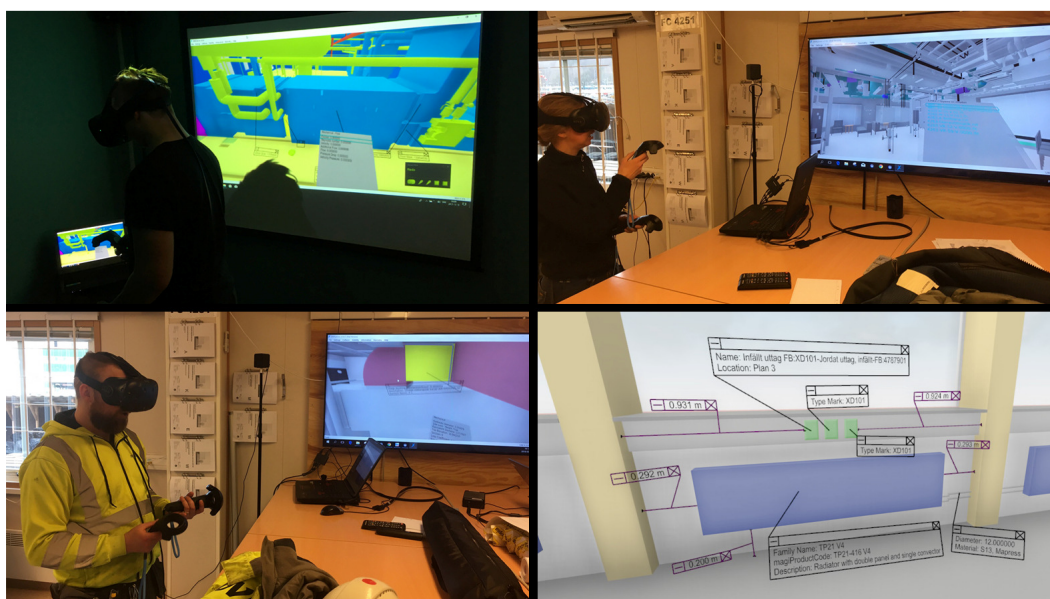


# ETAPP II: VIRTUELL PRODUKTIONSMODELL I SKALA 1:1 PÅ BYGGARBETSPLATSEN

*-för tillverkande av produktionsanpassade vyer*



**Mikael Johansson, Chalmers Tekniska Högskola**

**Mattias Roupé, Chalmers Tekniska Högskola**

**2018-11-05**

# FÖRORD

Denna rapport presenterar resultatet från ett genomfört FoU-projekt som har implementerat och utvärderat konceptet med att använda och tillverka så kallade *produktionsanpassade* vyer i ett VR-system på platskontoret.

Ett varmt tack riktas till de nätverk, organisationer och individer som bidragit till genomförandet av projektet som lett till denna rapport:

- *Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond (SBUF)* som har finansierat studien.
- *FoU-Väst* utskott inom *Sveriges Byggindustrier* för stöttning och diskussioner under projektet och engagemang i referensgruppen.
- *NCC, Peab, Skanska, GK Vent, och WSP*, för medverkan i projektet och engagemang i referensgruppen.
- *Byggnads*, för engagemang i referensgruppen och medverkan via dess medlemmar på arbetsplatserna.
- Examensarbetaren *Tobias Holms* som varit med under tester och utvärdering av VR-gränssnittet på byggarbetsplatserna.
- Alla företag och personer som har medverkat i intervjuer och tester av de framtagna prototyperna.

Göteborg, November, 2018

Mikael Johansson

# SAMMANFATTNING

Med ökat användande av ByggnadsInformationsModeller (BIM) blir det allt vanligare att försöka frångå det traditionella användandet av ritningar på byggarbetsplatsen. Ett sådant exempel är att låta BIM-kunnig personal på arbetsplatsen skapa så kallade *produktionsanpassade vyer* från BIM-modellen under samråd med yrkesarbetarna. Dessa vyer blir då ett resultat av den information som yrkesarbetarna anser sig behöva för att utföra det faktiska arbetet.

Denna rapport presenterar resultatet från ett genomfört FoU-projekt där syftet har varit att implementera och utvärdera konceptet med att använda och tillverka produktionsanpassade vyer i ett VR-system på platskontoret. Genom ett användarvänligt VR-gränssnitt kan då yrkesarbetare och arbetsledare *själva* skapa sina *egna* produktionsanpassade vyer genom att måttsätta och ta fram information direkt från BIM-modellen.

De tekniska lösningar och gränssnitt som togs fram för att skapa produktionsanpassade vyer från BIM-modellen direkt i VR har studerats och utvärderats på fem olika arbetsplatser/projekt. Som metod har intervjuer, enkätundersökning, samt observationer används.

Resultatet från studien visar att det finns stora möjligheter med ett VR-system på arbetsplatsen. Den största fördelen anses ligga i förståelse och helhetsbild av projektet, men det är också en tydlig övervikt till det bättre vid jämförelse med traditionella ritningar och andra BIM-verktyg. En återkommande beskrivning är att "*alla ser samma sak*" med VR, vilket av användarna spås underlätta kommunikation och förståelse mellan olika parter då det minskar risken för olika tolkningar utifrån exempelvis ritningsmaterial. Vidare är det också tydligt hur användarna, bara genom att "kliva in" och betrakta modellen i skala 1:1, nästan direkt kan bilda sig en uppfattning om eventuella problem, såsom krockar eller utrymmesproblem för ett visst arbetsmoment.

Det framtagna VR-gränssnittet ansågs väldigt användarvänligt och som helhet bra. Dock finns utvecklingspotential, framförallt när det gäller måttsättning. För att fullt ut tillfredsställa alla användarnas behov behöver måttsättningsfunktionen bli både kraftfullare (fler typer av mått) och mer lättanvänd (snap-funktioner).

När det gäller själva konceptet med produktionsanpassade vyer är det svårt att ge ett tydligt svar på hur väl detta faktiskt fungerade i praktiken. De vyer som skapades gjordes primärt i testsyfte och endast i ett fåtal fall kan de anses ha varit "skarpa". Till stor del berodde detta på att personerna som testade VR-systemet i de flesta fall gjorde detta förutsättningslöst, utan att ha ett specifikt problem med sig eller ursprunglig avsikt att tillverka några vyer. Dock visar studien tydligt att tekniken *är* mogen för att personal på byggarbetsplatsen skall kunna skapa sina egna vyer från BIM-modellen. Nästan direkt hanterar de navigering i modellen och efter en kort introduktion till de olika verktygen kan de ta ut information och mäta i modellen. Givet att det för nästan alla personer var första gången de kom i kontakt med VR, måste tekniken därför anses som tämligen användarvänlig och enkel att sprida på arbetsplatsen.

# INNEHÅLL

<b>1</b>	<b>INTRODUKTION</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>SYFTE</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>GENOMFÖRANDE</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>BAKGRUND</b>	<b>9</b>
4.1	BYGGNADSI <sup>N</sup> FORMATIONSMODELLER (BIM)	9
4.2	BIM-VIEWER	10
4.3	VR-GLASÖGON	11
<b>5</b>	<b>VR-SYSTEMET OCH DESS FUNKTIONER</b>	<b>13</b>
5.1	GRÄNSSNITT	13
5.2	3D-LABELS MED MÅTT OCH INFORMATION	14
5.3	MÅTTSÄTTNING	15
5.4	INFORMATION OCH PROPERTIES	16
5.5	REKOMMENDATIONSSYSTEM	16
5.6	FÄRGKODNING OCH SYNLIHET PER DISCIPLIN	17
5.7	SEKTIONERING	17
5.8	SKÄRMDUMPAR OCH PRODUKTIONSANPASSADE VYER	18
<b>6</b>	<b>PROJEKTEN</b>	<b>19</b>
<b>7</b>	<b>UTVÄRDERING OCH RESULTAT</b>	<b>21</b>
7.1	RESULTAT FRÅN ENKÄTEN	21
7.2	RESULTAT FRÅN OBSERVATIONER OCH ÖPPNA FRÅGOR	24
7.2.1	<i>Informationsinnehåll</i>	24
7.2.2	<i>Färgkodning</i>	25
7.2.3	<i>Gränssnitt och kontroller</i>	26
7.2.4	<i>Förståelse och kommunikation</i>	27
7.2.5	<i>Produktionsanpassade vyer</i>	29
<b>8</b>	<b>ALLMÄNNA UTMANINGAR OCH REKOMMENDATIOER</b>	<b>31</b>
8.1	FÄRGKODNING AV OBJEKT	31
8.2	RÖR OCH KANALER MED ISOLERING	33
8.3	INFORMATION KOPPLAD TILL RUMSOBJEKT	34
<b>9</b>	<b>SLUTSATSER</b>	<b>35</b>
<b>10</b>	<b>FRAMTIDA ARBETE</b>	<b>36</b>
	<b>REFERENSER</b>	<b>37</b>

# 1 INTRODUKTION

Kommunikation och informationsutbyte i byggbranschen har tidigare varit mer eller mindre baserade på ritningar och beskrivningar. Men i och med införandet av Byggnads Informations Modeller (BIM) ser vi nu hur digitala 3D modeller kan användas för att representera och visualisera ett byggprojekt. Dessa digitala modeller (BIM-modeller) kan innehålla inte bara information om byggnadens geometri utan kan också innehålla information om komponenters namn/produkt-ID, mängder (så som löpmeter, area, volym) samt information om material, ingående delars koppling till varandra etc. En BIM-modell kan ses som en stor databas där ritningar är *ett* sätt att presentera informationen den innehåller. Studier har dock visat att ritningar kan vara svårtolkade, vilket kan leda till feltolkningar och byggfel ute i produktionen (Sars & Tolmé, 2013). Andra studier har visat att man ofta gör avkall på detalj- och sektionsritningar då dessa kan vara kostsamma att ta fram och att det kan vara svårt att definiera och välja ut vilka som är de viktiga snitten för de olika yrkesgrupperna ute i byggproduktionen (Roupé et al. 2014).

Ovan nämnda problematik kan delvis lösas genom att använda BIM-modellen och 3D-visualisering. Dock används denna modell och teknik primärt i projekteringsstadiet och möjligheten att utnyttja denna information aktivt på byggarbetsplatsen är i dagsläget begränsad. Anledningen till detta är att de programvaror som hanterar BIM-modeller upplevs svåra att använda samtidigt som få verktyg är direkt anpassade för byggarbetsplatsen (Brantitsa & Norberg, 2017). I de projekt där BIM-modellen faktiskt används, tillämpas de främst av arbetsledningen och utföraren av det slutliga arbetet har oftast inte tillgång till BIM-modellen. Detta gör i sin tur att BIM-modellen och dess information inte når den faktiska utföraren av det slutliga arbetet. Man inser därigenom att mycket information förloras mellan projekteringen och byggproduktionen. Samtidigt har studier visat att det finns en vilja bland yrkesarbetare och tjänstemän att använda 3D-visualisering och BIM-modeller ute på byggarbetsplatsen (Böregård & Degerman, 2013; Roupé et al. 2014; Sars & Tolmé, 2013; Brantitsa & Norberg, 2018). Dock ställer denna typ av användare höga krav på att användargränssnittet är enkelt hos programvaran som hanterar BIM-modellen (Böregård & Degerman, 2013). Genom att tillgängliggöra BIM-modellen för utföraren av arbetet ute på byggarbetsplatsen, skulle denna person själv kunna välja och ta del av information som kan förbättra förståelse och därigenom underlättar införandet av arbetet.

Ett sätt att förenkla användandet och handhavandet av BIM-modeller ute på arbetsplatsen är att utnyttja de nya VR-glasögon som på senare tid nått konsumentmarknaden. Fördelen med dessa gentemot traditionell visualisering på bildskärm är att användaren har möjlighet att "kliva in" och uppleva modellen i skala 1:1. I en förstudie som genomfördes våren 2014 så testades en prototyp av en ny generation VR-glasögon ute på byggarbetsplatser hos Peab och NCC. Denna studie visade att yrkesarbetare (ventilation och sprinkler) saknade viktiga detalj- och sektionsritningar för sina installationer då dessa bedömts alltför kostsamma att producera och även svåra att bestämma i projekteringskedet. Genom att använda VR-glasögon för visualisering av BIM-modellen erhöll de bättre förståelse för arbetsmomenten och även hur dessa arbetsmoment påverkar andra yrkesgrupper (Roupé et al. 2014). Då

BIM-modellen är tagen direkt från projekteringsmaterialet kan den visuella informationen förmedlas utan att generera någon extra kostnad kopplad till projektet. Navigeringsmöjligheten och visualiseringen i skala 1:1 möjliggjordes av BIMXplorer - en BIM-viewer som sedan tidigare har varit under utveckling på Construction Management, Chalmers - tillsammans med ett par VR-glasögonen och en powerpointpresentationsenhet (Johansson, 2016; Johansson et al., 2014). Under studien fick försökspersonerna testa att navigera omkring i BIM-modellen för det aktuella projektet. I samband med testerna efterfrågade de intervjuade yrkesarbetarna möjligheten att även kunna få information kopplat till de olika komponenterna, såsom dimensioner, produkt ID/namn, och material. Övriga önskemål innefattade möjligheten att ta mått i modellen, färgkodning av objekt/komponenter baserat på yrkesgrupp, samt möjlighet att filtrera modellen genom att gömma/visa andra yrkesgruppers objekt/komponenter. Det övergripande gensvaret från testerna hos Peab och NCC var mycket positivt och man såg VR-glasögonen som ett framtida arbetsredskap ute på byggarbetsplatsen.

