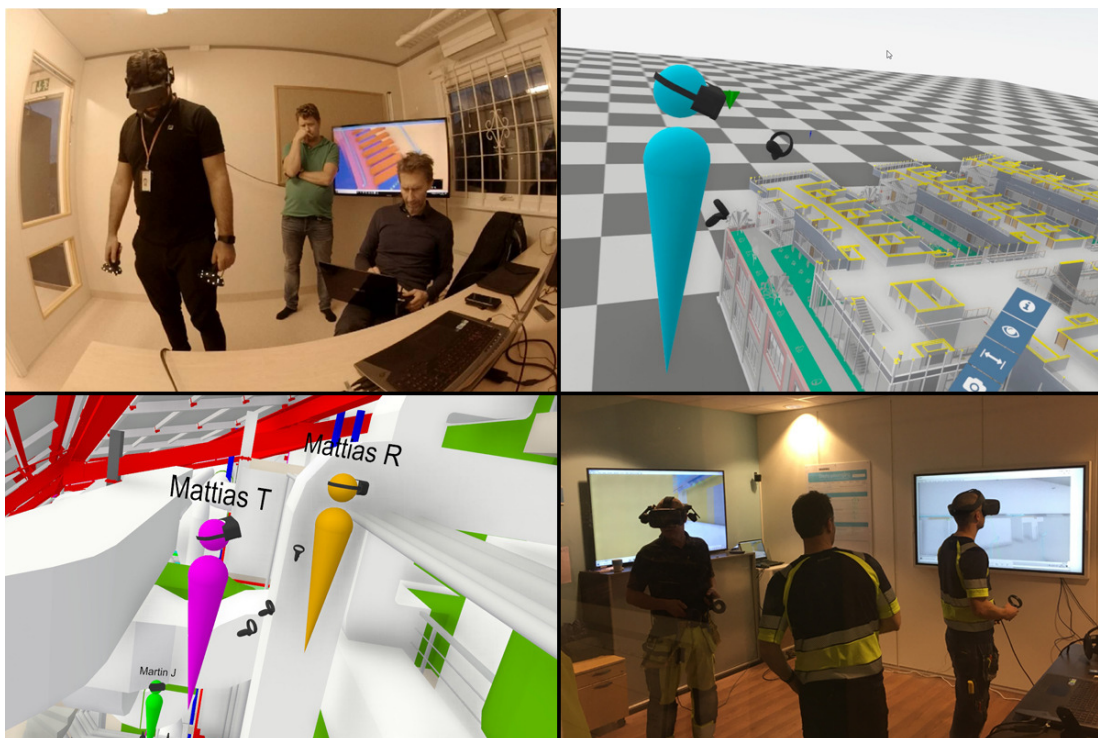


KAN VR FÖRBÄTTRA KUNSKAPSÅTERFÖRING FRÅN PRODUKTIONEN UNDER PROJEKTERING?



Mikael Johansson, Chalmers Tekniska Högskola

Mattias Roupé, Chalmers Tekniska Högskola

2021-02-08

FÖRORD

Denna rapport presenterar resultatet från ett genomfört FoU-projekt där syftet har varit att studera och utvärdera hur ett VR (Virtual Reality)-gränssnitt till BIM-modellen kan användas för att bättre och mer effektivt involvera och ta tillvara på produktionspersonalens kunskap redan under projekteringsfasen.

Under det gångna året har Covid-19 haft stor påverkan på alla delar i samhället, även detta projekt. Flera utav de utvärderingstillfällen som var planerade under respektive projekts samordningmöten fick ställas in, vilket påverkade möjligheten att direkt återkoppla erfarenhet och kunskap från produktion till projektering så som det ursprungligen var tänkt. Dock ledde detta till att en ”multi-user” lösning togs fram, vilket även öppnade upp för möjligheten att hålla gemensamma VR-möten helt på distans. Detta har i sin tur visat på många fördelar när det gäller projektkommunikation. Sammantaget så fick projektet i viss mån något ändrat fokus, men ledde även till att ny kunskap om hur man bäst använder VR-tekniken upptäcktes.

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 *Byggföretagen* 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.
- *Bengt Dahlgren* för medverkan som projektör i ett utav projekten där VR-tekniken utvärderades.
- Alla företag och personer som har medverkat i intervjuer och tester under projektet.

Göteborg, Februari, 2021

Mikael Johansson

SAMMANFATTNING

Syftet med detta projekt har varit att studera och utvärdera hur ett VR (Virtual Reality)-gränssnitt till BIM-modellen kan användas för att bättre och mer effektivt involvera och ta tillvara på produktionspersonalens kunskap redan under projekteringsfasen. Enkelt sett har grundtanken varit att låta personal med erfarenhet från produktionen *"identifiera/lösa/hantera problem virtuellt – INNAN de når byggarbetsplatsen"*.

VR-tekniken har studerats och utvärderats på sex olika arbetsplatser/projekt där projektering och produktion har pågått parallellt. Som metod har intervjuer, enkätundersökning, samt observationer används.

Resultatet från studien visar att det finns stora möjligheter med – och i viss mån också ett behov av – att låta personal från produktionen använda VR-teknik för granskning, planering, och arbetsberedning. Genom att involvera och ta tillvara på produktionspersonalens kunskap och insikter har flertalet problem eller mindre bra lösningar upptäckts och hanterats, innan dessa har nått det faktiska utförandet. I vissa fall har det rört sig om rena projekteringsmissar, medans det i andra fall har handlat om ändrad arbetsordning mellan discipliner, eller alternativa lösningar som passat framdriften bättre.

När det gäller VR-tekniken som sådan är det framförallt det faktum att modellen betraktas i skala 1:1 som lyfts fram och många kommentarer är kopplade till hur storlek, utrymmen, och detaljer, ges en helt annan förståelse och känsla för än när modellen granskas på vanlig skärm. Vidare visade det sig att möjligheten att vara flera användare i en och samma VR-modell, s.k. *multi-user* läge, hade väldigt positiva effekter på förståelse och kommunikation mellan deltagarna. Multi-user gör det dessutom möjligt för deltagarna att koppla upp sig från vitt skilda platser, vilket spår underlätta den här typen av möten med deltagare från både projektering och produktion.

