktörer inom projektet. Automatiserade kontroller av digitala modellerna kan därmed på sikt öka tillit till modell och förändra attityder och bruk av digitala modellerna i anläggnings-projekt (se figur 48).

Figur 48: Automatiserade kontroller kan öka tillit till modell och förändra attityd och bruk.

En tydligare kvalitetssäkringsprocess, ett tydligt arbetssätt men även visualisering och automatisering kan ha en positiv påverkan på slutproduktens kvalitet. Det bidrar till att minska kostnader för manuella kontroller, öka kvalitet och skapar utrymme för att arbeta fram bra lösningar.

11.2. Modellbaserad kvalitetskontroll

I kapitel 9 och 10 har vi visat att det redan idag finns många goda exempel och best-practices när det gäller automatiska kvalitetskontroller inom husbyggnad. Även om husbyggnads-projekt och anläggningsprojekt i många fall är helt skilda typer av projekt och har helt olika typer av krav, kan exakt samma koncept för automatiska kvalitetskontroller användas också för anläggningsbranschen. Det finns stor potential med automatiserade kvalitetskontroller för anläggningsprojekt och detta projekt har visat att det fungerar och att man med fördel kan börja implementera sådana kontroller redan idag. Dessa kontroller sparar tid och möljiggör att kontroller verkligen blir utförda. Dessutom kan dessa automatiska kvalitetskontroller frigöra tid för att ta fram bättre tekniska lösningar och utformningar för projeket, istället för att som nu lägga mycket tid på manuell visuell granskning. Detta arbetssätt sparar inte bara tid utan visar på varför BIM, modellen och dess information, ska stå i centrum och vara i fokus under projektering och kvalitetssäkring av projekt.

mvdXML - format för standardiserade kontroller

Som även visas i testerna i kap. 10.2.1 och kap. 10.2.5 så fungerar formatet mvdXML bra för att defeniera informationkontroller kopplade till modellen och dess objekt (dvs. attribut-kontroller). I exemplet visades hur man kan defeniera och skapa automatiska leveranskrav

och kontroller för att sedan testa kraven i programvaror som kan läsa mvdXML filen. Dessa tester visar potentialen med en utveckling av en öppen standard för regelkontrollerade leveranskrav av digitala modeller. Det finns även potential för att kunna utveckla och stödja definierandet av mer avancerade kontroller så som automatiska kontroller för avstånds-kontroll mellan olika objekt, geometrier etc.

Stort behov av struktur och standarder

Några hinder som framkommit, med de testade filerna från fyra olika infra-projekt, var att ingen av filerna hade samma struktur när det gällde information. Det visar på att det saknas en tydlig standard och struktur, klassificering och kontroll av information. Information och struktur kan också vara projektspecifik vilket gör det svårt att göra regelbaserade kvalitets-kontroller. Det gör det även svårt att återanvända skapade regelset. För att kunna skapa effektivitet med hjälp av automatisering är det därför av största vikt att dessa strukturer är lika, gemensamma och beslutade.

IFC som möjliggörare för automatisering

Utifrån testen i de fyra anläggningsprojekten stod det klart att vid exporten till IFC skapades många objekt som IfcBuildingElementProxy (IFC 2x3). Det blev därför svårt att åtskilja de olika objekttyperna. Dessutom blev objekten uppdelade till mindre geometriskaobjekt dvs. till sub-objekt av originalobjektet. Klassificering och standard för struktur hade löst det första problemet, men inte det andra problemet då varje sub-objekt blir ett enskilt infra-objekt och blir svårt att åtskilja. Eftersom de tidigare versionerna av IFC inte utgjort en standard för anläggningprojekt är export och import av infra-objekt fortfarande är ett omoget område. Detta kommer att förändras då krav på IFC-Infra (IFC4.1 och högre) kravställs som standardformat i anläggningsprojekt.

Som berörts tidigare i rapporten har det visat sig fungera med IFC2x3 i ”ritningslösa” bro-projekt. Här fungerar det även för modellsamordning. Däremot saknas framförallt struktur för IFC-infraobjekt och IfcAlignment, vilket är en förutsättning för automatiska kontroller av krav.