Utifrån möjligheterna som VR visade sig erbjuda så föddes en idé om skapa ett enkelt gränssnitt i VR som skulle möjliggöra mer interaktion med BIM-modellen och dess information. Denna idé utforskades i Etapp I: Virtuellt Produktionsmodell i skala 1:1 på byggarbetsplatsen (Roupe et. al. 2017) utifrån två perspektiv; dels genomfördes en vidare studie av användandet av VR på byggarbetsplatsen, och dels så togs ett koncept fram för ett VR-gränssnitt där man enkelt kan ta mått och extrahera information från BIM-modellen. Under detta projekt så visades att det finns stora möjligheter genom att använda VR-systemet ute på byggarbetsplatsen. Specifikt visade studien att VR-systemet bidrar med:

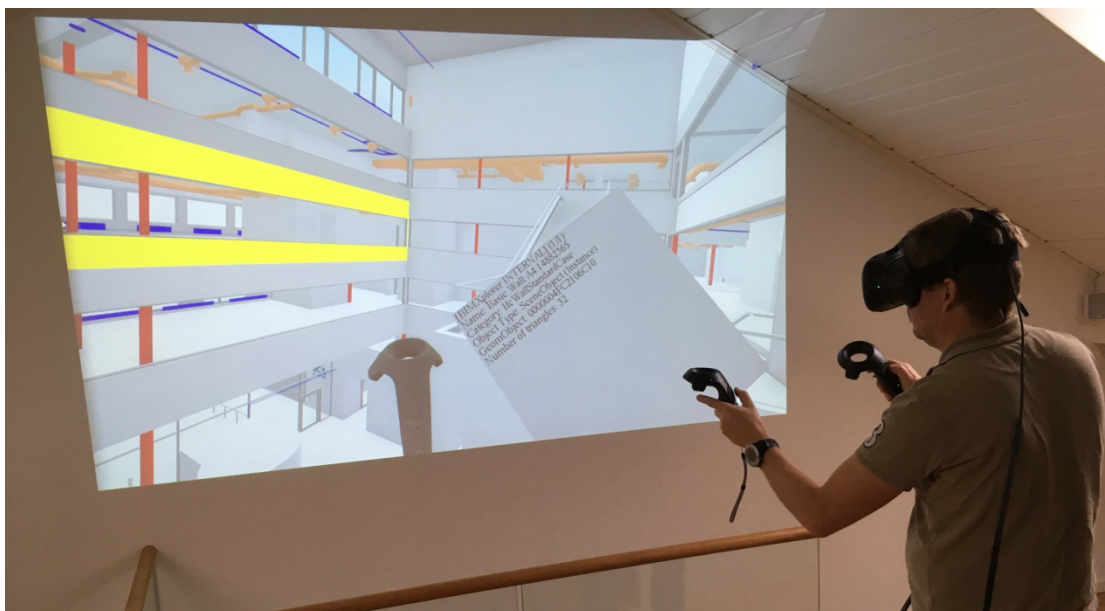
- Bättre förståelse och rumsuppfattning
- Stödjer bättre beslutsfattning och problemlösning i projekteringen
- Verktyg för att stödja arbetsberedning och planering

Med de nya konsumentversionerna av VR-systemen, HTC-Vive och Oculus Rift Touch fanns det dessutom stora möjligheter med att skapa ett enkelt användargränssnitt där man använder sina armar och sin kropp för att på ett naturligt sätt kunna röra sig i och interagera med BIM-modellen i skala 1:1. De nya konsumentversioner av VR-systemen gav större möjligheter att enkelt kunna välja/markera objekt och hämta ut BIM-information från dessa objekt, samt att ta olika typer av mått i modellen, se Figur 1.

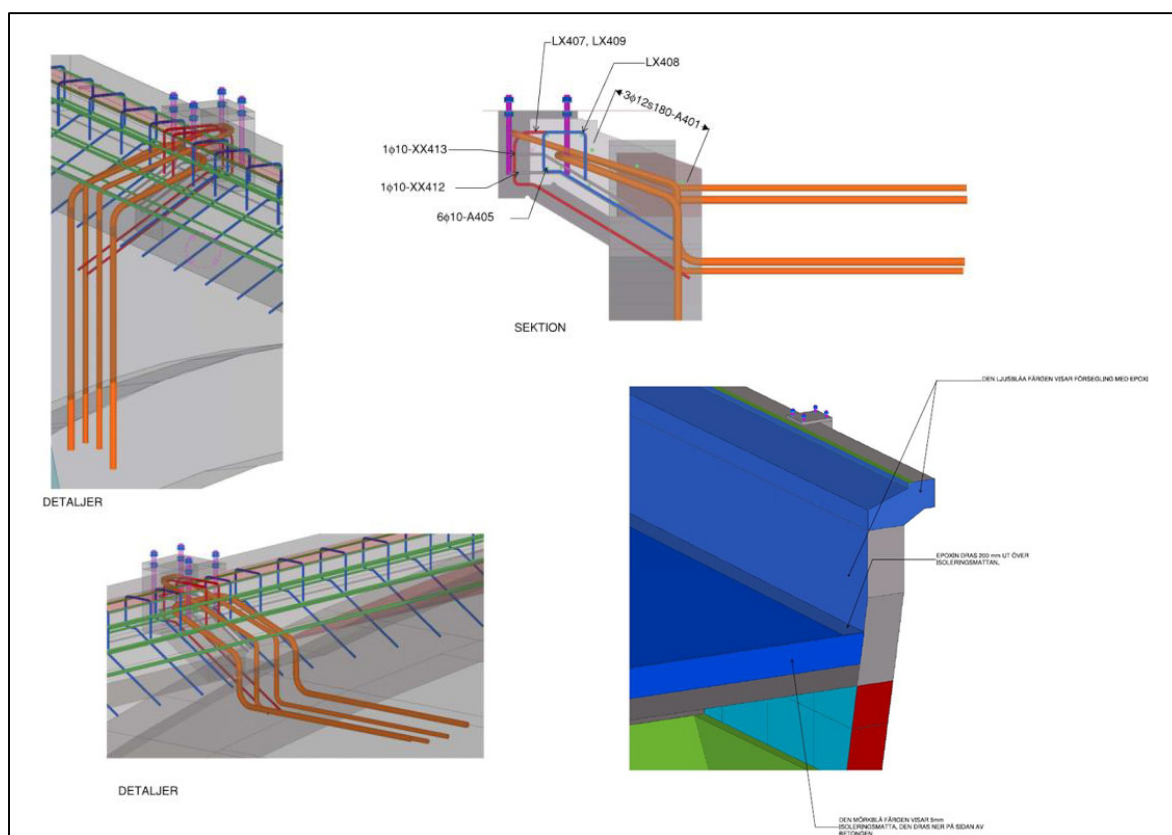
Det finns också andra exempel inom branschen på hur man har försökt frånga det traditionella användandet av ritningar på byggarbetsplatsen. Både i Slussen-projektet i Stockholm och i projektet med Rölforsbron i Arboga har man istället fokuserat på att använda BIM-modellen som primär informationskälla (Cousins, 2017; Göteborg och Olsson, 2016). I exemplet med Rölforsbron så "flyttade man ut" skapandet av "ritningar" till arbetsplatsen. I detta fall hade man en projektör/konstruktör på platskontoret som skapade så kallade *produktionsanpassade vyer* från BIM-modellen under samråd med yrkesarbetarna. Dessa produktionsanpassade vyer blev då ett resultat av den information som yrkesarbetarna ansåg sig behöva för att utföra det faktiska arbetet, se Figur 2.



Liknande exempel finns också att hämta från armeringsarbetet vid Oslo Airport Terminal 2, där man istället för traditionella ritningar tog ut anpassade vyer och sektioner direkt från BIM-modellen (Merschbrock & Nordahl-Rolfsen, 2016). Dock var det även här så att det krävdes BIM-utbildad personal för att göra det möjligt.



Figur 1. Med HTC Vive eller Oculus Rift kan användaren interagera med VR-världen (BIM modellen) genom att använda kroppsrörelser och de medföljande handkontrollerna.



Figur 2. Produktionsanpassade vyer från Røforsbron i Arboga (Göteborg och Olsson, 2016)

## 2 SYFTE

Syftet med projektet har varit att implementera och utvärdera konceptet med att använda och tillverka så kallade *produktionsanpassade vyer* i ett VR-system på platskontoret. Tanken är att yrkesarbetare och arbetsledning *själva* skapar sina *egna* ”ritningar”/produktionsanpassade vyer genom att måttsätta och ta fram information från BIM-modellen i VR-systemet. Slutprodukten blir då en eller flera bilder som exporteras från VR-systemet. Dessa bilder (eller vyer) skulle sedan kunna användas som ett komplement till – eller helt ersätta – ritningar under arbetsberedning, planering och utförande av arbetet.

Möjligheten att – genom VR – skapa ett enkelt och användarvänligt gränssnitt till BIM-modellen skulle kunna bidra till att den tillämpas och används mer i produktionen, men också tillföra bättre informationsspridning, underlättad kommunikation, förståelse och minska missförstånd och feltolkningar av ritningar.

Detta kan leda till:

- enklare tillgång till information relaterade till specifika arbetsmomenten
- bättre förståelse för de fysiska installationerna
- bättre förståelsen för arbetsmomenten och hur dessa påverkar andra yrkesgrupper

Vilket i sin tur möjliggör:

- bättre arbetsberedning
- effektivare planering och utförande av arbetsmoment
- mindre krockar mellan arbetsmoment och yrkesgrupper
- mindre byggfel och feltolkningar av ritningar och dokument
- säkrare byggarbetsplatser

Ovan nämnda punkter bidrar i slutändan till ökad produktivitet och effektivitet i byggproduktionen.



### 3 GENOMFÖRANDE

Projektet genomfördes i samarbete mellan NCC, Peab, Skanska och Chalmers, avdelningen Construction Management, samt med stöd och stöttning från FoU-Väst. Vidare har även WSP och GK Vent varit inblandade, dels som representanter i referensgruppen och dels i deras roller som UE/konsulter i två utav projekten där konceptet utvärderades.

Projektet inleddes med att ta fram ett gränssnitt i VR för att enkelt kunna ta ut och ”placera” mått och information, definiera sektioner, samt skapa bilder/vyer enligt de principer som användes i Rölforsbron-projektet. Som plattform för detta användes BIMXplor.

De tekniska lösningar och gränssnitt som togs fram för att skapa produktionsanpassade vyer från BIM-modellen direkt i VR har studerats och utvärderats på fem olika arbetsplatser/projekt. Som metod har intervjuer, enkätundersökning, samt observationer används.

Primärt fokus har varit att studera användargränssnittet och dess möjlighet att stödja arbetsledning och yrkesarbetare avseende:

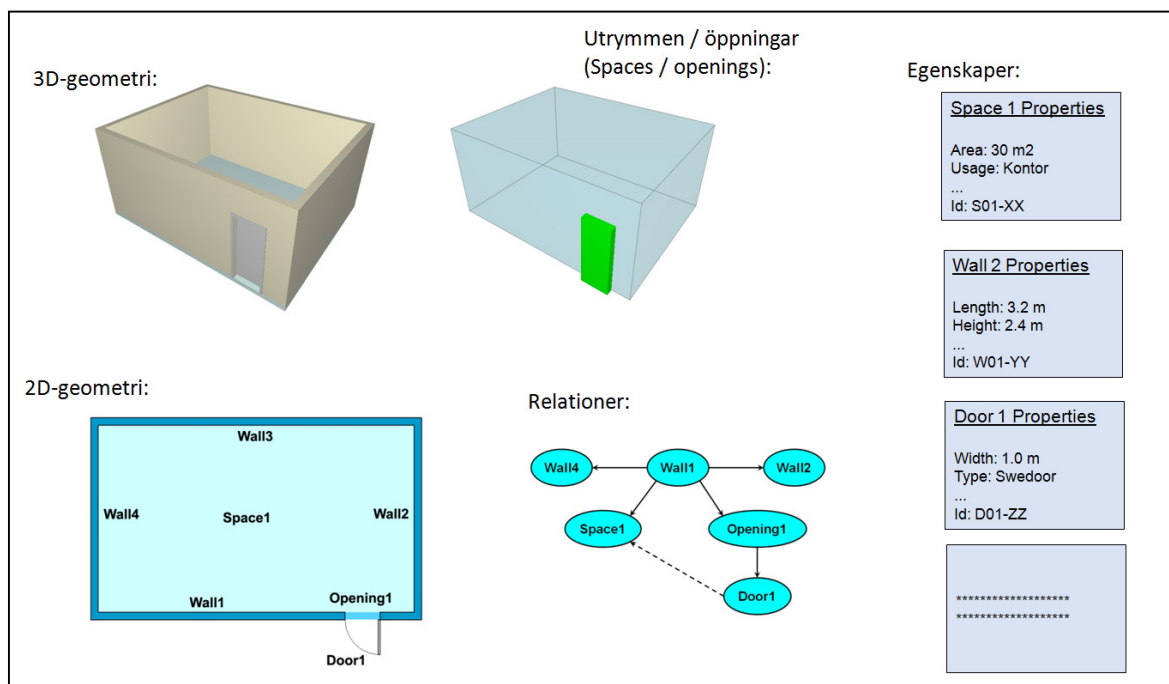
- Åtkomst av information
- Förståelse för detaljer, arbetsmoment, samt projektet som helhet
- Kommunikation inom och mellan yrkesgrupper
- Skapande av produktionsanpassade vyer

## 4 BAKGRUND

Här ges en introduktion till viktiga begrepp och tekniker för projektet. Initialt beskrivs BIM med fokus på struktur och informationsinnehåll, följt av en beskrivning av BIM-viewers och VR-glasögon.

### 4.1 ByggnadsInformationsModeller (BIM)

Utvecklingen i branschen går allt mer från 2D ritningar till 3D modeller. Detta öppnar upp för ett helt nytt fält med parametriska 3D modeller som kan innehålla mängder av information kopplat till ett objekt utöver ren geometrisk data. Begreppet för denna typ av informationsberikade modeller är ofta ByggnadsInformationsModeller (BIM). BIM-modeller innehåller inte bara information om byggnadens geometri utan kan också innehålla information om vikt, längd för byggnadsdelar, information om material, ingående delars koppling till varandra, byggnadens utrymmen, med mera (se Figur 3). Utöver skapande av ritningar och 3D-visualisering kan BIM-modellen därför också användas till andra typer av applikationer, såsom mängdberäkningar och energiberäkningar. För att sammanfatta det hela har bland annat det amerikanska institutet National Institute of Building Sciences gett ut en standard där de definierar BIM som *en digital representation av fysiska och funktionella attribut hos en byggnad*.

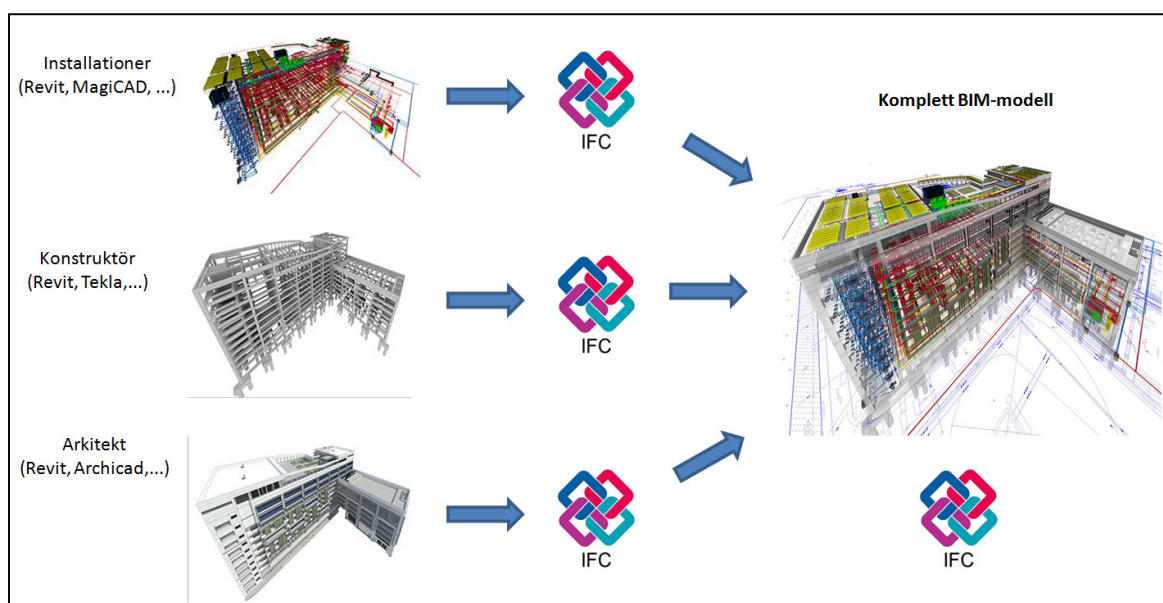


Figur 3. Illustration över hur en BIM-modell innehåller geometrier för komponenter och utrymmen, relationer, samt egenskaper för komponenter och utrymmen.