Sammantaget kan det konstateras att VR definitivt har möjlighet att förbättra kunskapsåterföring från produktionen under projektering. Studien ger många exempel på problem, utmaningar, och mindre bra lösningar som kan upptäckas – men även hur man kan hitta bättre och mer produktionsanpassade lösningar – och visar tydligt att VR-tekniken har ett värde och är mogen för att användas kontinuerligt i skarpa projekt. Dock finns det idag fortfarande hinder och utmaningar när det gäller att göra tekniken fullt tillgänglig för alla i ett projekt, och här spår en ny generation av fristående VR-headset att öppna upp för bättre möjligheter.

INNEHÅLL

1	BAKGRUND OCH PROBLEMBESKRIVNING	4
2	SYFTE	7
3	GENOMFÖRANDE	8
4	BEGREPP OCH TEKNIK	9
4.1	BIM, IFC, OCH BCF	9
4.2	VR-GLASÖGON	9
5	VR-SYSTEMET OCH DESS FUNKTIONER	11
5.1	UTVECKLING INOM RAMEN FÖR PROJEKTET	11
6	PROJEKTEN	13
7	UTVÄRDERING OCH RESULTAT	14
7.1	FUNKTIONALITET OCH ANVÄNDARVÄNLIGHET (VR-GRÄNSSNITT)	14
7.2	FÖRSTÅELSE OCH KOMMUNIKATION	15
7.2.1	<i>Multi-user</i>	16
7.2.2	<i>Multi-user på distans</i>	18
7.3	KUNSKAPSÅTERFÖRING	19
7.4	TILLGÄNGLIGHET OCH MOBILA VR-LÖSNINGAR	22
8	SLUTSATSER	24
9	FRAMTIDA ARBETE	25
	REFERENSER	26

1 BAKGRUND OCH PROBLEMBESKRIVNING

I och med ökat användande av BIM följer möjligheten att i större utsträckning använda sig av olika typer av 3D-visualisering för att stödja förståelse och kommunikation mellan alla inblandade parter i ett bygg- eller anläggningsprojekt. I koppling till detta finns numera också en ny generation av VR-system tillgängliga på konsumentmarknaden. Fördelen med dessa gentemot 3D visualisering på skärm är att användaren har möjlighet att "kliva in" och uppleva och interagera med BIM-modellen i skala 1:1. Då BIM-modellen dessutom är tagen direkt från projekteringsmaterialet kan VR-tekniken användas utan att generera någon extra kostnad kopplad till projektet (förutom inköp av VR-glasögon). Under två studier som genomfördes under 2014 och 2017 testades ett par prototyper av dessa system ute på ett antal olika byggarbetsplatser (Roupé et al., 2017; Roupé et al., 2016; Roupé et al. 2014). Gensvaret på denna teknik var mycket positiv och man såg VR-glasögonen som ett framtida arbetsredskap ute på byggarbetsplatsen. Specifikt visade studierna att VR-systemet bidrar med:

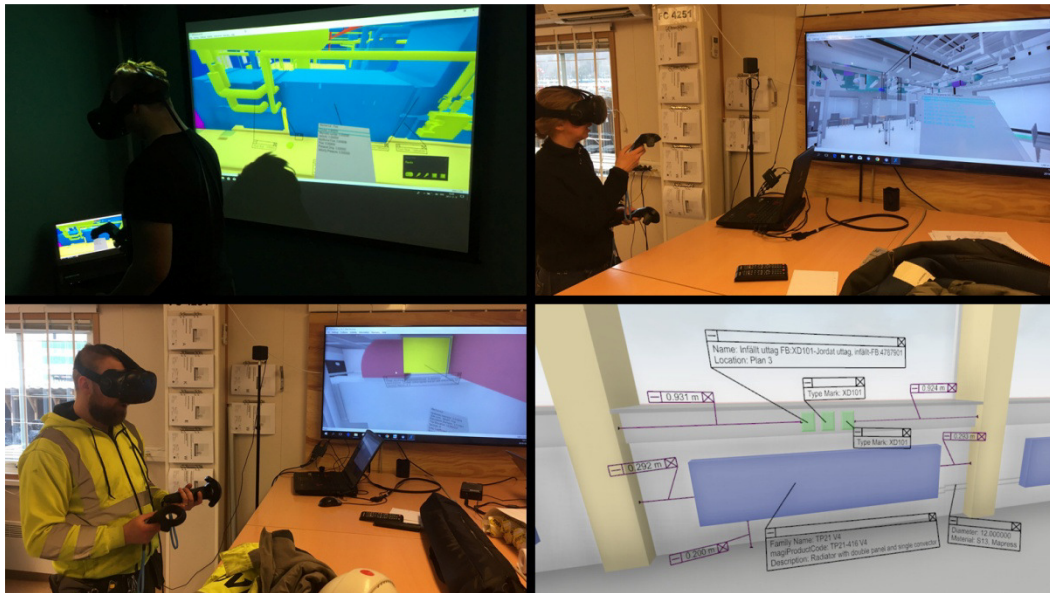
- Bättre förståelse och rumsuppfattning
- Stödjer bättre beslutsfattning och problemlösning i projekteringen
- Verktøy för att stödja arbetsberedning och planering

Under 2018 utforskades VR-tekniken vidare i syfte att implementera och utvärdera konceptet med att använda och tillverka s.k. *produktionsanpassade vyer* i ett VR-system på platskontoret (Johansson och Roupé, 2018). Förutom att erbjuda produktionspersonal möjligheten att själva skapa sina egna "produktionsvyer" (Se Figur 1) visade studien att VR-tekniken:

- Ökar förståelse och helhetsbild av projektet
- Anses väldigt användarvänlig och av många användare att föredra vid jämförelse med traditionella ritningar och andra BIM-verktyg
- Bidrar till att "alla ser samma sak", vilket spår underlätta kommunikation och förståelse mellan olika parter i ett projekt

Vidare gavs också flera exempel på situationer där produktionspersonal kunde identifiera kollisioner, platsbrist, eller ren felprojektering enbart genom att betrakta BIM-modellen i VR.