Stöd för kontroll mot centrumlinjer – ett måste

Ett annat hinder är att BIM-viewers idagsläget inte stödjer och tillåter automatiska avstånds-kontroller mot alignment-kurvor (centrumlinje, exempelvis väglinje etc.). Rent tekniskt och matematiskt är det enklare att kontrollera kurva mot objekt, än objekt mot objekt, vilket gör att det antagligen är bristen på förståelse av behovet som gör att denna funktionalitet saknas i programvarorna idag. Troligtvis kommer detta att stödjas i framtiden då IFC4.1 och krav för dessa typer av kontroller blir kravställda och även implementerade i tillgängliga program-varor.

Framtidsvision – kravdatabas med API och bibliotek med regelset

I dag präglas samhällsbyggnadsbranschen av låg förändringstakt och långsam transform-ering. En bevisad väg för att åstadkomma förändring är genom införandet av ett mer digitalt arbetssätt och automatisering. Idag finns merparten av Trafikverkets krav publicerade i ett flertal dokument. Det pågår dock ett initiativ med att bygga upp en kravdatabas, Doors NG

(DNG). Ett naturligt steg i digitaliseringen hade varit att Trafikverkets krav som ligger i Doors NG också tillhandahålls via ett gränssnitt (APi) som systemleverantörer kan koppla sitt system emot.

Det finns vissa frågeställningar som behöver hanteras gällande versionshantering, rättigheter och säkerhet men detta skiljer sig inte nämnvärt från annan IT-utveckling.

Visionen hade då varit att Trafikverket sätter förutsättningarna för investeringsprojektet och definierar dessa via en uppsättning krav/regelset. Dessa krav använder sedan projektören för att få rätt information från Doors NG och utifrån det kunna genomföra automatiserade kontroller. Om kontrollerna passerar som "Godkända" kan både Trafikverket och projektören känna tillit till att modellen, och därmed projektet, uppfyller alla krav.

En API-koppling till Doors NG och ett bibliotek med definierade regelset är bra förutsättningar för att kunna genomföra tester och definiera en process för kvalitetskontroll, oberoende av systemleverantör. Ytterligare tillgänglighet skulle fås med en gemensam modell (modell i centrum), i molnet, vilket också skulle förenkla transparens och tillgänglighet till information.

För att förstärka kommunikationen och samarbetet mellan parter och projektmedlemmar kan BCF och visualisering med AR och VR med fördel användas i olika faser i ett projekt. Det används idag inte i så stor omfattning men kan bidra en ytterligare nivå i förståelsen och ger en tydligare helhetsbild av ett projekt.

12 Rekommendationer

Nedan följer ett antal rekommendationer uppdelade utifrån områden; process, organisation, produkt/teknik. Denna uppdelning återfinns i Trafikverkets strategi för BIM. De tre perspektiven möjliggör ett holistiskt angreppssätt vilket är viktigt för att lyckas i implementer-ingen av nya arbetssätt och bidrar således till ökad digitalisering.

Behovsbilden över de identifierade förutsättningarna för framtida implementering bedöms som viktiga för att också uppnå högre grad av automatisering och tydlig effektivisering vid kvalitetssäkring med avseende på tid och kostnad samt behovet av förändrade arbetssätt och inställningar.

Rekommendationerna riktar sig mot både beställare och leverantör där inget annat anges.

12.1. Process

- Tydliggör projektmål för kvalitet i Trafikverkets program- och projektplaner (se kap. 4.3.1).
- Förankra kvalitet- och kvalitetssäkringsbegrepp så att de blir en gemensam standard för anläggningsbranschen (se kapitel 4.3 och 5.1).
- Ta fram och implementera ett *systematiskt integrerat arbetssätt* (Bosch-Sijtsema m fl., 2017) för kvalitetssäkring av produkter och designlösningar i investeringsprojekt (Trafikverket).
- Trafikverket måste arbeta med succesiv uppföljning (se kap. 4.2.4). Tydliggör och inarbeta därför arbetssätt för successiv uppföljning i processerna för alla

investeringsprojekt där kontroll (manuella eller automatiska) av innehåll, struktur och lösning i leveranserna ingår.

- Utveckla systematisk kravhantering för bättre uppföljning av projekt och kontroll av Trafikverkets krav. Ta fram plan och process för att skapa förutsättning för bättre kvalitetskontroller.