Som ses i Figur 3 så innehåller en BIM-modell 2D- och 3D-geometrier, både för komponenter och utrymmen, tillsammans med information om hur dessa är relaterade till varandra. Alltså, dörren "känner av" att den sitter i en viss vägg, och väggarna vet vilket utrymme de omsluter. Utöver detta kan varje komponent eller utrymme ha ett obegränsat

antal egenskaper kopplat till sig. Själva egenskaperna (*Properties*) brukar sedan vara ”grupperade” i olika *PropertySets*, detta i syfte att göra informationen mer överskådlig. Exempelvis brukar alla egenskaper som rör en komponents dimensioner finnas i ett PropertySet, medans materialegenskaper finns i ett annat, etc.

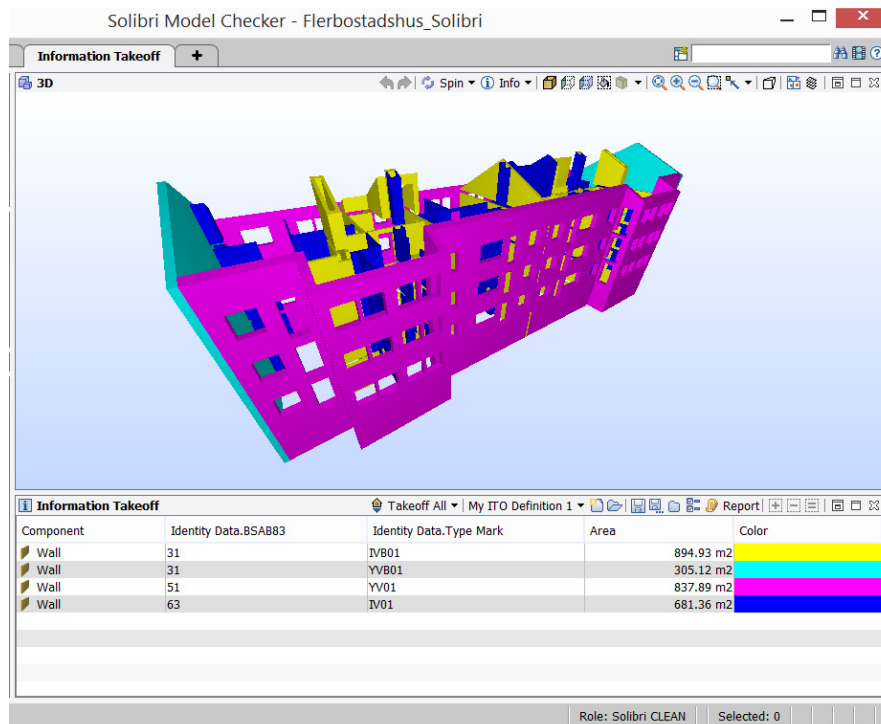
I ett typiskt BIM-projekt brukar varje disciplin (A, K, V, etc.) skapa sin egen modell. Tillsammans bildar dessa delmodeller sedan den kompletta BIM-modellen av projektet (Figur 4). En vanligt förekommande applikation under själva projekteringen är att kontinuerligt sammanfoga alla delmodeller och göra kollisionskontroller mellan dem. Då olika discipliner kan tänkas jobba i olika BIM-system under projekteringen brukar man använda sig av IFC som samordningsformat. IFC-filformatet är en öppen standard för BIM-modeller som möjliggör utbyte av information mellan olika BIM-system.



Figur 4. De olika disciplinernas ”delmodeller” exporteras till IFC och kombineras för att skapa en komplett BIM-modell.

## 4.2 BIM-viewer

En BIM-viewer är en applikation som kan visualisera BIM-modeller i realtid, d.v.s. att användaren kan navigera omkring i 3D-modellen. Ofta erbjuder en sådan programvara möjlighet att ta mått och få ut information om ingående komponenter, men det kan även finnas möjlighet för mer avancerade funktioner, såsom mängdavtagning, 4D-simulering, kollisionskontroll, färgkodning, kontroll för handikapanpassning, etc. Exempel på vanligt förekommande BIM-viewers i byggbranschen idag är *Solibri*, *Dalux*, *Navisworks*, och *BIMsight*, vilka alla har stöd för IFC. Vissa utav dessa programvaror kan användas på flera olika klienter, såsom dator, ipad, och smartphones, medans andra enbart kan användas på dator men då har mer avancerade funktioner, såsom kollisionskontroll mellan komponenter eller möjlighet att göra detaljerad mängdavtagning (Figur 5, nästa sida).



Figur 5. Exempel på färgkodning och mängdavgivning i Solibri: total mängd väggarea för de olika väggtyperna i en BIM-modell.

Ovan nämnda BIM-viewers stödjer dock inte möjligheten att titta på BIM-modellen i VR. För att åstadkomma detta är det idag ett vanligt förfarande att utnyttja en så kallad "game engine", såsom *Unity* eller *Unreal Engine*. Dessa är dock inte primärt anpassade för byggbranschen, vilket gör att det alltid krävs en del manuellt arbete för att "få in" BIM-modellen i VR. Det finns också ett antal programvaror direkt anpassade för bygg och arkitektur, såsom *IrisVR*, *Revizto*, *InsiteVR*, och *Enscape*. Av dessa är det få som fullt ut stödjer IFC-formatet, vilket gör att man får ta "omvägar" via andra programvaror för att få in BIM-modellen i VR. En annan problematik är att VR-tekniken ställer extremt höga krav på bilduppdateringsfrekvens, s.k. frame rate, för att fungera tillfredsställande. Detta försvåras ytterligare av att kompletta BIM-modeller tenderar att vara extremt stora och detaljerade. För stora och komplexa BIM-modeller behöver man då antingen optimera modellen genom att ta bort eller förenkla vissa geometrier, eller begränsa VR-visualisering till en viss del av projektet. Just denna aspekt är det dock något som det har forskats mycket kring på Construction Management, Chalmers, vilket sedan har resulterat i programvaran BIMXplorer (Johansson, 2016). BIMXplorer kan importera IFC-filer direkt och är primärt anpassad för att hantera stora och komplexa BIM-modeller i VR.

### 4.3 VR-glasögon

VR-glasögon möjliggör stereoseende och de senaste åren har en ny generation av system nått konsumentmarknaden. Jämfört med tidigare system är de väldigt prisvärda samtidigt som de erbjuder större synfält och högre upplösning. De levereras också med ett trackersystem som används för att registrera användarens huvudrörelser och rörelser av de medföljande två handkontroller/joystickarna. Detta gör att användaren nu kan interagera med VR världen genom att använda dessa kontroller och kroppsrörelser. Det är framförallt

två system – Oculus Rift och HTC Vive – som dominerar marknaden, och under detta projekt så har HTC Vive används (Figur 6).



Figur 6. VR-systemets olika komponenter. Bild från ett utav projekten i studien.

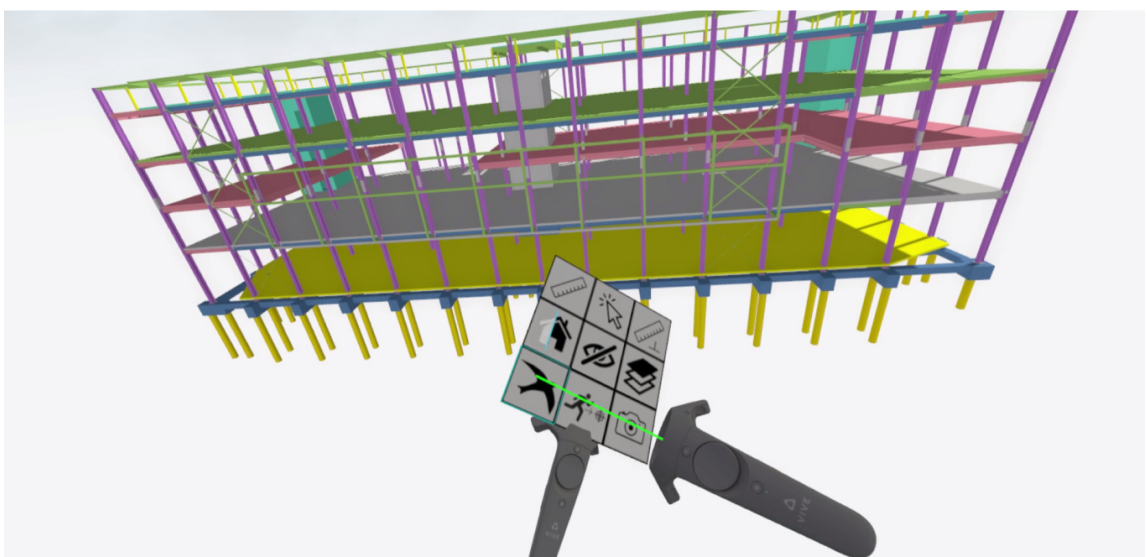


## 5 VR-SYSTEMET OCH DESS FUNKTIONER

Som plattform för att implementera och utvärdera konceptet med produktionsanpassade vyer i VR valdes BIMXplorer (BIMXplorer, 2018) – en BIM-viewer som är specifikt utvecklad för att importera och visualisera stora och komplexa BIM-modeller i VR. BIMXplorer fungerar som ett plugin till Revit eller som en fristående applikation som direkt kan importera IFC-filer. Då IFC nästan uteslutande används som samordningsformat i byggprojekt idag innebär möjligheten att direkt kunna importera dessa filer att ingen annan handpåläggning behövs mer än att välja vilka modeller man vill titta på i VR. Innan projektet hade dessutom BIMXplorer uppdaterats med en helt ny grafikmotor vilket gjorde att den nu kunde hantera väldigt stora BIM-modeller. Ett alternativ för projektet hade varit att använda sig av en spelmotor såsom Unity eller Unreal, men då dessa inte har direkt stöd för IFC-filer skulle det innebära merarbete i form av konvertering och förberedelse av modellerna innan varje projekt skulle kunna visualiseras i VR. Då BIM-modeller tenderar att vara extremt stora och komplexa är det också högst tveksamt om alla projekten överhuvudtaget hade gått att hantera i en spelmotor – även efter tidskrävande optimeringsarbete.

### 5.1 Gränssnitt

Användargränssnittet i BIMXplorer innefattar en verktygspalett kopplad till den ena handkontrollen (på liknande sätt som när en konstnär håller en färgpalett). Med den andra kontrollen kan användaren sedan peka på det verktyg som den vill använda för stunden med en laserstråle (se Figur 7). När det gäller navigering i VR-modellen finns möjlighet att flyga/gå eller att teleportera sig till olika platser genom att ”peka” i modellen vart man vill hamna. Förutom att ta fram konceptet med ”3D-labels” (se Avsnitt 5.2), har projektet framförallt implementerat sektioneringsverktyg, verktyg för att visa/gömma objektet eller olika discipliner, funktioner för färgkodning, samt möjlighet att ta ”skärmdumpar” från modellen.

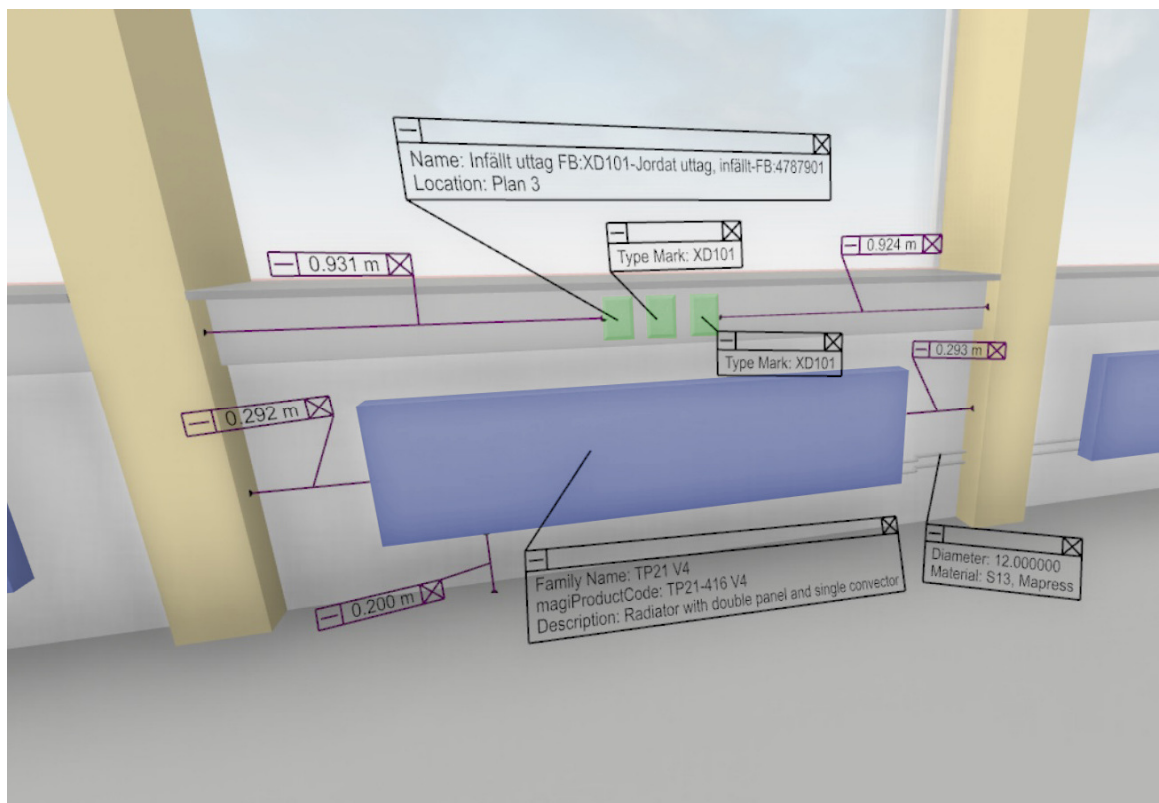


Figur 7. En verktygspalett är kopplad till den ena kontrollen i VR. Med den andra kontrollen väljer man olika verktyg och styr dess funktionalitet.