Sammantaget visar de genomförda studierna att VR-tekniken som sådan är mogen och att i kombination med BIM kan användas som ett effektivt verktyg under byggproduktionen.



Figur 1. Personal från produktionen granskar och skapar *produktionsanpassade* vyer direkt från BIM-modellen i VR (Johansson och Roupé, 2018).

Samtidigt som digitalisering och BIM har visat sig erbjuder nya möjligheter för en effektivare byggprocess, så brottas dock fortfarande sektorn med frågor kring låg produktivitet utveckling jämfört med andra branscher (de Frumerie, 2018). Här anses en betydande del kunna kopplas till projekteringsskedet, då kostnaden och arbetsinsatsen för att åtgärda fel ökar markant om de upptäcks först under produktionen (Koch och Lundholm, 2018; Josephson, 2013; Karlsson, 2017). Studier visar också hur personal från produktionen är övertygade om att majoriteten av de problem och utmaningar som uppstår i produktionen skulle kunna lösas i projekteringen (Carlström och Larsson, 2019). Ytterligare faktorer som anses hämma effektivitet är att branschen är dålig på att överföra dragna lärdomar från genomförda projekt till nya projekt och måste bli bättre på kunskapsöverföring (Albinsson, 2017).

Ett sätt som idag börjat användas för att adressera denna problematik är samlokalisering under projekteringen (Tjell, 2016). Samlokalisering innebär att de olika disciplinerna som ingår i projekteringsgruppen regelbundet (oftast en dag i veckan) sitter i samma lokaler och arbetar. Arbetssättet syftar till att skapa ett bättre samarbete och delning av information och kunskap inom projekteringsgruppen för att på så sätt öka den generella kvalitén på bygghandlingarna. Här framhävs också vikten av att representanter från produktionen kan vara delaktiga för att bidra med kunskap från produktionen för att säkerställa att det som blir projekterat är byggbart. Metodiken förespråkar dessutom olika typer av visuella hjälpmedel för att öka förståelsen och förbättra kommunikationen. Dock utnyttjas i dagsläget VR-teknik endast i enstaka fall.

De erfarenheter som tidigare studier framhäver är att VR-tekniken erbjuder en förståelse av skalan och detaljer som är svår att få genom andra typer av visualiseringsmedier (Roupé et al., 2017; Roupé et al., 2016; Johansson och Roupé, 2018). Framförallt har det visat sig att vara av fördel för de personer som vanligtvis inte jobbar med projektering, då tekniken bättre representerar hur man studerar och granskar konstruktioner och installationer i

verkligheten (Wolfartsberger, 2019). Att mer aktivt utnyttja VR-tekniken under samlokaliseringstillfällen kan därför anses ha stor potential för att få bättre granskning, feedback och kunskapsåterföring från produktionen.

2 SYFTE

Syftet med projektet har varit att studera och utvärdera hur ett VR-gränssnitt till BIM-modellen kan användas för att bättre och mer effektivt involvera och ta tillvara på produktionspersonalens kunskap i samband med projekteringen. Enkelt sett är grundtanken att låta personal med erfarenhet från produktionen *”identifiera/lösa/hantera problem virtuellt – INNAN de når byggarbetsplatsen”*. Vidare har projektet haft för avsikt att undersöka VR-teknikens förmåga att stödja ett mer proaktivt arbete genom att hitta bättre lösningar gällande produktionsteknik och arbetsmiljö och för att tidigt skapa en samsyn mellan projektörer och produktionen om vad som skall byggas och hur det skall genomföras.

Baserat på tidigare genomförda studier samt projektorganisationens egna erfarenheter spås kombinationen av VR-teknik och involvering av produktionspersonal i samband med projekteringen kunna bidra till följande:

- Bättre kunskapsåterföring från produktionen
- Bättre granskning av projekteringen
- Bättre samarbete och ökad förståelse mellan projektering och produktion
- Effektivare beslutsprocesser under projekteringen

Detta kan i sin tur leda till:

- Mer produktionsanpassade lösningar
- Mindre krockar och problem på byggarbetsplatsen
- Säkrare byggarbetsplatser
- Ökad produktivitet i byggproduktionen

3 GENOMFÖRANDE

Projektet genomfördes i samarbete mellan NCC, Peab, Skanska, GK Vent och Chalmers, avdelningen Construction Management, samt med stöd och stöttning från FoU-Väst. Vidare har även WSP och Bengt Dahlgren varit inblandade, dels som representanter i referensgruppen och dels som projektör i ett utav projekten där VR-tekniken utvärderades.

Projektet inleddes med att implementera stöd för enklare/snabbare navigering mellan olika delar i ett projekt, och så småningom också stöd för att vara flera personer samtidigt inne i en VR-modell. Som plattform för detta användes BIMXplorer.