12.2. Organisation

- Trafikverket måste vara tydliga i kontrakt och arbetssätt med att hög kvalitet (produktens innehåll, struktur och lösning) är viktigt, för att skapa en god kvalitetskultur i hela branschen
- Utred hur en organisation bör vara uppbyggd i förhållande till kvalitetssäkring och utifrån storlek på projekt
- Tydliggör roller och ansvar för kvalitetssäkring och kvalitetskontroller vid alla leveranser
- Se över hur organisationen metodiskt ska arbeta med kvalitetssäkring. Tydliggör skillnad mellan kvalitetssäkring av arbetssätt och kvalitetssäkring av produkter och skillnaden mellan verksamhets- och projektstyrning (se 11.1).
- Ta fram utbildningsmaterial inom kvalitetssäkring för att skapa en gemensam syn hos både beställare och leverantör.
- Ta fram en tydlig ”BIM-manual” så att det blir tydligt hur vi arbetar med och kravställer en digital anläggning där också hantering av genomförande- och funktionskrav framgår.

12.3. Produkt/teknik

Krav

- Utveckla metod för att identifiera vilka krav som ger bäst effekt, kan automatiseras och vilken kvalitetskontroll som bör användas för vilken typ av krav.
- Kravställ och kom överens om informations- och detaljeringsnivåer (LOX)
- Kom överens om metod för angivelse av status och ändringar i modeller
- Utred krav på kvalitetsinformation för digitala modeller lika datakvalitet för geodata
- Ta fram färgschema för olika filtreringar på egenskaper exempelvis status.
- Identifiera vilka krav som är kopplade mot centrumlinje för väg/järnväg
- Samla all kravställning i en kravdatabas
- Möjliggör kvalitetskontroll mot kravdatabas
- Möjliggör maskinläsbar kvalitetskontroll mot kravdatabas
- Skriv om krav så att de som är relevanta blir maskinläsbara
- Undersök möjligheter med öppet API till kravdatabas i Doors NG som exempelvis systemleverantörer kan koppla sitt system mot.

- Undersök möjligheter för maskinläsbara krav inom Doors exempelvis mvdXML

Öppna format IFC/BCF

- Kravställ IFC4x.1 (stöd för IfcAlignment) som är ett öppet format
- Vid införande av kravställning av IFC säkerställ att övergång/metodik sker successivt
- Skapa en Object Type Library (OTL) med anläggningsobjekt utifrån kravställda informations- och detaljeringsnivåer (se t ex. 7.1)
- Använd BCF för hantering av synpunkter/ändringar/ärenden i digitala modeller
- Ställ krav på att centrumlinjer för väg/järnväg redovisas som IfcAlignment

Attribut

- Implementera resultat från SMIL-projektet (Spross, 2020) och fortsätt utveckla men bestäm **exakt** vad attributen skall heta och ta fram en tydlig standard/struktur för hur attribut skall hanteras och namnges.
- Tillåt flexibilitet i projektet, lika Randselva-projektet genom att sätta 1-2 möjliga bonus parametrar som kan användas vid behov senare i projektet exempelvis ”Free param 01” (Øystein & Tiago, 2021).
- Använd mvdXML för attributkontroll
- Skapa en gemensam och publik webbplats motsvarande BIP-koder
- Publicera maskinläsbara krav som mvdXML
- Säkerställ långsiktig förvaltning av attribut

Kvalitetskontroll

- Testa och utvärdera krav mot kontrollmetoder i faktiska projekt.
- Säkerställa att rekommenderade programvaror stödjer kvalitetssäkringsprocessen och möjliggör rekommenderade kvalitetskontroller för gemensam kontroll (uppdatering i realtid) och egenkontroll (visuell, regelbaserad och automatisk).
- Kravställ att verktyg tillåter skapande av regelbaserade filter för exempelvis färgkodning på egenskaper och attribut för utökad sökbarhet och spårbarhet.
- Kravställ att programvaror för kvalitetskontroll ska stödja kontroll utifrån IFCAlignment (avstånd från centrumlinje).
- Ta fram användarstöd för alla programvaror som används och kravställ att leverantörer kompletterar med projektspecifika instruktioner, mallar och regelset.
- Komplettera eller utveckla ”ärendehanteringsverktyg” för hantering av synpunkter och ändringar i och med digitala modeller med BCF-formatet som stöd.
- För visuell kvalitetskontroll värdera att utveckla och använda VR och touchskärm-teknik för stora skärmar och bord.

– För visuell kvalitetskontroll värdera att utveckla och använda AR-teknik för inspektion och interaktion i landskapet.