## 5.2 3D-labels med mått och information

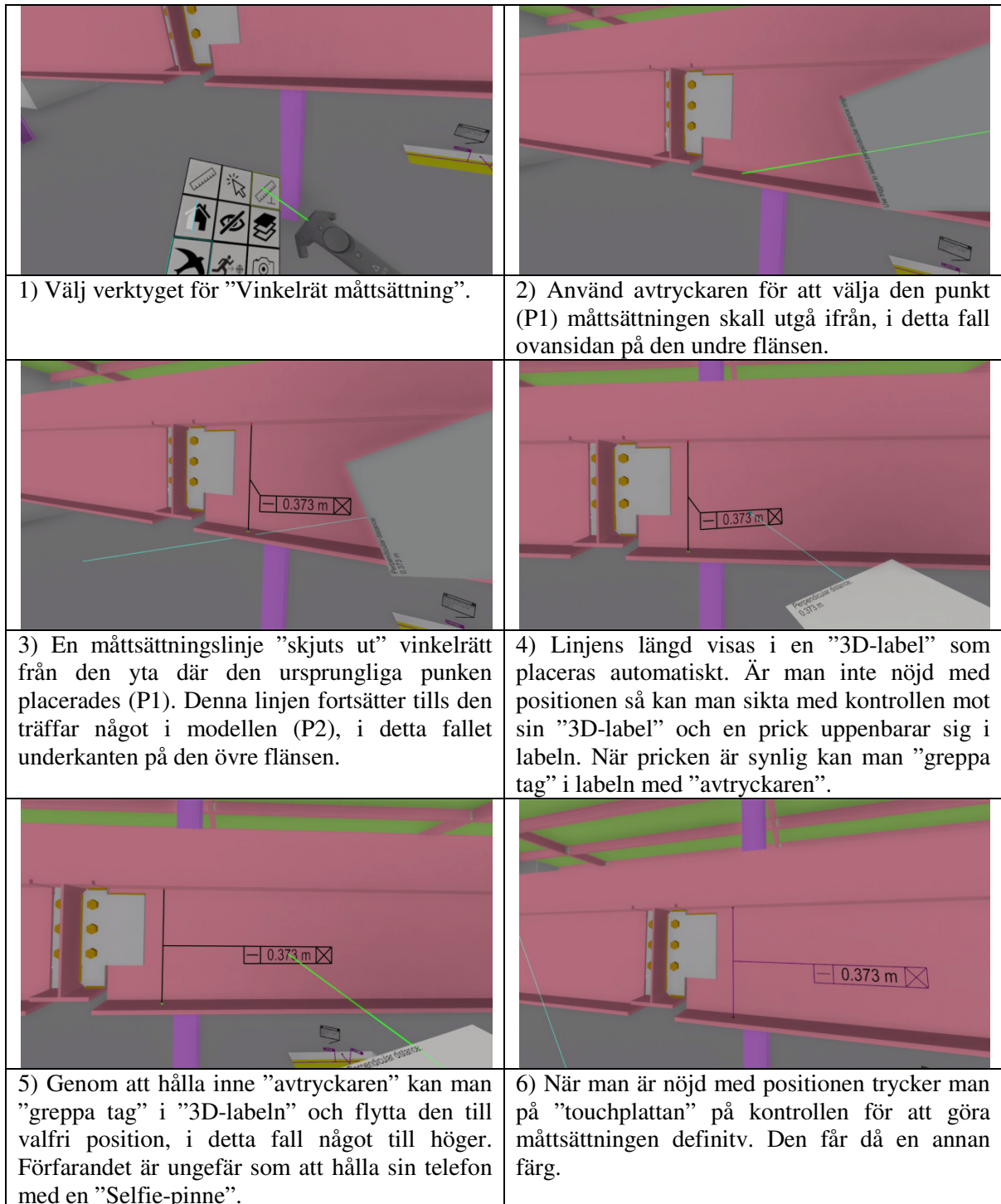
När det gäller användargränssnitt så var den största utmaningen för projektet att ta fram ett lämpligt sådant för att kunna placera ut mått och information direkt i modellen – för att i slutändan åstakomma de produktionsanpassad vyerna. Initialt testades ett antal alternativ för att automatiskt placera etiketter eller ”labels” med information vid måttsättning eller markering av objekt. Problemet var dock att då detta skall göras i 3D är det svårt att se till att dessa ”labels” hamnade på en bra position och inte skymdes av andra objekt i modellen. Lösningen blev då ”3D-labels” som användaren enkelt skulle kunna ändra placering på. I syfte att göra gränssnittet så konsekvent som möjligt så fungerar dessa ”3D-labels” på samma sätt både för måttsättning och information. Figur 8 visar ett exempel på en produktionsanpassad vy skapad direkt i VR med detta system. Genom att sikta på någon label med handkontrollen kan användaren ”greppa tag” i den och placera den på valfritt ställe, och genom att sikta och klicka på ”krysset” eller ”minustecknet” så tar man bort eller minimerar den. I resterande del av detta avsnitt så presenteras de olika funktionerna för måttsättning och informationsextrahering mer ingående.



Figur 8. Produktionsanpassad vy med mått och information skapad direkt i VR.

### 5.3 Måttsättning

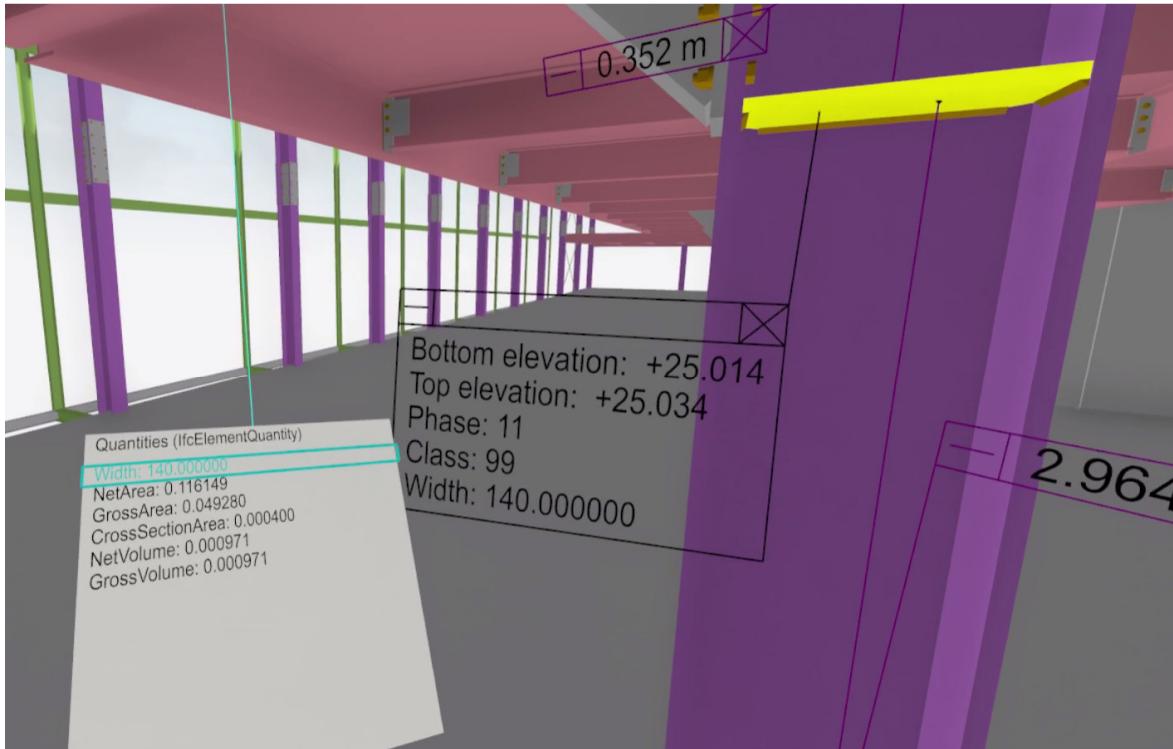
Två olika typer av måttsättning är möjlig att göra – vinkelräta mått från en yta, eller mått mellan två godtyckliga punkter. Figur 9 redovisar en bildserie hur vinkelrät måttsättning går till. Principen är densamma för mått mellan två punkter, med skillnaden att två punkter i modellen då måste väljas.



Figur 9. Bildserie som visar hur man använder vinkelrät måttsättning och 3D-labels

## 5.4 Information och properties

Genom att markera objekt i modellen så får man upp en lista med de olika PropertySets/Properties som finns tillgängliga för objektet. Man kan sedan "bläddra" mellan olika PropertySets och välja vilka properties man vill få placerade på sin 3D-label (se Figur 10). Denna 3D-label kan sedan förflyttas på samma sätt som med måttsättningen.



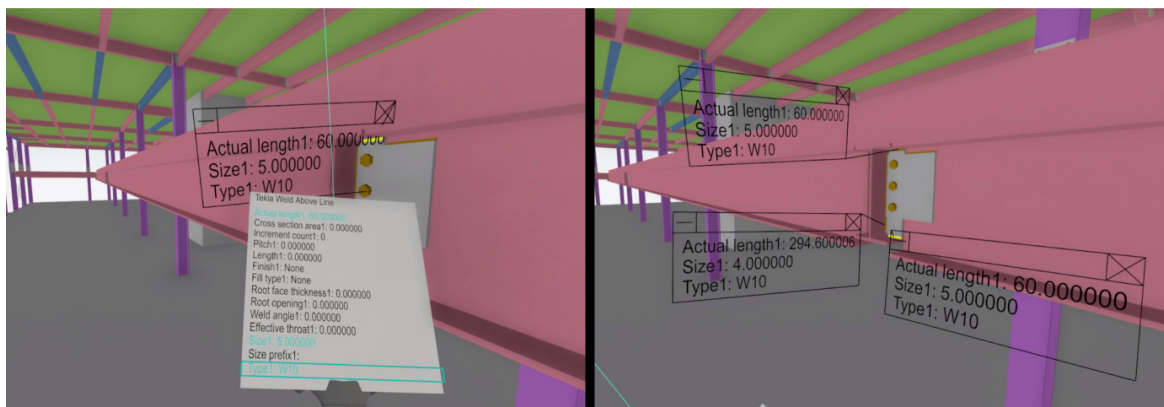
Figur 10. En fläns är markerad i modellen och genom att använda tryckplattan på kontrollen så kan man "bläddra" mellan olika PropertySets och välja vilka Properties som skall hamna på 3D-labeln.

## 5.5 Rekommendationssystem

Då objekt kan innehålla många properties kan det ibland vara lite omständigt att behöva leta reda på de som man för stunden är intresserade av. Initialt hade projektet som mål att ta reda på vilka properties olika yrkesgrupper var intresserade av, och sedan "filtrera bort" de properties de inte var intresserade av. Som beskrivs senare i rapporten är det dock svårt att med säkerhet veta vilka properties som aldrig kommer att behövas. Istället för detta så implementerades därför ett enkelt rekommendationssystem enligt följande princip:

*De properties som man tidigare har valt för ett liknande objekt kommer upp automatiskt när du väljer nästa objekt.*

Användaren behöver därför bara söka igenom olika properties en gång, vilket gör extrahering av information mycket mer effektiv. Principen illustreras i Figur 11.



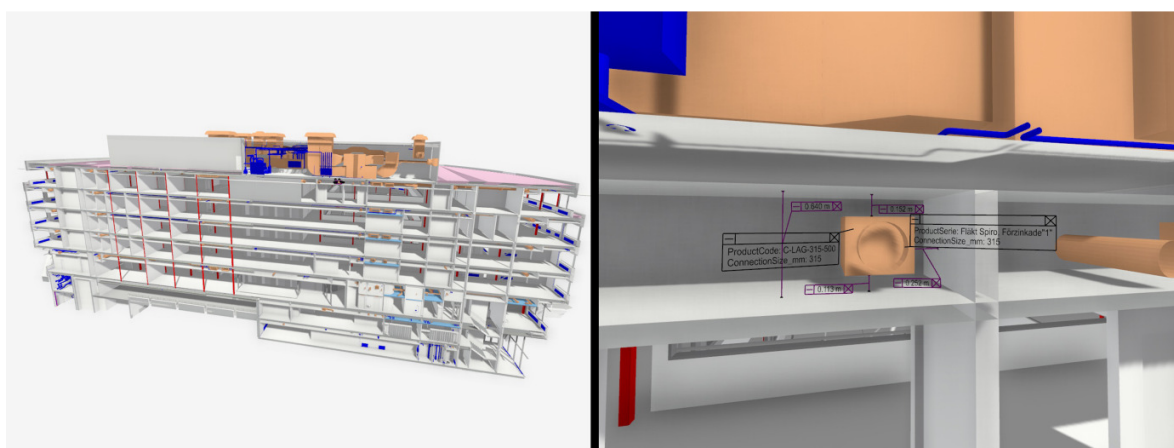
Figur 11. Rekommendationssystemet – Första gången ett svetsobjekt markeras så väljs vilka properties som skall visas (vänster). När nästa svetsobjekt markeras, kommer samma properties upp som ett förslag automatiskt (höger).

## 5.6 Färgkodning och synlighet per disciplin

I ett typiskt BIM-projekt tillhandahålls modellerna för varje disciplin separat. För att särskilja och tydliggöra de olika disciplinerna finns möjlighet att tända/släcka, samt färgkoda modellen per disciplin. Under senare delen av projektet utvärderades även mer flexibel färgkodning baserad på objektens properties (se Avsnitt 8.1).

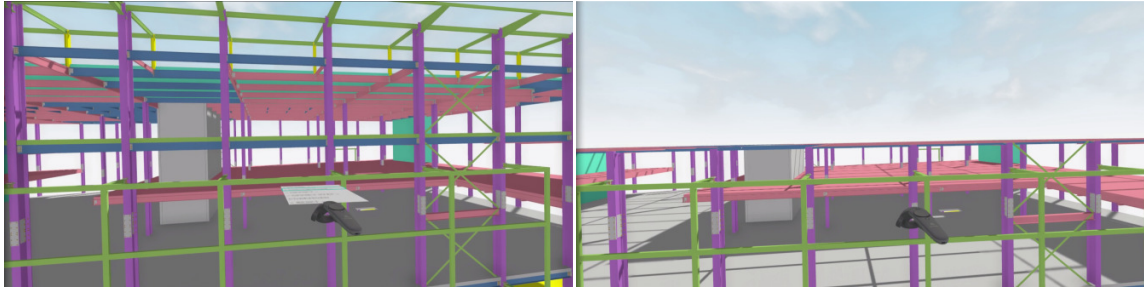
## 5.7 Sektionering

Genom att kunna definiera 3D-sektioner i modellen så blir det lättare att kunna ta ut mått och information i exempelvis installationszoner (Figur 12). Två typer av sektioner kan skapas; antingen så markerar man en yta i modellen som då definierar sektionsplan (liknande så som man gör i Solibri), eller så kan man använda handkontrollen för att definiera sektionsplanet (se Figur 13).



Figur 12. Sektionering för enklare överblick (vänster), samt måttsättning och informationsextrahering i installationszoner (höger).