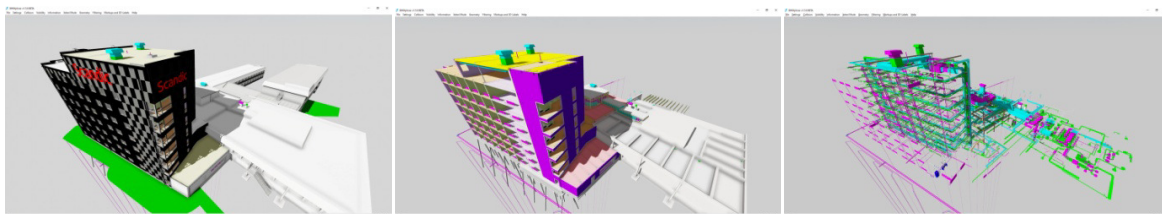
VR-tekniken har sedan studerats och utvärderats på sex olika arbetsplatser/projekt. Som metod har intervjuer, enkätundersökning, samt observationer används, där primärt fokus har varit att undersöka följande aspekter och frågor:

- Produktionspersonalens upplevelse och önskemål kring VR-tekniken
- Vilket mervärde skapar VR-tekniken gentemot andra digitala verktyg och arbetssätt?
- På vilket sätt underlättar tekniken kunskapsåterföring och kommunikation med projekteringsgruppen?
- På vilket sätt stödjer VR-tekniken frågor kring säkerhet, arbetsmiljö och produktionsteknik?
- Vad för typer av problem är lättare/svårare att identifiera i VR?
- Vad tillför möjligheten att vara flera personer i VR-modellen samtidigt?

4 BEGREPP OCH TEKNIK

4.1 BIM, IFC, och BCF

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 2). 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. För att lättare hantera och samordna de problem som upptäcks vid ex.vis kollisionskontroller kan sedan en typ utav ”intelligent skärmpdump” kallad BCF (Building Collaboration Format) användas. En BCF innehåller förutom en bild av det upptäckta problemet även en koordinatbeskrivning, vilket gör att det är lättare för en projektör att lokalisera exakt var problemet finns i den egna modellen. På samma sätt är BCF intressant när det gäller granskning i VR, då det öppnar upp för ett smidigt sätt att skicka information om ett problem som upptäcks direkt till projekteringen.



Figur 2. Olika disciplinmodeller bildar den kompletta BIM-modellen. Bild från ett utav projekten i studien.

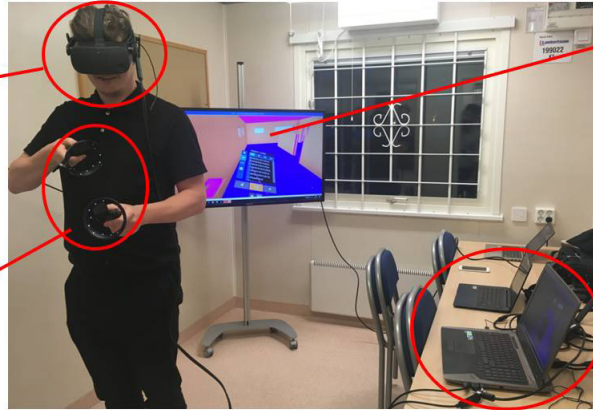
4.2 VR-glasögon

VR-glasögon möjliggör stereoseende och tillsammans med två handkontroller finns möjlighet att interagera med VR-världen. Utvecklingen inom detta området går väldigt snabbt och numera behövs inte längre några externa sensorer för att registrera huvudrörelser eller de medföljande kontrollerna, vilket gör att det går mycket smidigare att sätta upp systemet. Även om det nu också finns helt fristående system, gör storlek och komplexitet på BIM-modeller att en någorlunda kraftfull dator måste användas i de flesta fall. Det är framförallt två system – Oculus Rift och HTC Vive – som dominerar marknaden, och under detta projekt så har båda används (Figur 3).

VR-glasögon som låter användaren uppleva
BIM-modellen i skala 1:1



Handkontroller som låter användaren
navigera och interagera med modellen



Extern bildskärm som visar det
användaren ser i modellen

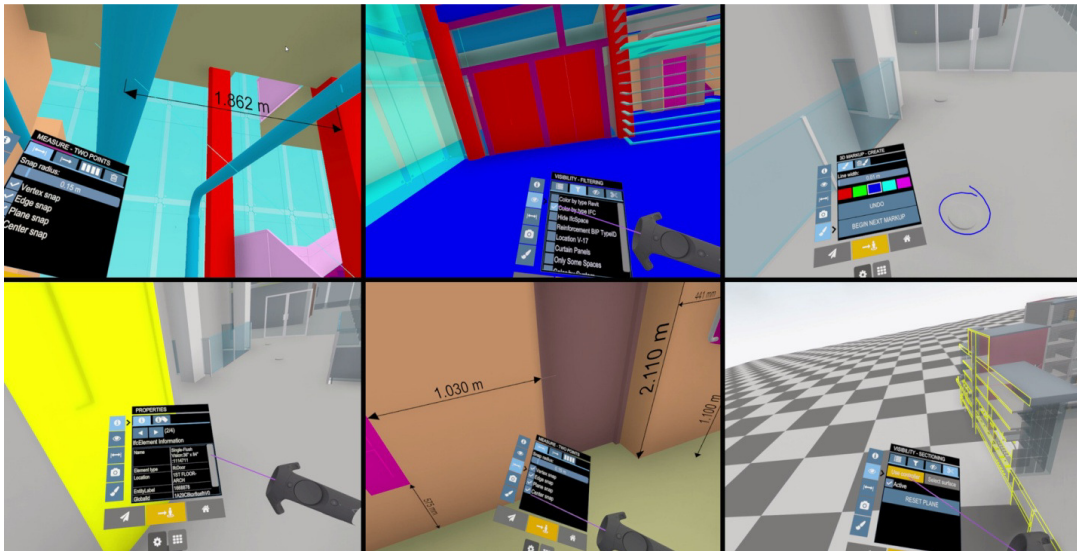
Gaming-laptop

Figur 3. VR-systemets olika komponenter. Bild från ett utav projekten i studien.

5 VR-SYSTEMET OCH DESS FUNKTIONER

Som teknisk plattform för studien valdes BIMXplorer (BIMXplorer, 2020) – en BIM-viewer som är specifikt utvecklad för att visualisera stora och komplexa BIM-modeller i VR genom direktimport av 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.