Exempel på arbetsordning för IFC-implementering

- Bestäm namn på attribut: utgå från SMIL-projektet, bestäm namn på PropertySet. Är det många properties, dela upp i flera PropSet: TrvIdentitet, TrvMängder.
- Skapa motsvarande attributnamn på engelska. Mappa 1:1 med svenska för att tillåta internationella situationer.
- Implementera attributskraven som mvdXML
- Skapa öppen samlingssida för koder, exempelvis: *www.trvkoder.se*
- Kontrollera och skicka tillbaka felleveranser. Det är först när aktörer får reda på att de gjort fel som de kan åtgärda dem.
- Genomlys alla krav
- Skapa bibliotek med regelset

13 Fem fokusområden

För god kvalitet, högre grad av effektivitet och ökad tillit för digitala modeller, säkerställ:

1. automatiserad kontroll av kravuppfyllnad vid leveranser
2. ett modellorienterat integrerat arbetssätt för kontroll av lösning
3. implementerad process för kvalitetssäkring av produktleveranser
4. ett modellbaserat gränssnitt för hantering av synpunkter och ändringar
5. successiv uppföljning av projekt med tillgänglig realtidsuppdaterad digital modell

14 Referenser

Aronsson, O., Ibrahim, K. Gustavsson, E. & Bergman, O. (2021). Hantering av Digitala Modeller vid överlämning av Investeringsprojekt - HDMI. Rapport AP2 Digitala modeller i förvaltningen. Dokumentdatum 2021-03-19 Version: 1.0

Bergman, B. & Klefsjö, B. (2012). Quality. From customer needs to customer satisfaction. Studentlitteratur.

Bosch-Sijtsema, P.M., van Raalte, S., Carlstedt, J. (2020). Slutrapport: Modellorienterat integrerat arbetssätt – för bättre samverkan i komplexa projekt, Ärendenummer: 6883

Bosch-Sijtsema, P., Carlstedt, J., Hermundsgård, M. & Raalte, van R. (2017). Förstudie: BIM, integrerade arbetssätt och samverkan - för ökad kvalitet och innovation i stora komplexa projekt. Rapport Trafikverket, Dokumentdatum: 2017-09-01, Ärendenummer: 6383

Brink, M. (2020). Genomlysning av ledning och styrning av projektering. Rapport Trafikverket.

Bröchner, J, Josephson, P-E & Kadefors, A. (2002). Swedish construction culture, management and collaborative quality practice, Building Research and Information, 30(6), 392-400.

BuildingSmart (2019). IFC Rail Project, Context and Approach (October 2019). Report version 1.1. Building Smart Railway Room.

BCA. (2005). Code of practice on buildable design. Building and Construction Authority (BCA), Singapore.

Chen, L., & Luo, H. (2014). A BIM-based construction quality management model and its applications. Automation in Construction, 46, 64-73.

Dalmalm, T. & Vedin, P. (2018). Successiv uppföljning av beställda uppdrag i komplexa projekt. Version 1.0. Publikationsnummer: 2018:083

Ek, M. (2018). Visualisering av inspektionshandlingar i 3D. Trafikverket rapport.

Floros, G. S., Boyes, G., Owens, D., & Ellul, C. (2019). Developing IFC for infrastructure: a case study of three highway entities. ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences, 4.

Gremyr, I., Bergquist, B., Elg, M. (2020). Quality management: an introduction. Studentlitteratur.

Hallén, K. (2018). Trafikverkets implementering och utveckling av BIM - projekteringsprocessen utifrån ett socioteknisk perspektiv. KTH, School of Engineering. MSC thesis (Svenska).

Hashim, M., Salah, M., Den, M.N. (2013). Quality control, quality assurance, systems and application. Quality control basics and systems. Helwan University, Faculty of engineering.

Hevner, A. R., March, S. T., Park, J., & Ram, S. (2004). Design science in information systems research. MIS Quarterly, 28(1), 75–105.

Häussler, M., & Borrmann, A. (2020). Model-based quality assurance in railway infrastructure planning. Automation in Construction, 109, 102971.

ISO 9000 / SS-EN ISO 9000, Ledningssystem för kvalitet — Principer och terminologi

ISO 9001:2015 / SS-EN ISO 9001:2015: Ledningssystem för kvalitet – Krav/ Quality Management systems – requirements.

ISO 19650-1: Concepts and principles (2018). Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling -- Information management using building information modelling.

Karlsson, M. (2015). Beställarens kvalitetskontroll av beställda Uppdrag. Rapport Trafikverket.