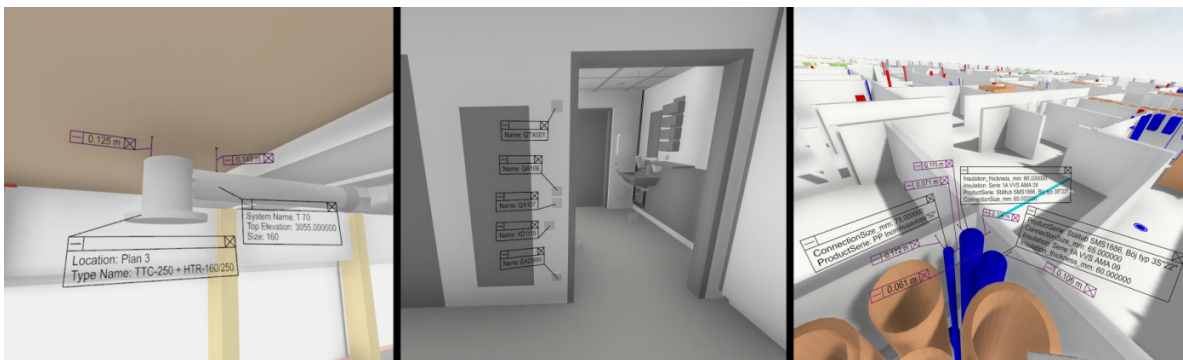




Figur 13. Genom att använda handkontrollen som referens kan man välja var man vill ha sitt sektionsplan.

## 5.8 Skärmdumpar och produktionsanpassade vyer

Användaren kan enkelt ta ”skärmdumpar” på det som visas i VR, antingen på kompletta produktionsanpassade vyer som har skapats, eller om det bara gäller bilder på olika detaljer i modellen. Dessa bilder sparas på datorn och kan sedan föras över till en iPad eller telefon för att användas ute på arbetsplatsen. Genom tilläggsprogrammet VRCapture (VRCapture, 2018) finns även möjlighet att spela in film på det man gör i VR, vilket exempelvis kan användas för att skapa instruktionsfilmer för olika arbetsmoment.

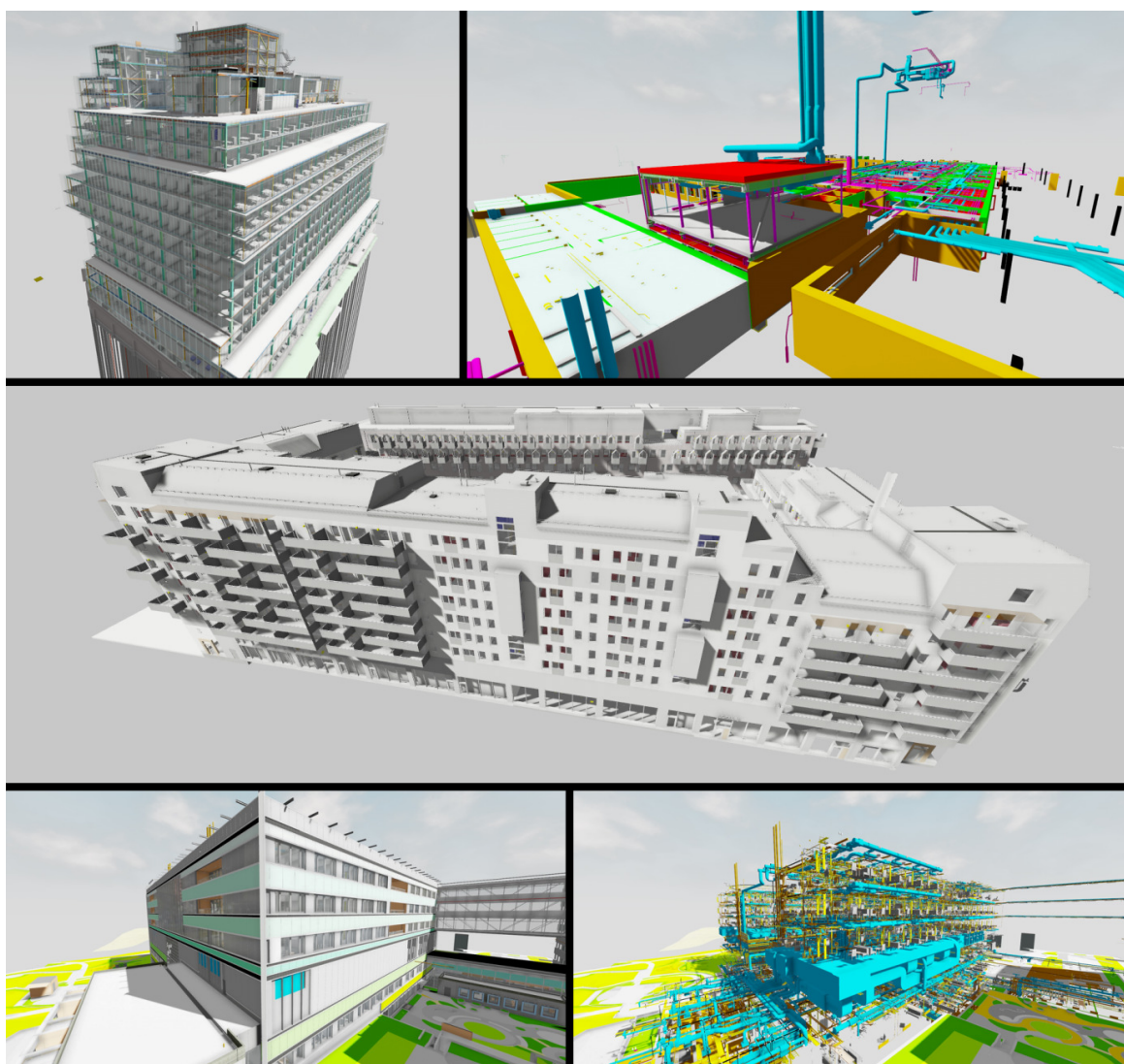


Figur 14. Exempel på ”skärmdumpar” tagna direkt från modellen i VR.

## 6 PROJEKTEN

Inom ramen för denna studie så har fem olika arbetsplatser/projekt besökts för att informera om och utvärdera konceptet med att skapa *produktionsanpassade vyer* direkt från BIM-modellen i VR (se Figur 15):

- GK Vent (besök på kontoret för test med montörer)
- Partille Port
- Nya Barnsjukhuset, Östra
- Platinan
- Borås Sjukhus



Figur 15. Översta raden: Platinan och Borås sjukhus; Mitten: Partille port; Nedersta raden: Nya barnsjukhuset (komplett resp. endast installationer).

Dessa projekt representerar en, för studien, lämplig spridning av byggnadstyp (bostad, sjukhus, hotell/kontor), också vad gäller storlek och komplexitet på BIM-modell. Värt att notera är att kompletta BIM-modeller från den här typen av projekt är väldigt stora/detaljerade och hade någon spelmotor (Unreal Engine, Unity) använts så hade det



garanterat medfört tidskrävande optimeringsarbete för att få alla projekt att fungera i VR. Tack vare valet av plattform har detta dock inte varit något problem. Respektive BIM-modell har antingen tagits direkt från Revit eller importerats som IFC-filer. Ingen ytterligare handpåläggning har krävts.

## 7 UTVÄRDERING OCH RESULTAT

Under utvärderingen har vi som forskare/observatörer åkt ut till respektive arbetsplats/projekt kontor och satt upp VR-utrustningen som bestod av ett HTC Vive kit, stativ för rörelsesensorer, samt en gaming laptop med ett Nvidia GTX 1080 grafikkort (Figur 16). Oftast har en längre genomgång av projektet och dess syfte hållits för en första testgrupp, och sedan har utrustningen funnits tillgänglig under resten av dagen för att låta olika personer kontinuerligt testa den. I två utav projekten har vi haft möjlighet att vara där flera dagar i sträck vilken gynnat studien eftersom test/utvärdering inte varit låst till ett enda tillfälle och att informationen om att vi är där och vad vi håller på med spridits naturligt mellan arbetsledning/yrkesarbetare under veckan. Kontinuerligt har även projektet haft kontakt med BIM-samordnare och BIM-ansvariga från respektive företag i referensgruppen för att få värdefull input under studiens gång.

I syfte att bättre kvantifiera utvärderingen togs en enkät fram innehållande frågor om respondenternas yrkesroll, användningsgrad av BIM, samt hur de upplevde olika aspekter av VR-systemet och dess funktionalitet. Utöver enkäten har studien fångat upp tankar och önskemål via observationer, samt öppna frågor och diskussioner med testpersonerna.

I följande avsnitt redovisas först resultaten från enkäten, följ av resultat från observationer och öppna frågor.



Figur 16. Bilder från två utav de besökta arbetsplatserna under studien.

### 7.1 Resultat från enkäten

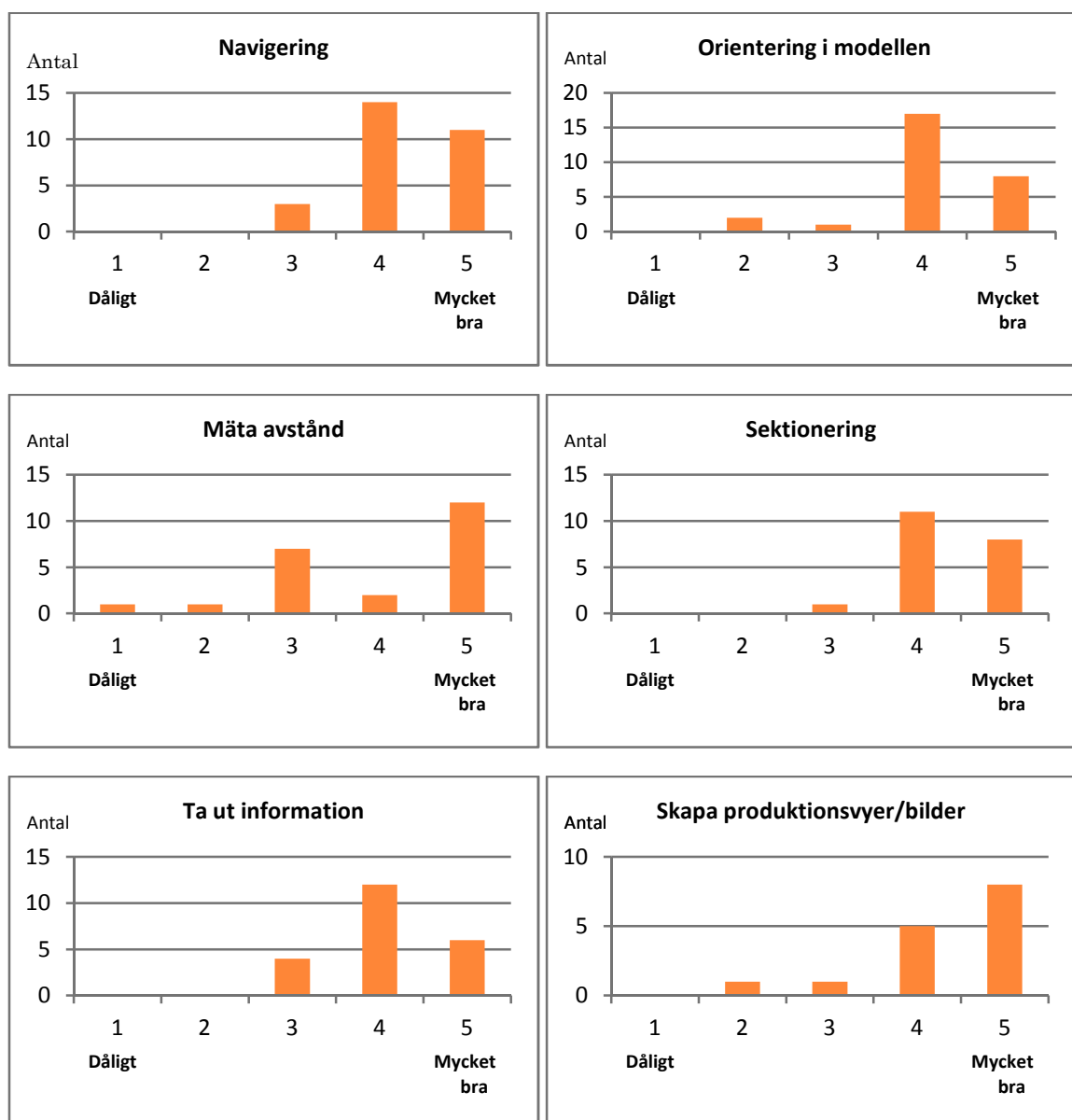
28 personer genomförde enkäten efter att ha testat systemet. Totalt sett har dock ungefär det dubbla antalet personer testat systemet under projektets gång, men av olika anledningar inte kunnat genomföra enkäten. Då minst en person från projektet alltid varit närvarande som observatör/assistent så har vi i de fall då testpersonerna inte kunnat fylla i enkäten ändå kunnat fånga upp deras tankar, åsikter, och önskemål kopplat till systemet och arbetssättet. Sammantaget så har vi inte kunnat se någon utmärkande skillnad mellan de personer som testat och gjort enkäten och de som bara testat systemet men inte kunnat göra

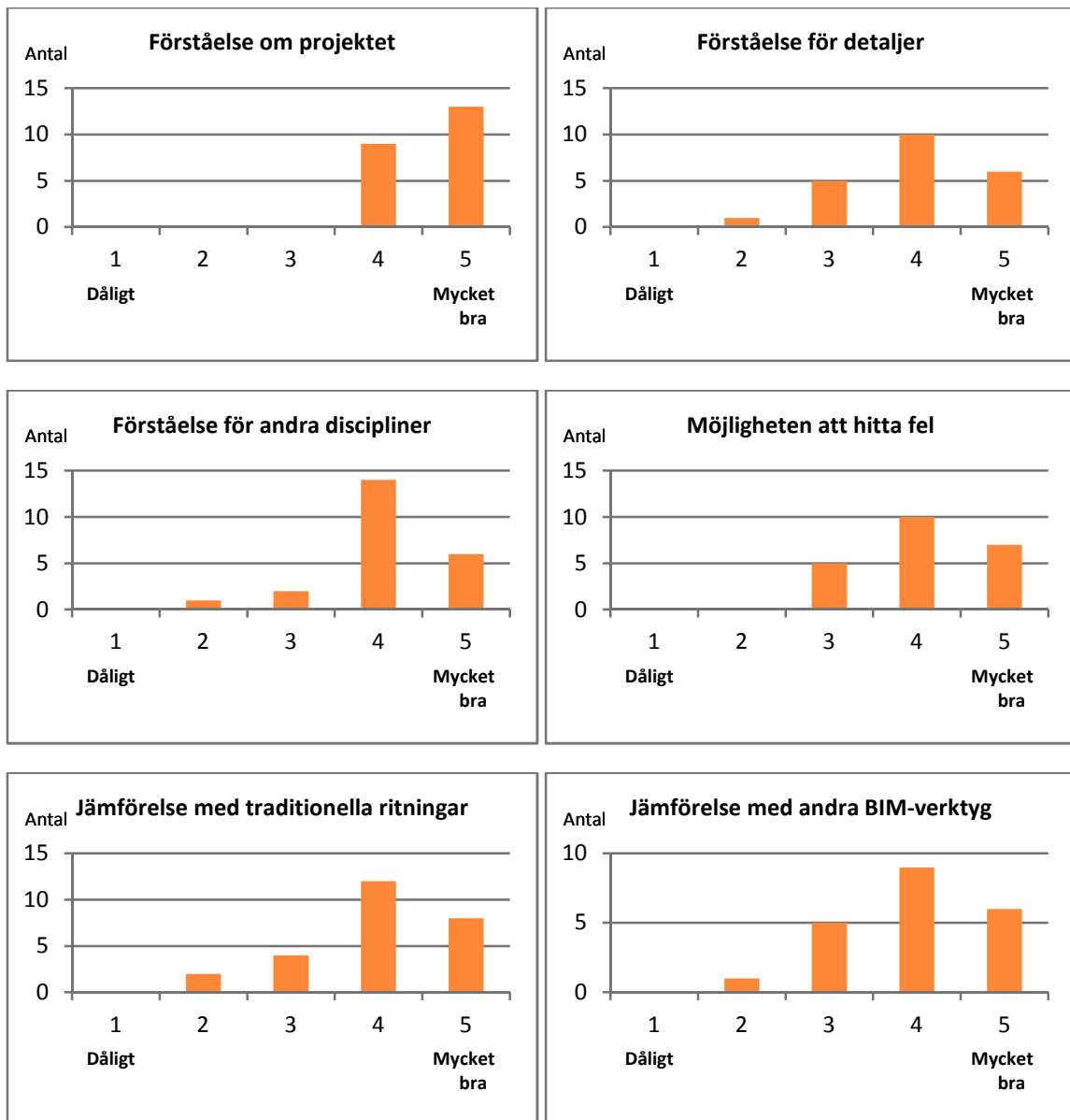
enkäten. Vi anser därför att resultatet från enkäten ger en representativ helhetsbild av utvärderingen.