När det gäller navigering i VR-modellen så finns möjligheter att flyga omkring eller att peka på olika platser i närheten för att direkt teleporteras dit. Användargränssnittet i BIMXplorer innefattar också en verktygspalette kopplad till den ena handkontrollen där följande funktioner finns att tillgå (se figur 4): sektionspan, mätverktyg (med snapfunktion och c/c mått), rita markeringar/markups, ta ut information från objekt (och även placera i modellen), ta skärmdumpar, visa/gömma objekt och disciplinmodeller, aktivera färgkodningsregler.

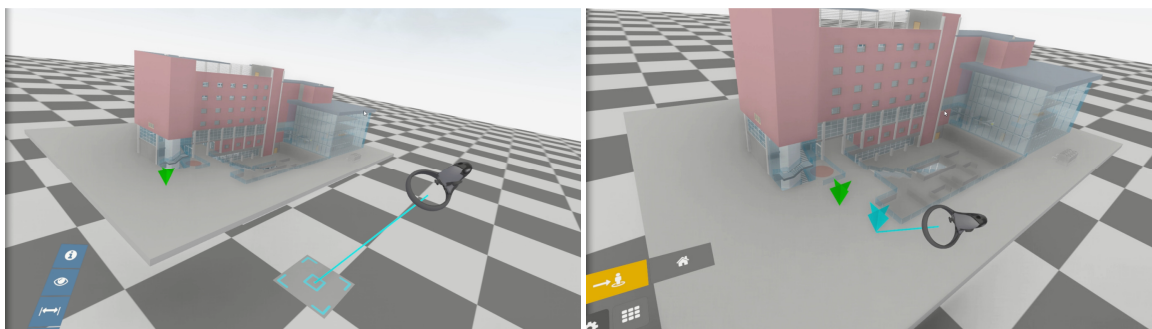


Figur 4. Via en ”verktygspalette” i VR-systemet finns olika funktioner/vertyg att tillgå, exempelvis mätverktyget.

5.1 Utveckling inom ramen för projektet

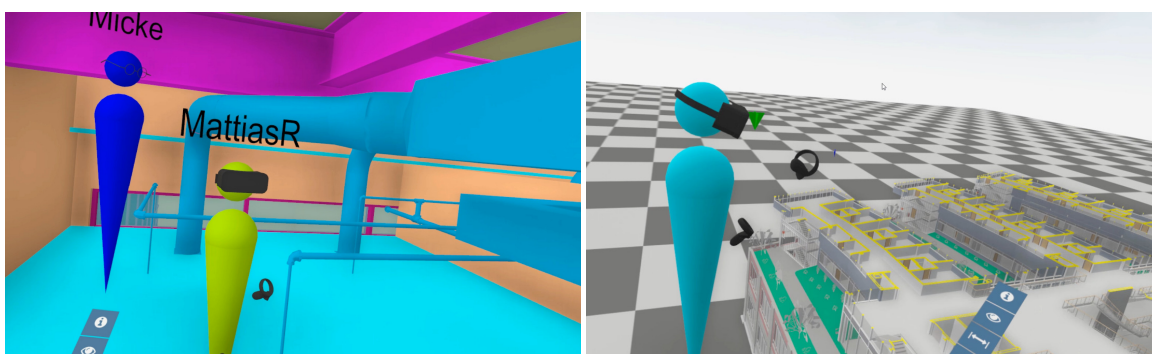
Primärt har detta projekt haft som fokus att studera *användningen* av VR-tekniken i skarpa projekt. I samråd med arbetsgruppen planerades även en vidareutveckling av gränssnittet för enklare navigering mellan olika delar i modellen, samt stöd för att exportera BCF från VR-miljön för direkt återkoppling till projekteringen.

När det gäller navigering togs ett koncept fram som innefattade en miniatyrmodell (mini-modell) där användarna kan peka vart i modellen som man vill "hoppa in" och betrakta i fullskala (1:1). Även i mini-modellen finns möjlighet att skapa ett sektionsplan vilket då gör att det är lättare att välja ett ställe på ett specifikt våningsplan (Figur 5).



Figur 5. Via mini-modellen (1:40) kan användaren peka och teleporteras till olika platser i fullskale-modellen (1:1).

För att få en bra återkoppling till projekteringen och ett obrutet informationsflöde var ursprunglig plan att implementera stöd för BCF. I och med Covid-19 så ändrades dock prioriteringen för att istället kunna erbjuda möjligheten att vara flera användare i samma VR-modell även om de befann sig på olika (fysiska) platser, s.k. *multi-user* läge (Figur 6). I detta läge visas de andra deltagarna med symboliska avatarer och namn i modellen, och det finns möjlighet att samla alla deltagare eller förflytta sig till en speciell person. Sektionsplan, måttsättning och markeringar/markups gjorda i en klient uppdateras automatiskt i alla klienter. På så sätt betraktar hela tiden deltagarna "samma" modell, fast utifrån olika perspektiv och platser.