Karlsson, M. (2021). Regeringsuppdrag. Kostnadsutveckling vid upphandling och genomförande av investeringsprojekt. 2021-03-26. Rapport Trafikverket, publikationsnummer 2021:090.

Khanzode, A., Fischer, M., Reed, D. & Ballard, G. (2006). A Guide to Applying the Principles of Virtual Design & Construction (VDC) to the Lean Project Delivery Process. CIFE Working Paper #WP093, Stanford University, USA.

Kohn Rådberg, K. & Fredriksson, P. (2020). Att leda innovation. Fem exempel från bygg och fastighet. CMB kortrapport om forskning 2020: nr. 2.

Kunz, J., & Fischer, M. (2012). Virtual Design and Construction: Themes, Case Studies and Implementation Suggestions. CIFE Working Paper #WP097, Stanford University, USA

Langford, D. A., El-Tigani, H., & Marosszeky, M. (2000). Does quality assurance deliver higher productivity? Construction Management and Economics, 18 (7), 775-782.

Mirnezami, B. (2015). Vad blir effekten av att satsa på kravhantering. Examensarbete MMK 2014:06 MCE 260

van Raalte, S. et al. (2019). Strategisk inriktning, BIM och Kvalitetssäkring inom NGJ. Process – Organisation – Produkt. Trafikverket.

Parsanezhad, P., Tarandi, V. och Lund, R. (2016). Formalized requirements management in the briefing and design phase, a pivotal review of literature. Journal of Information Technology in Construction (IT-con), vol. Vol 21, pp. 272-291.

Severinson, H. (2014). Byggsektorns egenkontroll: handbok med mallar och exempel Stockholm: Svensk Byggtjänst

SIS/TK323: SIS: Svenska Institut för Standarder. Handledning för datakvalitet, utgåva 2020-02-11.

Solihin, W. & Eastman, C. (2015). Classification of rules for automated BIM rule checking development. Automation in Construction. 53: 69–82.

Solihin, W., Eastman, C., & Lee, Y.C. (2015). Toward robust and quantifiable automated IFC quality validation, Advanced Engingeering Informatics 29: 739–756.

Spross, E. (2020). SMIL-Smart modelleverans i infrastrukturprojekt. Ökad samverkan för en digital och hållbar anläggning. Smart Built Environment, slutrapport

Stahre, B., van Raalte, S., Heldal, I. (2008). Sketching techniques in Virtual Reality: Evaluation of texturing styles in an urban planning model, in VSMM (Virtual Systems & Multimedia) Proceedings 2008

Stahre Wästberg, B., Thuvander, L.., van Raalte S., Billger, M. (2021). Miljövis - Effektivare representation av miljöinformation i infrastrukturmodeller, Trafikverket: FOI-rapport 2021

TDOK2014:0072 Trafikverkets interna hantering av Transportstyrelsens godkännandeprocess för järnväg.

TDOK 2018:0079 Kvalitetssäkring av objektorienterad informationsmodell - VO PR

TDOK 2016:0032: Kvalitetsstyrning i upphandlad verksamhet - Entreprenad och Projekteringstjänster, 2020-06-01

TDOK2014:0072 Trafikverkets interna hantering av Transportstyrelsens godkännandeprocess för järnväg.

TDOK 2018:0079 Kvalitetssäkring av objektorienterad informationsmodell - VO PR

TDOK 2016:0032: Kvalitetsstyrning i upphandlad verksamhet - Entreprenad och Projekteringstjänster, 2020-06-01

Törnkvist, M. (2020). Utredning i trafikverket - verksamhetens systemstödsbehov av en objektstypsdatabas. Rapport 2020-11-10.

Uludag, E. N. (2017). Implementation of systematic requirements engineering in infrastructure projects: Case study at the Swedish Transportation Administration. KTH INDEK 20017:83, Stockholm, 2017.

Wiktor, R. (2022). Randselva Bridge: Construction without drawings. BrIM, 01/2022, 8–18. https://e-brim.com/wp-content/uploads/e-BrIM-February-2022.pdf

Øystein U., Tiago V., (2021). Randselva Bridge: Planning and Building a 634m Long Bridge Solely Based on BIM Models, e-mosty, 03/2021, BrIM, Caissons for Bridge Construction; pp 7-18. https://e-brim.com/wp-content/uploads/e-BrIM-February-2022.pdf

Trafikverket, 405 33 Göteborg. Besöksadress: Vikingsgatan 9
Telefon: 0771-921 921, Texttelefon: 020-600 650

trafikverket.se