Enkäten bestod av ett 20-tal frågor, där de rörande VR-systemet innefattade en skattning av olika aspekter på en femgradig skala:

1 (Dåligt) <----> 5 (Mycket bra)

Nedan följer en direkt redovisning av hur respondenterna skattade *användarvänligheten* för olika funktioner och aspekter kopplat till VR-systemet. Staplarnas höjd redovisar antalet svar (vertikal axel) för respektive skattning.





Som resultaten tydligt visar så är det en övervägande positiv bild av VR-tekniken som framförs. Givet att det nästan uteslutande är första gången personerna kommer i kontakt med VR, kan slutsatsen dras att detta är teknik som uppfattas som användarvänlig redan vid ett första test. Speciellt utmärkande är ”Förståelse om projektet”, vilket också är väldigt tydligt från observationerna och de öppna frågorna (Avsnitt 7.2.4).

Det som enligt enkäten kan anses ha mest förbättringspotential är ”Mäta avstånd”, vilket behandlas mer ingående i Avsnitt 7.2.3. Dock är det även här en tydligt övervikt till det positiva, vilket innebär att också mer avancerad applikationer som mätning och informationsextrahering utifrån BIM-modeller är fullt möjligt också för ovana användare.

## 7.2 Resultat från observationer och öppna frågor

En första intressant observation är att alla personer som testat/utvärderat systemet nästan uteslutande direkt navigerar till det ställe i modellen där de jobbar eller har sitt fokus för stunden. Även om detta i mångt och mycket kan anses som en självklarhet så påvisar det dock hur viktigt det är att presentera och utvärdera ny teknik i sitt faktiska sammanhang och med exempel som personerna i fråga kan relatera till. I följande avsnitt redovisas vidare de resultat som fångats upp under observationer, öppna frågor, samt diskussioner med testpersonerna.

### 7.2.1 Informationsinnehåll

När det gäller frågor om informationsinnehåll kopplar många detta intuitivt till den visuella – eller geometriska – representationen som VR-modellen erbjuder, såsom ”helheten”, ”detaljer”, ”översikt”, ”byggkonstruktionens delar och uppbyggnad”. Detta kan i sig självt anses intressant då det ger en indikation på att man antagligen betraktar modellen annorlunda i skala 1:1, och att den visuella representationen som sådant förmedlar stor del av informationsmängden. Ytterligare exempel som stödjer denna tes är testpersonernas förmåga att direkt se krockar mellan objekt, eller huruvida vissa montage kommer innebära problem rent utrymmesmässigt.

Dock framkommer också tydliga önskemål från de olika disciplinerna när det gäller specifik information kopplat till objekten:

#### **Installatör/montör (el, vent, rör):**

- Upphängningssystem (visuell/geometrisk representation)
- Systemtillhörighet (vilket system ett rör tillhör)
- Komponentdimensioner
- Information om isolering
- Monteringshöjd (i förhållande till golv/tak)

#### **Snickare:**

- Material (ex.vis materiallager i en vägg)
- Dimensioner
- Mått/dimensioner på fönster/dörrar/håltagningar
- Bröstningshöjd för fönster
- AMA-koder (om möjligt)

Utöver ovanstående fanns också många önskemål om specifik detaljinformation som är svår att generalisera mer än ”detaljerad information om objektet”, såsom information kopplat till elektriska komponenter, elskåp eller styrventiler. När det gäller dimensioner/mått har det heller inte tydligt framkommit preferenser för vilka mått/dimensioner/höjder man vill ha färdigt definierade som information i objekten, kontra vad man med fördel kan mäta ut själv i modellen.

BIM-modellerna i de olika projekten skiljde sig något åt då det gällde informationsinnehåll och vi har under studien både sett exempel på när den önskade informationen finns där, men även fall då den saknas. I några fall så har det också framkommit exempel på information som anses som ”ofullständig”, då informationen som anges är en förkortning eller benämning. Detta är i sig inte alltid ett problem, men användarna önskar sig gärna möjligheten att kunna se en ”beskrivning-/förklaringslista” även i VR. Vidare har det också framkommit viss problematik kopplat till informationen för rör respektive isolering, då isoleringen ”skymmer” själva röret vilket gör det båda visuellt och rent praktiskt svårare att få ut information om röret. Denna aspekt behandlas mer i Avsnitt 8.2.

Gemensamt för alla discipliner var också en önskan om att kunna få information om rummet eller läget (rumsnummer, våningsplan) där de befinner sig i VR-modellen. Även om denna information fanns tillgänglig i alla projektens BIM-modeller så var den inte tillgänglig i VR-modellen. En djupare diskussion om detta följer i Avsnitt 8.3.

Bland arbetsledare/tjänstemän är önskemålen kring information i mångt och mycket likvärdiga de som yrkesarbetare från respektive disciplin uttrycker, om än inte lika ”detaljerat”. Dock tillkommer i flera fall en önskan om mängder/kvantiteter, och då gärna en möjlighet att få ut kompletta mängder av en objektstyp per läge eller våningsplan. Från några tjänstemän har även frågan om byggvarubedömningen kommit upp. I nuläget verkar den nästan uteslutande hanteras i ett separat system, fränkopplat BIM-modellen. Möjligheten att få in byggvarubedömningen i BIM- och VR-modellen spås underlätta överblicken av var olika typer av material finns i byggnaden, eftersom detta i dagsläget primärt hanteras utifrån ritningsmaterial.

Då BIM-modeller stundtals kan innehålla väldigt mycket information var också ett utav målen med studien att försöka identifiera vad användarna inte ansåg sig behöva. Detta i syfte att göra det enklare och snabbare för användaren att hitta den information de faktiskt behövde. Den ursprungliga tanken var då att kunna ”filtrera bort” viss information baserat på yrkesgrupp. Dock har det visat sig svårt att tydligt se vilken information de inte behöver, när övervikten snarare har varit att de vill ha mer information än vad som funnits tillgängligt. I detta sammanhanget har ”rekommendationssystemet” visat sig fungera bra som ett alternativ till att filtrera eller begränsa informationen. I många fall vill användaren ha tillgång till samma typ av information, fast på olika objekt, vilket i fallet med ”rekommendationssystemet” innebär att man bara behöver ange vad man vill ha en gång. De insatser som dock hade kunnat göras för att minska mängden information är att se till att dubblatinformation (ex.vis så förekommer ofta ”Length” flera gånger) samt den information som tydligt enbart berör projekteringen (ex.vis ”Moves with nearby geometry”) filtreras bort från VR-modellen på arbetsplatsen.

### 7.2.2 Färgkodning

Färgkodning av objekt var något som flertalet personer kommenterade och även hade önskemål kring. Det är en tydlig önskan om att objekt skall vara färgkodade, då det underlättar förståelsen. Även om responsen skiljer sig något beroende på disciplin, syfte, samt graden av färgkodning som fanns i modellen vid testtillfället, är den gemensamma



åsikten att färgkodning oavsett standard är bättre än en grå modell eftersom det ökar ”kontrasten” och tydliggör individuella objekt. Då objekten i de flesta fallen var färgkodade, samtidigt som det fanns möjlighet att göra egen/”styra” färgkodning per disciplin, var responsten överlag ”bra” på frågan om hur de upplevde färgkodningen i modellen. Dock uppkom en del ytterligare önskemål och tankar kring hur färgkodningen skulle kunna *standardiseras*, vilket behandlas vidare i Avsnitt 8.1.

Samtidigt gavs exempel på hur brist på färgkodning försvårar tolkningen av modellen. I ett utav projekten ville en arbetsledare studera en konstruktionslösning kopplat till balkongerna, eftersom denna var svår att tolka utifrån ritningsmaterial. Även om modellen som helhet höll hög kvalitet, så var tyvärr alla objekt som var inblandade i just denna konstruktionslösning enbart gråa, vilket gjorde att det fortfarande var problematiskt att tydligt se deras relation till varandra (trots användandet av sektioneringsverktyget). Även om personen i det fallet inte hade några preferenser för hur de inblandade objekten skulle färgkodas, så är det tydligt att förståelsen hade ökat enbart genom att de olika objekten hade haft olika färger.

Det fanns även önskemål och tankar kring mer flexibel eller ”dynamisk” färgkodning baserat på någon typ av ”kategori” som var intressant för stunden. Alltså, man önskar dels ha möjlighet att färgkoda baserat på *ex.vis* material (trä, betong, etc.), men även enkelt kunna ändra till att färgkoda baserat på någon helt annan egenskap. Exempelvis så önskade flera snickare från ett utav projekten att alla väggar skulle kunna färgkodas utifrån vilken typvägg det var, i detta fallet baserat på väggens BIP-kod (IV01, IV02, etc.). Även denna typ av applikation behandlas mer ingående i Avsnitt 8.1.

### 7.2.3 Gränssnitt och kontroller

När det gäller navigering i VR-miljön visar både enkätsvar och observationer att detta är något som användarna – efter några enkla instruktioner – behärskar nästan direkt. Dock uttrycker flera personer en önskan om tillgång till en ”karta” eller översiktsvy som gör det lättare att förstå var man befinner sig i modellen. Flera önskar också att kunna navigera i sidled, *ex.vis* när de befinner sig framför ett objekt och vill kunna betrakta det noggrannare både från vänster och höger sida. Denna möjlighet fanns av avsiktliga skäl inte i VR-miljön under testerna, då tidigare forskning visat att detta kan öka risken för s.k. åksjuka (Oculus, 2018). I övrigt när det gäller åksjuka uttrycker ungefär en fjärdedel av användarna att de upplever någon form av det. Av erfarenhet från användande i utbildningsmiljöer samt liknande studier vet vi dock att denna i många fall är kopplat till en ovan känsla att använda VR för första gången, och att det för många personer försvinner vid fortsatt användande. Problematiken skall dock inte underskattas då vissa personer helt enkelt är mer känsliga för det. Det är också viktigt att tillägga att de flesta användarna valde att ”flyga” omkring i modellen, mycket för att de ansåg det ge dem större frihet att ta sig var som helst. Även om tidigare forskning har visat att ”teleport navigering” kan vara att föredra för att minska risken för åksjuka, innebär det också en viss begränsning då man måste följa samma navigeringsmönster som i verkligheten (d.v.s skall du ta dig från en våning till en annan måste du gå via trapporna).

När det gäller de olika verktygen, såsom måttsättning och sektionering, har inte alla testpersoner valt att använda alla funktionerna. Utvärderingsunderlaget kan därför inte anses lika starkt här som vid navigering eller allmän förståelse av projektet via VR-modellen. För vanlig måttsättning är det dock tydligt att en ”snapfunktion” behövs för att göra det mer användarvänligt, då många av de mått som testpersonerna vill sätta ut är från en kant eller ett hörn. I detta sammanhang anses ”vinkelrät måttsättning” enklare då det bara är en godtycklig punkt på en plan yta som skall väljas. Framförallt installatörer/montörer uttrycker också ett behov av att enkelt kunna ta c/c mått mellan komponenter eller mellan komponent och vägg, då det är utifrån det de vanligtvis jobbar. Vidare så visade sig konceptet med 3D-labels att fungera bra. Så fort användarna fick instruktioner om hur de skulle ”ta tag” i en 3D-label kunde de fortsättningsvis utan problem flytta runt och placera dessa hur de ville. Detsamma gällde användningen av sektioneringsverktyget.

Även om ovanstående ger en bra bild av vad användarna upplevde och önskade sig av VR-systemet så har det övergripande syftet med projektet, sett i ett större perspektiv, varit att förenkla och effektivisera arbetet ute i produktionen. I det sammanhanget blir jämförelsen med vad de använder idag extra intressant. För att bättre illustrera respondenternas tankar kring detta redovisas här några exempel på vad de svarade på frågan ”*Hur användarvänligt verkar detta gränssnitt i jämförelse med det du använder nu?*”

*”Kan bli bra om man använder det ofta”*

*”Det går otroligt mycket snabbare”*

*”Lättare att se och få en uppfattning, hade gått snabbare”*

*”Ganska”*

*”Bra komplement till Solibri och Dalux”*

*”Jättebra helhetsbild, bra för egenkontroller, förståelse, samordning mm”*

*”Väldigt användarvänligt”*

*”Använder inget, men jämfört med ritningar – mycket”*

*”Ingen större skillnad jämfört med nuvarande 3D-modeller”*

Sammantaget kan vi se att gränssnittet fungerar bra, men är långt ifrån fulländat utifrån ett användarperspektiv. I viss mån beror detta också på att VR-tekniken som sådant är ny och det finns idag inget entydigt gränssnitt som användarna har erfarenhet av eller kan förhålla sig till. Inom ramen för denna studie så har det också hela tiden fått göra en rimlig avvägning mellan implementeringstid och användarvänlig funktionalitet. Det finns därför definitivt förbättringspotential, framförallt när det gäller måttsättning. Trots detta så ser vi hur personer utan någon tidigare erfarenhet av VR eller 3D-modeller nästan direkt kan navigera omkring i – och ta ut information ifrån – en BIM-modell. VR-tekniken som sådan bör därför anses vara tämligen användarvänlig och lätt att ta till sig.