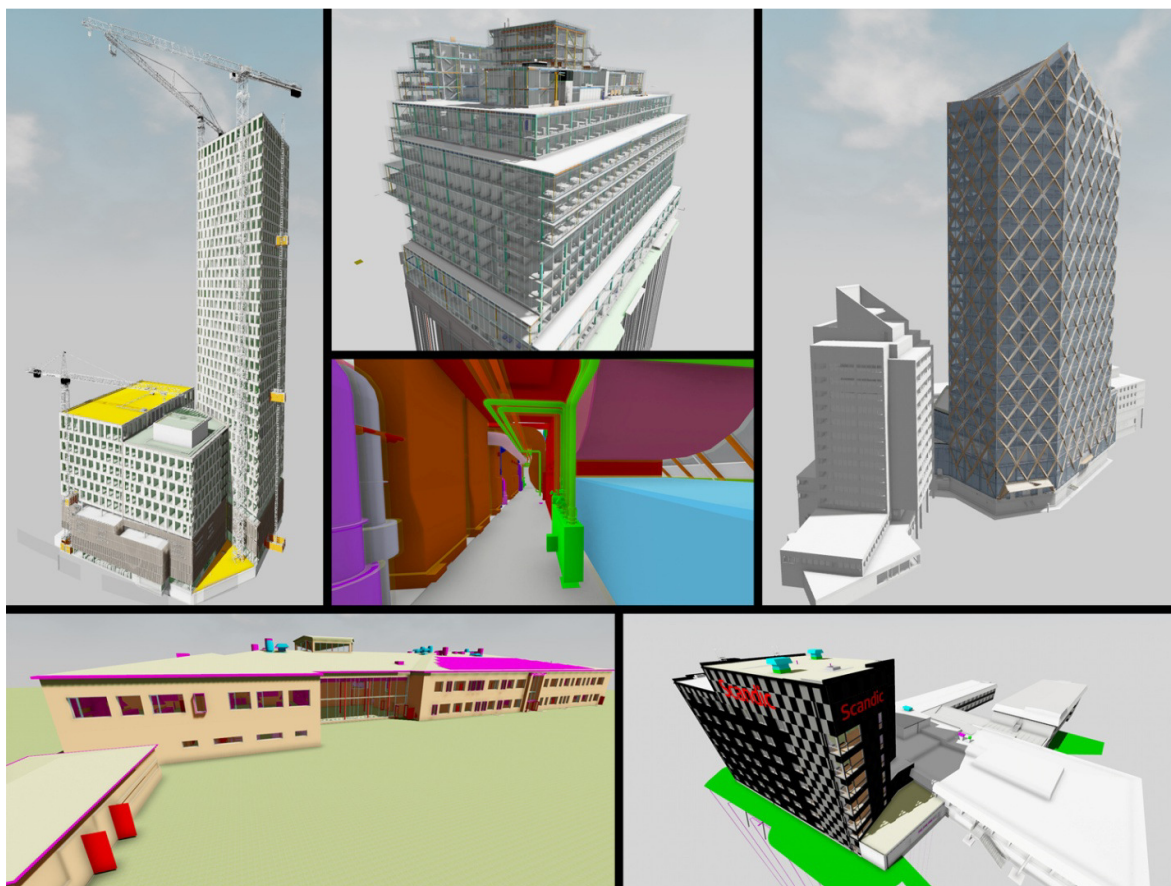
Figur 6. I multi-user läget representeras de andra användarna med enkla avatarer.

Multi-user funktionen visade sig också vara bra för att enkelt koppla samman produktion och projektering utan att någon av deltagarna behövde åka till en specifik plats för ett möte. Under studien har fyra utav mötena varit med flera användare i samma modell, varav två möten skedde helt på distans. Under distansmötena användes Discord för att prata med varandra via mikrofon och högtalare som finns i respektive VR-headset.

6 PROJEKTEN

Inom ramen för denna studie så har sex olika arbetsplatser/projekt besökts för att utvärdera VR-tekniken (Figur 7). I fyra utav projekten så har också återkommande besök genomförts.

- Kineum
- Platinan
- Citygate
- Glöstorpskolan
- Scandic Luleå
- Projekt X



Figur 7. De olika projekten som besöktes inom ramen för studien.

Dessa projekt representerar en, för studien, lämplig spridning av byggnadstyp (kontor, hotell, skola, offentlig anläggning), också vad gäller storlek och komplexitet på BIM-modell. Värt att notera är att kompletta BIM-modeller från den här typen av projekt är extremt 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, inklusive alla discipliner, har direkt importerats som IFC-filer. Ingen ytterligare handpåläggning har krävts.

7 UTVÄRDERING OCH RESULTAT

Under utvärderingen har vi som forskare/observatörer i majoriteten av fallen fysiskt besökt respektive arbetsplats/projektkontor. I vissa fall har ett dedikerat ”VR-rum” redan funnits på arbetsplatsen, och i andra fall så har vi tagit med och satt upp ett eller flera VR-kit bestående av gaming laptop och VR-glasögon. Under studien så har HTC Vive, Oculus Rift (S), samt HP Verberb använts. I och med Covid-19 så har dock två utav utvärderingstillfällena fått ske helt och hållet på distans och BIM- eller VDC-ansvariga på respektive projekt/arbetsplats har då själva satt upp VR-systemen.

Primärt fokus under utvärderingarna har varit lite olika från projekt till projekt. I vissa fall så har det rört sig om en mer generell granskning av projektet som helhet, medans det i andra fall har varit ett tydligt fokus på en specifik del, exempelvis ett våningsplan eller ett visst installationsutrymme. Kontinuerligt har även projektet haft kontakt med BIM- och VDC-ansvariga från respektive företag i referensgruppen för att få värdefull input under studiens gång.

Viktigt att nämna är också att all funktionalitet i VR-systemet inte var tillgängligt vid alla utvärderingstillfällen. Exempelvis så fanns bara möjligheten att vara flera personer i samma modell (s.k. multi-user) vid de fyra sista tillfällena. Dock har flera VR-kit använts samtidigt vid ett och samma utvärderingstillfälle.

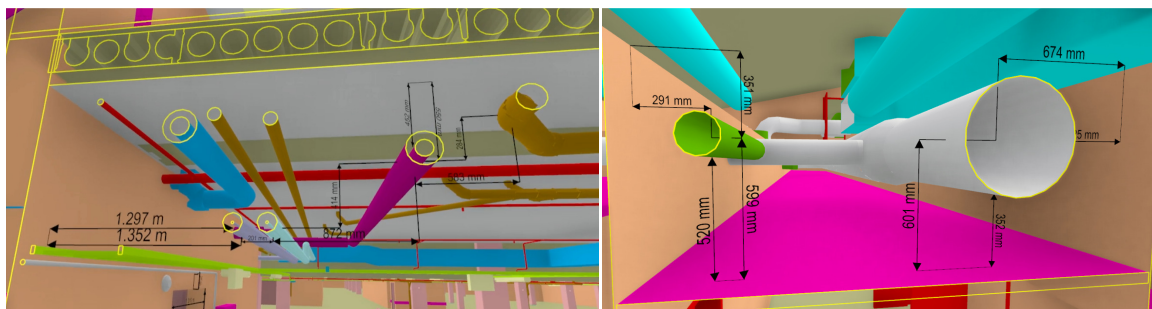
I syfte att bättre kvantifiera utvärderingen togs en enkät fram innehållande frågor om respondenternas yrkesroll, användningsgrad av BIM, samt hur de upplevde olika aspekter av VR-systemet och dess funktionalitet. Utöver enkäten har studien fångat upp tankar och önskemål via observationer, inspelade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

Inom ramen för projektet har ungefär 35 personer testat VR-systemet (många vid flera tillfällen), och av dessa har 12 personer genomfört enkäten. I syfte att inte störa respektive projekt/arbetsplats för mycket valdes det att skicka ut enkäten via mail i efterhand, vilket sannolikt har påverkat svarsfrekvensen. Sett i efterhand så hade det varit bättre att låta alla göra enkäten på plats, direkt efter att de använt systemet.

I följande avsnitt redovisas de resultat som tillsammans fångats upp via enkäten, observationer, öppna frågor, samt diskussioner med testpersonerna och representanter i referensgruppen.

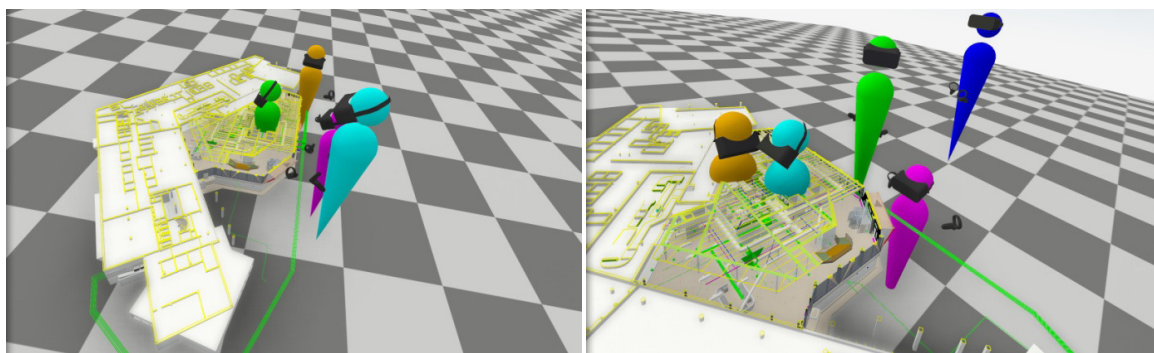
7.1 Funktionalitet och användarvänlighet (VR-gränssnitt)

När det gäller gränssnitt och funktionlitet så bekräftas i mångt och mycket tidigare studier i att detta är teknik som upplevs som tämligen användarvänlig direkt. Även personer som inte tidigare testat VR hanterar nästan direkt navigering i modellen, och för att använda de olika verktygen behövs endast en kort introduktion. Möjligheten att ta ut exakta mått och dimensioner har tidigare setts som begränsad i VR, men denna funktionalitet anses nu både enklare (snapping) och kraftfullare (mer typer av mått, bl.a. c/c).



Figur 8. Måttsättning skapad direkt i VR.

Konceptet med en mini-modell (som visar hela projektet i mindre skala) fungerade som ett bra och smidigt sätt att förflytta sig snabbt mellan olika delar av byggnaden. Denna representation visade sig även fungera bra för att få en översiktsskild av ex.vis installationsstråk och hur de olika systemen hänger samman. Med ett sektionsplan satt på en viss nivå så fungerar den på så sätt mer som en ritning som studeras översiktligt. Figur 9 visar ett exempel på detta från ett utav projekten då alla deltagare diskuterar rördragningen på ett specifikt plan. Dock finns en önskan om att direkt kunna förflytta sig mellan olika våningsplan (utan att behöva gå via mini-modellen). Detta är framförallt kopplat till de projekt som har väldigt många våningar då det då blir svårt att direkt se vilket plan som är vilket.



Figur 9. Mini-modellen används som översiktlig granskning av ett plan. Bild tagen från multi-user möte där alla deltagare kopplade upp sig från olika platser.

När det gäller hårdvara så är kommentarer från de som tidigare testat VR att tekniken nu erbjuder bättre bildkvalitet och att installation och uppsättningen av systemet underlättas av att det inte längre krävs några externa sensorer.

Framförallt BIM-samordnare och VDC-ingenjörer uttrycker också en önskan om att kunna exportera (men även importera) BCF direkt från VR. Som tidigare nämnts var detta ursprungligen planerat, men uteblev till förmån för multi-user funktionaliteten och möjligheten att koppla upp sig från vitt skilda platser. Klart är dock att detta är funktionalitet som hade gjort återkopplingen till projekteringen enklare.

7.2 Förståelse och kommunikation

Tidigare studier har påvisat hur direkt och intuitivt personer verkar uppfatta olika situationer i en VR-miljö, vilket bekräftas även i detta projekt. Framförallt är det faktum att modellen betraktas i skala 1:1 som lyfts fram och flera kommentarer är

kopplade till hur storlek, utrymmen, och detaljer, ges en helt annan förståelse och känsla för än när modellen granskas på vanlig skärm. Vidare blir det tydligt från observationerna att granskning i VR i mångt och mycket påminner om hur man betraktar eller granskar något i verkligheten. I flera fall användes handkontrollerna för att representera ex.vis en skruvdragare för att se om tillräcklig plats fanns i modellen för att utföra ett visst arbetsmoment, eller om brist på plats krävde att en planerad sekvens av arbetsmoment behövde ändras. Även storleksrelaterade problem, såsom höjd på räcken eller storlek på öppningar, upptäcks primärt genom att modellen betraktas i skala 1:1 och att användarna instinktivt utgår från sitt eget perspektiv (ex.: *"det där känns som att det är lite lågt"*) innan de använder mätverktyget.