#### 7.2.4 Förståelse och kommunikation

Den övervägande största fördelen med VR ansågs vara att det bidrar till en mycket bättre förståelse och helhetsbild av projektet. Möjligheten att ”kliva in” i en modell och uppleva den i skala 1:1 framhävs som en stor fördel och i princip alla som testat systemet anser att

det ger en mycket bättre förståelse för helheten än vad 2D-ritningar gör. Även om tolkandet av 2D-ritningar primärt anses vara ett problem för beställare och brukare, gör många gällande att detta stundtals är en utmaning även för personal på byggarbetsplatsen. Eller som en erfaren arbetsledare yttryckte det:

*”ALLA har svårt att bilda sig en korrekt uppfattning om ett byggprojekt utifrån 2D-ritningar, även jag. Vi MÅSTE ju dock kunna hantera det, för vi har inget val...”*

En återkommande beskrivning är att *”alla ser samma sak”* med VR, vilket spås underlätta kommunikation mellan olika parter då det minskar risken för olika tolkningar från exempelvis ritningsmaterial. Som ett exempel i relation till detta beskriver en arbetsledare en typisk diskussion med arkitekten:

*”Oftast kanske arkitekten i ord eller genom att ’måla i luften’ försöker förklara en idé och det kan vara svårt att förstå ’helheten’, typ, varför är denna vägganslutning inte 90 grader? Ser man då i VR-modellen så kan man få en bättre förståelse, alternativt övertyga arkitekten varför det inte är en bra lösning.”*

Baserat på erfarenheter från liknande studier vet vi att det ofta är svårt för personer att *”spekulera”* i vad för problematik en VR-modell kan hjälpa till att lösa, innan problemet faktiskt står för dörren. Under studiens gång har personerna som testat systemet framförallt använt det för att få en bättre överblick av projektet som helhet men också för att få en bättre uppfattning och förståelse av nuvarande eller nära förestående arbetsmoment. I majoriteten av fallen har det dock inte varit tal om en regelrätt granskning av projekteringen eller att personerna kommit med faktiska problem som de vill utnyttja VR-systemet till att lösa eller få bättre information eller förståelse för. Utöver utvärdering och tankar kring de olika verktygen (sektionering, mätning, etc.) samt modellens informationsinnehåll, har VR-modellen därför primärt utnyttjats för att tydliggöra eller bekräfta saker som personerna i mångt och mycket redan är insatta i. Trots detta, på ett sätt, förutsättningslösa studerande av modellen så har även många problem identifierats och oklarheter förtydligats. För att bättre illustrera detta ges nedan ett antal exempel på kommentarer som uppkommit under studiens gång:

*”Här kommer vi inte att kunna få plats med alla rören. Det går inte, det ser jag direkt. Där har du dessutom en.., nej, två krocker.” [vent-montör]*

*”Här har jag tittat på ritningen nyss, jag vet att vi skall dra in tre [...] här men jag kunde inte få ut var... Jo, där har du dom två! Ok, och då är den tredje..? Nej, den skall faktiskt in här.”[elektriker]*

*”Jag såg hur mycket kollisioner som helst, bland annat med fast inredning. Jag menar, skall dom ha dom skåpen där så kan vi inte dra rören på det sättet.” [arbetsledare]*

Kommentarer som dessa måste dock sättas i sitt sammanhang. Då projekteringen ofta löper parallellt med produktionen är det inte säkert att det var färdigprojekterat på de ställena där problemen identifierades. Det är också väldigt troligt att djupare granskning av ritningsmaterialet hade kunnat klargöra respektive situation eller kollision. Dock påvisar

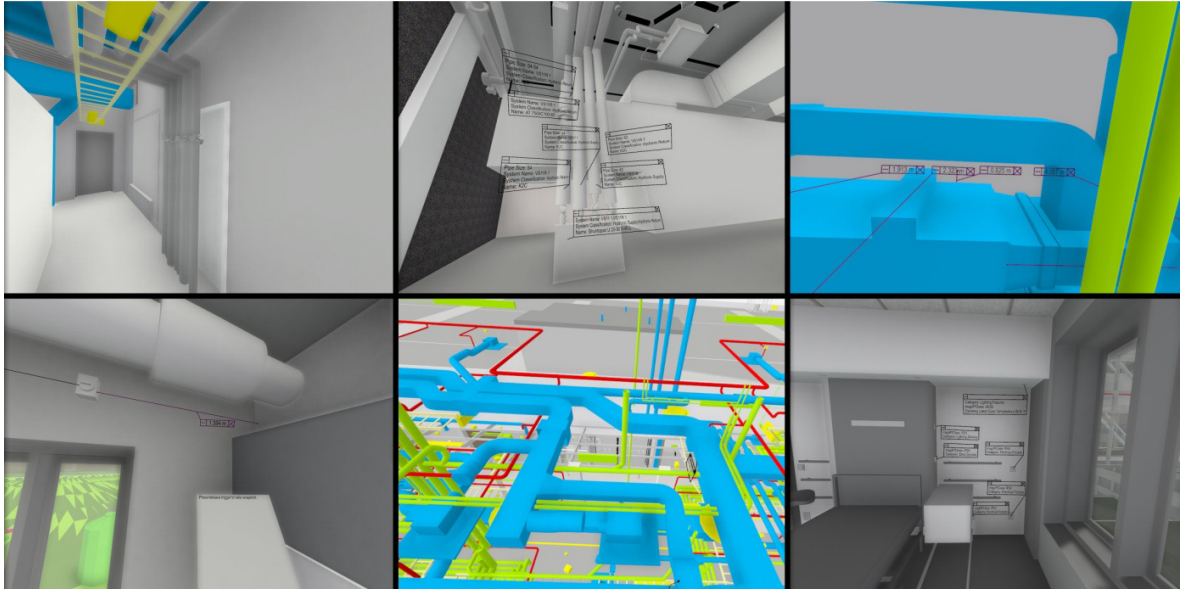
det tydligt hur direkt och intuitivt personerna uppfattar situationen då de befinner sig i VR-miljön. Ett mer ”skarpt” exempel som dock uppstod var inför en eldragning då elektrikern hade granskat ritningsmaterialet noggrant men fortfarande hade svårt att tydligt avgöra huruvida ett visst paket skulle dras i tak eller golv. Utrymmet där detta skulle göras kan beskrivas som ”känsligt” och då det dessutom skulle göras en pågjutning på golvet skulle en feldragning få konsekvenser. Denna problematik kunde dock lösas enkelt via VR-modellen och sektionsverktyget, som tydligt visade hur elstråket skulle dras i golvet.

Förvånansvärt många beskriver också att de redan idag använder BIM-viewers, såsom Solibri eller Dalux. Även om applikationerna skiljer sig något (titta på modellen, mängdning, ta ut mått, etc.), ger det en tydlig indikation på att traditionella ritningar inte kan erbjuda all den information eller tydlighet som önskas på arbetsplatsen. Flera vana Solibri- eller Dalux-användare ser i det sammanhanget VR-modellen mer som ett komplement då de upplever att de redan idag kan få ut det de behöver från modellen. Här framhävs också portabiliteten som en viktig faktor, där en iPad eller tablet gör BIM-modellen tillgänglig i princip var som helst på arbetsplatsen. Dock anser majoriteten av de personer med vana från BIM-viewers att det ser VR som ett enklare och mer intuitivt gränssnitt till BIM-modellen. En utav montörerna med Solibri-vana som tidigt under projektet fick testa systemet ansåg det vara mycket ett mycket snabbare, enklare och tydligare verktyg. Att personen senare självmant anslöt sig till referensgruppen och hade en önskan om att systemet testades på den aktuella arbetsplatsen, bör i sig ge en stark indikation på att yrkesarbetare faktiskt ser ett mervärde med VR.

#### 7.2.5 Produktionsanpassade vyer

Även om projektet primärt hade som mål att utvärdera konceptet med att skapa *produktionsanpassade vyer* direkt i VR, skapades dock inte så många av dessa under studiens gång. Även om många använde sig av de olika verktygen för att ta ut mått, information, och skapa ”skärmdumpar” på olika detaljer (se Figur 17) blir det fel att likställa detta med de exempel som lyfts fram från både Røforsbron-projektet och armeringsarbetet vid Oslo flygplats, där de produktionsanpassade vyerna skapades och faktiskt användes ute i produktionen. Som tidigare nämnts kan det till stor del bero på att personerna som testade VR-systemet nästan uteslutande gjorde detta förutsättningslöst, utan att ha ett specifikt problem med sig eller ursprunglig avsikt att skapa några vyer. En BIM-strateg/-samordnare i ett utav projekten påpekade också innan besöket på arbetsplatsen att det för många av personerna kommer vara första gången de kommer i kontakt med VR – eller för den delen BIM-modellen – och att det vid ett första tillfälle antagligen kommer handla mer om att få insikt om och testa tekniken och dess möjligheter, än att direkt använda det som ett verktyg i produktionen.

Dock visar studien tydligt att tekniken *är* mogen för att användarna skall kunna skapa sina egna vyer från BIM-modellen. Nästan direkt hanterar de navigering i modellen och efter en kort introduktion till de olika verktygen kan de ta ut information och mäta i modellen. I flera fall så har det även blivit att den personen som precis varit inne i VR-modellen instruerat nästa person om hur verktygen fungerar, vilket visar att detta är teknik som kan spridas naturligt på arbetsplatsen.



Figur 17. Exempel på olika vyer som producerades från VR-modellen under studien.

## 8 ALLMÄNNA UTMANINGAR OCH REKOMMENDATIOER

Under studien så har det framkommit vissa utmaningar kring bland annat färgkodning av objekt, isolering av rör, samt information från rumsobjekt. Då dessa inte enbart berör VR-lösningar, utan även kan kopplas till AR-lösningar eller BIM-viewers i allmänhet, redovisas de här i ett separat avsnitt.

### 8.1 Färgkodning av objekt

Den disciplin som har tydligast tankar kring *hur* objekten skall färgkodas är vent-installatörerna, och i många fall så kan denna härledas till hur Solibri använder färgkoder per typ/system. Solibris färgkodning är i sin tur liknande de direktiv som Statens Fastighetsverk upprättat (Statens Fastighetsverk, 2018), vilka för ex.vis ventilation ser ut som följande:

- Uteluft – Mellanblå
- Tilluft – Röd
- Frånluft – Mörkgul
- Av-, över- och återluft – Orange

Dock sammanfaller sällan denna färgkodning med hur objekt faktiskt är färgkodade från ex.vis MagiCad. Under projektets gång så har även tillgång fåtts till projektspecifika BIM-manualer där ytterligare alternativ på färgkodning getts. När det gäller färgkodning *för att särskilja olika discipliner* verkar ett någorlunda etablerat tillvägagångssätt vara följande:

- Ventilation – Blå
- El – Ljust grön
- Rör – Brun
- Sprinkler – Lila

Ingen av dessa är dock någon formell standard och det finns därför utrymme för branschen att ta ett gemensamt grepp för att ta fram en definitiv standard för hur färgkodning skall användas i projekt, både inom och mellan olika discipliner. Förslagsvis skulle denna finnas tillgänglig online på liknande sätt som BIP-koderna ([www.bipkoder.se](http://www.bipkoder.se)). Tittar man utanför landets gränser så finns goda exempel bl.a. hos GSA (General Services Administration) i USA (GSA, 2018), se Figur 18.

Common Piping and Plumbing Systems

System	Revit Color	AutoCAD Color	RGB
Compressed Air	5	5	0,0,255
Storm Drain	128-000-255	190	128,0,255
Storm Drain Overflow	219-183-255	191	219,183,255
Domestic Cold Water	0-63-255	160	0,63,255
Domestic Hot Water Return	255-170-170	11	255-170-170
Domestic Hot Water Supply	255-060-060	10	255,60,60
Natural Gas	2	2	255,255,0
Sanitary	255-127-0	30	255,127,0
Sanitary Vent	255-191-0	40	255,191,0
Unknown Pipe	076-038-038	17	76,38,38

Unknown Pipe is only to be used when it is absolutely necessary. Only when an existing pipe must be shown, but its contents are unknown, should a pipe be classified as unknown.

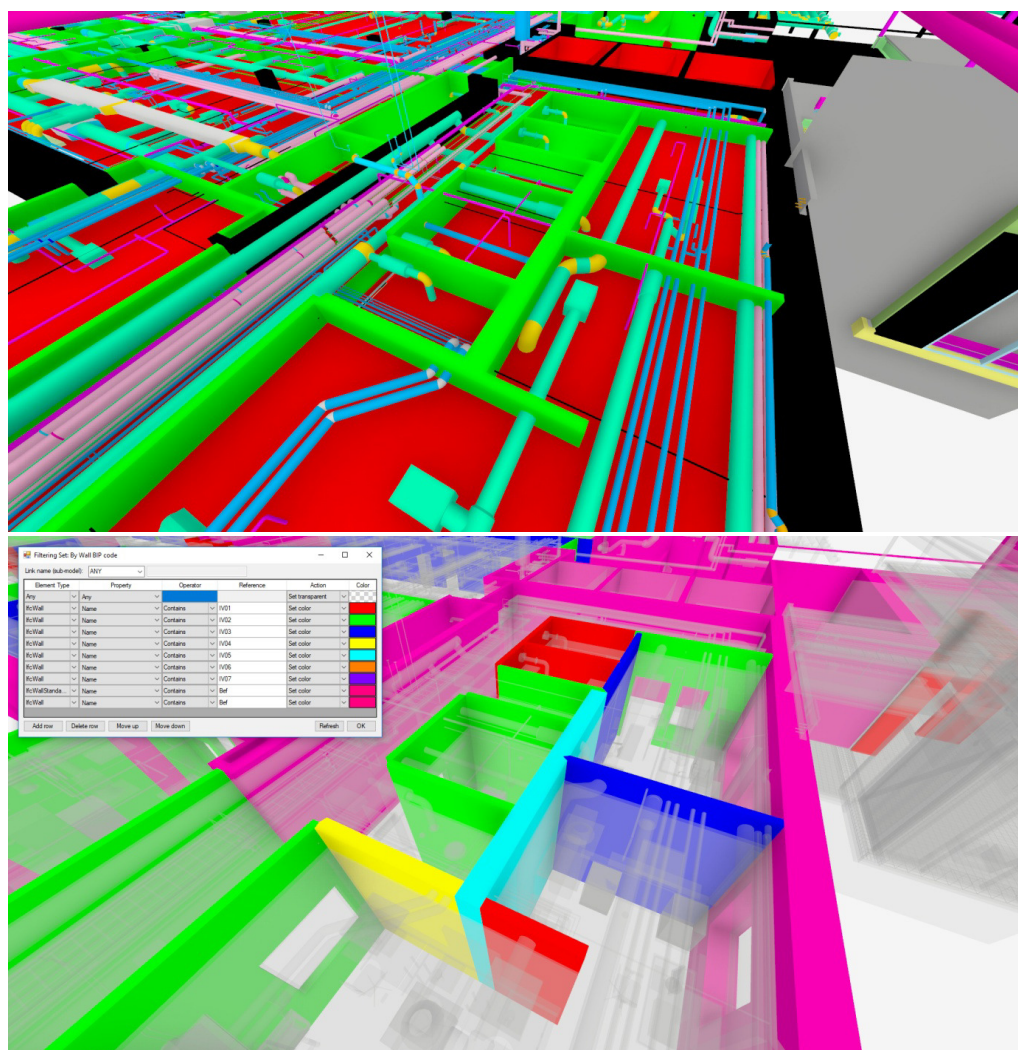
HVAC Systems

System	Revit Color	AutoCAD Color	RGB
Heating Hot Water Return	255-0-127	230	255,0,127
Heating Hot Water Supply	255-0-63	240	255,0,63
HVAC - Exhaust	3	83	103,165,82
HVAC - Outside	0-191-255	140	0,191,255
HVAC - Return	0-255-127	110	0,255,127
HVAC - Supply	000-127-255	150	0,127,255
Condensate - Gravity	127-255-000	70	127,255,0
Condensate - Pumped	0-104-78	126	0,104,78

Figur 18. Utdrag från GSAs standard för färgkodning av MEP-system (Mechanical, Electrical, Plumbing) (GSA, 2018).



Baserat på olika önskemål om färgkodning implementerades funktionalitet för att färgkoda objekt baserat på dess properties (ex.vis göra all rör av en viss dimension gröna, eller alla väggar av en viss typ röda). Då dessa önskemål var något som uppkom under studien, gjordes implementeringen först i slutfasen, vilket medförde att det bara kunde testas i ett utav projekten. Här framkom det dock tydligt hur kraftfull en sådan funktionalitet är. Som tidigare nämnts var snickarna intresserade av att enkelt kunna urskilja vilka väggar som var av en viss typ (baserat på dess BIP-kod). Med den nya funktionaliteten kunde då väggarna ges olika färg baserat på dess typ, vilket gav dem den överblick de önskade (se Figur 19).



Figur 18. Uppe: Färgsättning enligt IFC-fil. Nere: Färgsättning av väggar baserat på BIP-kod, övriga objekt genomskinliga.

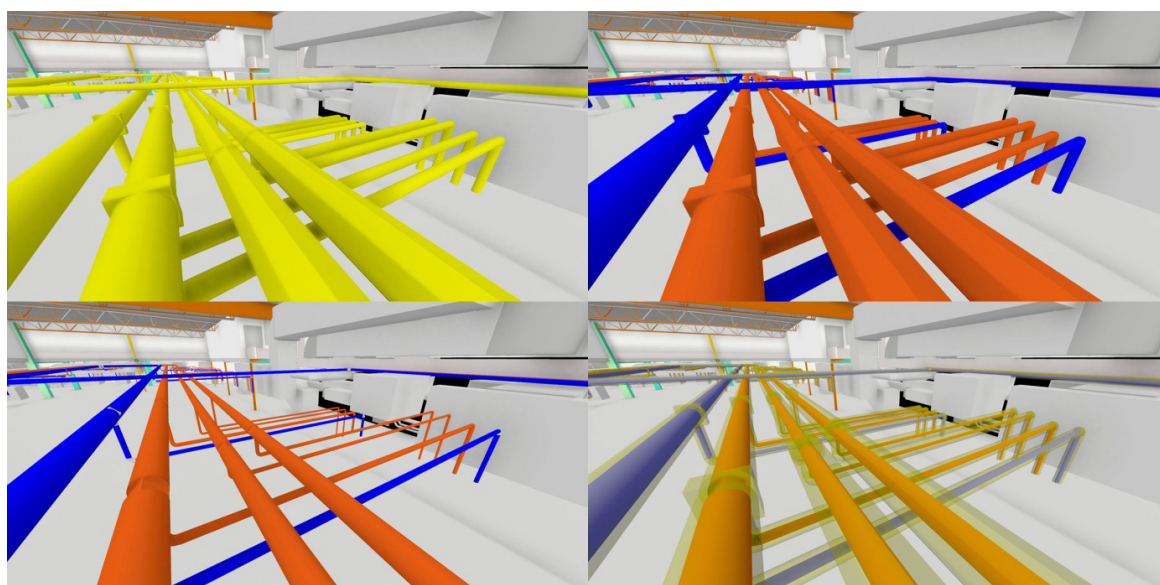
Även om det inte kunde utvärderas fullt ut är det högst troligt att flexibel färgkodning hade uppfattats som användbart i de andra projekten. Exempelvis ville montörerna ofta ha information/överblick om vilka system rören/kanalerna tillhörde. Möjligheten att färgkoda per system skulle antagligen framstå som en lämplig applikation här.

Skapandet av en ”färgkodningsregel” kan anses innebära något mer insats från användaren, vilket antagligen gör det lämpligt för en BIM-samordnare eller annan BIM-kunskapig personal på arbetsplatsen. När denna väl är skapad så aktiveras den dock enkelt med en

knaptryckning. Samtidigt beskriver förvånansvärt många yrkesarbetare och arbetsledare att det redan idag använder ex.vis Solibri/Dalux för mer än att bara titta på modellen. Steget till att skapa en färgkodningsregel i VR borde därför kanske inte vara så stort.

## 8.2 Rör och kanaler med isolering

Flera personer uppfattade en problematik med isolerade rör eller kanaler, när det gällde överblick eller möjligheten att få ut information på ett smidigt sätt. Både rör/kanaler och isolering är modellerade som 3D-objekt, vilket gör att isoleringen "skymmer" röret. Då det gäller information så har isoleringsobjektet begränsad information om röret det isolerar och rörojektet har i sin tur begränsad information om dess isolering. Alltså, vill man ha ut komplett information om röret måste man "gömma" isoleringen, alternativt göra en sektionering, för att kunna "välja" rörojektet. Denna "problematik" är dock inte unik för VR, utan finns i alla typer av BIM-viewers. I många fall så är det dock så att full information kanske inte behövs, utan för en överblick kan det initialt räcka med att, genom färgkodning, få reda på vad för typ av funktion rör har (till, från, cirkulation, etc.). Denna färgkodning skulle också kunna användas på själva isoleringen, för att ge en uppfattning om det underliggande rörets/kanalens funktion. Samma färgkodning på isolering och rör kan dock ge en felaktig bild av rörets dimensioner, samt huruvida det faktiskt är isolering eller rör. Den omvända problematiken med att ge isolering en unik färg är att rörets funktion inte blir uppenbar (eftersom det är "skymt" av isoleringen). Utifrån vidare diskussioner med testpersonerna kring denna problematik föreslås därför följande lösning: använd färgkodning baserad på objektets funktion, men gör isoleringen genomskinlig. Detta tillvägagångssätt ger en tydlig överblick av var isolering finns, dess dimensioner, samtidigt som rörens funktion och dimensioner är överskådligt.



Figur 19. Upppe/vänster: Isolering färgkodad. Upppe/höger: Isolering färgkodad enligt rörets funktion. Nere/vänster: Isolering "gömd", rör färgkodad enligt funktion. Nere/höger: Föreslagen lösning – Isolering färgkodad och genomskinlig, rör färgkodad enligt funktion. Notera skillnad i dimensioner på rör/isolering. Röd=supply, Blå=return.

### 8.3 Information kopplad till rumsobjekt

När det gäller informationsinnehåll i modellen var ingången i detta projekt att all information skulle vara kopplad till ett "fysiskt" objekt. Även i fallet med temporära strukturer skulle dessa kunna objektifieras i modellen. Vid några tillfällen efterfrågades dock information, såsom golvbeläggning, som inte kunde hittas på "fysiska" objekt i modellen. Det visade sig senare att denna information fanns kopplad till rumsobjektet. Detta är ett tämligen vanligt förfarande som kan kopplas tillbaka till rumsfunktionsprogrammet, då krav på olika utrymmen definieras. I vissa fall "överförs" denna information till lämpligt "fysiskt" objekt, men det finns även information som inte logiskt har en koppling till ett enskilt objekt, såsom identifikation (rumsnummer) eller allmänna "krav" för ett specifikt utrymme. I alla de testade projekten hade rumsobjekten medvetet tagits bort från VR-modellen, då det får effekten att innerväggarnas ytor "fladdrar" då de sammanfaller med rumsobjektets ytor. Då all form av "blinkningar" och "fladder" i modellen ökar risken för åksjuka valdes det att ta bort dessa. För framtida användande visade dock testerna att informationen från rumsobjekten på något sätt måste finnas tillgängligt i VR-modellen. Ett förslag som diskuterats i referensgruppen och med testpersoner är att ha ett "verktyg" som, vid aktivering, låter användaren få upp alla properties för det rummet som personen befinner sig i. På detta sätt ges möjlighet att placera ut "3D-labels" med information på samma sätt som för "fysiska" objekt, samtidigt som problemet med "fladdrande" och "blinkande" ytor undviks. Alltså, all geometri för rumsobjekten finns lagrad i modellen för att kunna beräkna i vilket rum användaren befinner sig i, men de faktiska geometrierna för rumsobjekten är inte direkt synliga för användaren.

## 9 SLUTSATSER

Vad detta FoU-projekt har visat är att det finns stora möjligheter med att använda ett VR-system på byggarbetsplatsen. Den största fördelen anses ligga i förståelse och helhetsbild av projektet, men det är också en tydlig övervikt till det bättre vid jämförelse med traditionella ritningar och andra BIM-verktyg. Även om få vill gå så långt som att VR i dagsläget skulle kunna fungera som en ersättning till nuvarande arbetsätt, ser i princip alla detta som ett kraftfullt komplement.

En återkommande beskrivning är att *"alla ser samma sak"* med VR, vilket av användarna spås underlätta kommunikation och förståelse mellan olika parter då det minskar risken för olika tolkningar utifrån ex.vis ritningsmaterial. Det är också tydligt hur användarna, bara genom att "kliva in" och betrakta modellen i skala 1:1, nästan direkt kan bilda sig en uppfattning om eventuella problem, såsom krockar eller utrymmesproblem för ett visst arbetsmoment.

När det gäller gränssnitt och användarvänlighet visade sig konceptet med 3D-labels samt rekommendationsystemet för information fungera bra. Vidare kan slutsatsen dras att de olika verktygen, såsom måttsättning och sektionering, som helhet fungerade bra. Dock finns utvecklingspotential, framförallt när det gäller måttsättning. För att fullt ut tillfredsställa alla användarnas behov behöver måttsättningsfunktionen bli både kraftfullare (fler typer av mått) och mer lättanvänd (snap-funktioner).

Även om projektet hade som huvudmål att utvärdera konceptet med att skapa s.k. produktionsanpassade vyer direkt i VR, nåddes inte detta fullt ut. De vyer som skapades gjordes primärt i testsyfte och endast i ett fåtal fall kan de anses ha varit "skarpa". Till stor del berodde detta på att personerna som testade VR-systemet i de flesta fall gjorde detta förutsättningslöst, utan att ha ett specifikt problem med sig eller ursprunglig avsikt att tillverka några vyer. Det är därför svårt att ge ett tydligt svar på hur väl detta koncept faktiskt fungerar i praktiken. Dock visar studien tydligt att tekniken *är* mogen för att personal på byggarbetsplatsen skall kunna skapa sina egna vyer från BIM-modellen. Nästan direkt hanterar de navigering i modellen och efter en kort introduktion till de olika verktygen kan de ta ut information och mäta i modellen. Givet att det för nästan alla personer var första gången de kom i kontakt med VR, måste tekniken därför anses som tämligen användarvänlig och enkel att sprida på arbetsplatsen.

## 10 FRAMTIDA ARBETE

I framtida arbete skulle fokus främst ligga på vidare tester och utvärdering i mer ”skarpa” situationer på platskontoren. Förslagsvis skulle då VR-systemet finnas tillgängligt på platskontoren under längre perioder för att kunna användas mer som ett naturligt verktyg i det dagliga arbetet.

När det gäller själva tekniken och användargränssnittet finns utvecklingspotential framförallt när det gäller måttsättning. För att fullt ut tillfredsställa alla användarnas behov behöver mätverktyget bli både kraftfullare (fler typer av mått, exempelvis c/c avstånd mellan komponenter) och mer lättanvänt (snap-funktioner).

Sett i ett större perspektiv så hade det även varit intressant att använda VR-tekniken för att bättre involvera arbetsledning och yrkesarbetare så tidigt som möjligt i projekten. Alltså, i större utsträckning låta produktionspersonal granska/utvärdera/återkoppla/planera virtuellt i skala 1:1 *innan* BIM-modeller och bygghandlingar når den faktiskt arbetsplatsen. Detta i syfte att upptäcka och åtgärda eventuella problem under projekteringen istället för i produktionen.



## REFERENSER

BIMXplorer (2018). [www.bimxplorer.com](http://www.bimxplorer.com)

Böregård, N., Degerman, C. (2013). Implementering av Virtual Design and Construction inom husproduktion: Användarvänlighet och användningsområden i produktionsfasen (Examensarbete). Chalmers Tekniska Högskola.

Cousins, S. (2017). Total BIM: How Stockholm's £1bn urban transformation project is going 100% digital. Construction Research and Innovation, 8:2, 34-40

Efpraxia, B., Norberg, R. (2018). BIM Implementation in the Production Phase of the Construction Process - Site Management Teams' Knowledge, Attitude and Needs (Masteruppsats). Chalmers Tekniska Högskola.

GSA (2018). BIM Technical Standards: MEP Color Mapping. [www.gsa.gov/real-estate/design-construction/3d4d-building-information-modeling/bim-guidelines-for-revit/guidelines/technical-standards/bim-technical-standards-mep-color-mapping](http://www.gsa.gov/real-estate/design-construction/3d4d-building-information-modeling/bim-guidelines-for-revit/guidelines/technical-standards/bim-technical-standards-mep-color-mapping)

Göteborg, A., Olsson, P. (2016). Digitala leveranser - BIM som informationsbärare (Examensarbete). Chalmers Tekniska Högskola.

Johansson, M. (2016). From BIM to VR - The design and development of BIMXplorer (Doktorsavhandling). Chalmers Tekniska Högskola.

Johansson, M., Roupé, M., Viklund Tallgren, M. (2014). From BIM to VR-Integrating immersive visualizations in the current design process, Fusion-Proceedings of the 32nd eCAADe Conference-Volume 2 (eCAADe 2014), pp 261-269.

Merschbrock, C. and Nordahl-Rolfsen, C. (2016). BIM Technology acceptance among reinforcement workers – The case of Oslo Airport's terminal 2. Journal of Information Technology in Construction (ITcon), Vol. 21, pg. 1-12.

Oculus (2018). Oculus Best Practices. [developer.oculus.com/design/latest/concepts/book-bp/](http://developer.oculus.com/design/latest/concepts/book-bp/)

Roupé, M., Johansson, M., Viklund Tallgren, M. (2017). Virtuellt Produktionsmodell i skala 1:1 på byggarbetsplatsen. SBUF Rapport.

Roupé, M., Johansson, M., Viklund Tallgren, M. (2014). Virtuellt Produktions Planering - med hjälp av BIM och visualisering. SBUF Rapport.

Sars, C., Tolmé, S. (2013). Visuellt planering och 3D-visualisering infrastrukturprojekt: Påverkan på kommunikation och informationsflöden (Examensarbete). Chalmers Tekniska Högskola.

Statens Fastighetsverk (2018). PROJEKTERINGSANVISNINGAR CAD 2018-06-15. [www.sfv.se/globalassets/bygg-pa-kunskap/projekteringsanvisningar/sfv-projekteringsanvisning-cad-2018-06-15.pdf](http://www.sfv.se/globalassets/bygg-pa-kunskap/projekteringsanvisningar/sfv-projekteringsanvisning-cad-2018-06-15.pdf)

VRCapture (2018). [store.steampowered.com/app/544420/VRCapture/](http://store.steampowered.com/app/544420/VRCapture/)