När det gäller informationsinnehåll ges nedan några exempel på vad respondenterna svarade på frågan *"Vilken information hittar du (i VR) och vill använda?"*. Även här blir det tydligt att det framförallt är skalan och den visuella/geometrisk representationen som sådant som förmedlar stor del av informationsmängden.

"Allt jag behöver"

"Mycket kring planering av arbetsmoment"

"Visuell information, krokar mellan olika järn, planering av utförande"

"En VR-Modell skapar en bättre känsla än vanliga traditionella BIM-modeller"

"Mått, objektsinformation, detaljer/sektioner"

"Använder mest för se vilket utrymme som finns för att kunna bygga i rätt ordning"

"Installationer som krokar"

"Hur installationer påverkar väggar"

"Samma objektsinformation som i BIM"

7.2.1 Multi-user

Jämfört med tidigare studier så var det framförallt möjligheten att vara flera personer inne i samma modell samtidigt (s.k. multi-user) som utmärkte sig – dels när det gäller kommunikationen, men även att det möjliggör möten på olika håll. Vid fyra tillfällen har multi-user använts, varav två utav dem med deltagare på vitt skilda platser.

I ett utav fallen så gällde det en arbetsberedning med totalt åtta deltagare som turades om att använda tre olika VR-headset som alla fanns tillgängliga i ett och samma "VR-rum" på platskontoret. Till respektive headset så var en ytterligare skärm kopplad så att de som stod utanför kunde se vad de olika personerna gjorde i VR-modellen (se Figur 10). Detta tillfälle hade även föregåtts av tidigare arbetsberedningar och granskningar i VR, dock på andra delar i projektet och utan möjlighet att vara flera personer i modellen samtidigt. Fokus i detta fall var stomkomplettering på ett plan och ansvarig arbetsledare inledde med en genomgång (i VR) gällande hur framdriften var tänkt på detta plan och i vilken ordning de olika discipliner skulle gå och vilka moment som ansågs vara mest utmanade. Detta övergick sedan i mer diskussioner kring specifika platser och övriga deltagare turades om att vara inne i modellen samtidigt. I syfte att exemplifiera typen av diskussion som pågick mellan deltagarna följer här ett utdrag från konversationen under mötet:

#1: Här blir vi tvugna att sätta en skärm på utsidan för här kommer vi ju aldrig komma åt att gipsa. Det ser jag ju nu...

#2: Ja, det blir trångt däremellan...

#1: [tar mått i modellen] ...vi får ju inte ens plats med gipsskruvdragaren så det blir så vi får göra det

...

#1: ...här måste ju vi också få chansen att bygga skärmar först, för här är helt bananas tigt. Här måste ju vi få gå först och SEN installatörerna. Bara se till att dom inte smygstartar här...

#2: Ohh, ja, det är ju trångt hela vägen här!

#1: Ja, det är jättetrångt

#3: Det är ju fullt med installationer här...

#3: Det är inte så att vi skall gå in med skena innan de ens gjuter...? Nä, det är ju för högt här...



Figur 10. Arbetsberedning med flera användare samtidigt i VR-modellen.

Till hur stor grad användning av VR vid arbetsberedning generellt förbättrar slutresultatet är svårt att ge ett definitivt svar på, då det är möjligt att "traditionell" arbetsberedning med hjälp av 2D-ritningar och även BIM hade fungerat lika bra. Dock handlar många diskussioner under mötet om storlek och utrymme och på den punkten vet vi att VR bidrar till en bättre förståelse. Utifrån enkätsvar så är det också en väldigt positiv bild som ges angående *förståelse av projektet, detaljer, samt andra yrkesgruppers och discipliners arbeten*. Vidare så finns flera exempel i just detta projektet då fel och projekteringsmissar upptäckts först i VR (behandlas mer i avsnitt 7.3). Tillsammans pekar alla dessa faktorer på att det finns ett tydligt mervärde med att använda sig av VR under arbetsberedningar och granskning. Vad som dock kan sägas med säkerhet är att möjligheten att vara flera personer i samma VR-modell ger ett tydligt mervärde jämfört med att bara kunna vara en person åt gången. Eller som nämnda arbetsledare uttryckte det under mötet:

"Det här tyckte jag var grymt, att vi kunde vara fler personer i modellen samtidigt!"

7.2.2 Multi-user på distans

I två utav projekten så utnyttjades det faktum att multi-user funktionen möjliggör att deltagarna kan koppla upp sig från helt olika platser. I det först fallet så rörde det sig mer om ett allmänt tekniktest tillsammans med utvecklings- och entreprenadingenjörer. All granskning och modellsamordning var gjort sedan tidigare och detta test var framförallt för att se hur teknik och kommunikation fungerade över vitt skilda platser i landet – något som visade sig fungera förvånansvärt bra.

I det andra projektet så pågick produktion och projektering parallellt och mötet involverade två projektörer (med var sitt VR-headset) som befann sig på projekteringskontoret och två installations- och VDC-samordnare (också med var sitt VR-headset) som befann sig på platskontoret. Utöver detta så deltog författarna till denna rapport från var sitt håll. Primärt fokus var installationer på ett våningsplan där kollisionskontroll och samordning precis hade genomförts, men under mötet granskades även flera andra delar av projektet (Figur 11). Nedan följer ett utdrag som visar på den dynamik som uppstår i mötet, trots att alla är på olika fysiska platser.

#1: Har vi nån som är på nåt ställe där det känns bra att samlas?

#2: Ja, ni kan komma till mig!

#3: Vart är du då?

#1: Det är [...], jag kan ta "Go to", och sen så samlar jag alla här... Så, då är alla här!

#2: Så, då kan vi smyga in i fläktrummet här jämte. Det är nog lite intressant...

#4: Jädrar, det kommer bli högt till tak här alltså...

#2: Det här var ju vansinnigt häftigt att glida omkring!

#4: Sjukt stort! I modellen ser det ju inte så ut annars. När man tittar vanligt på skärm då..

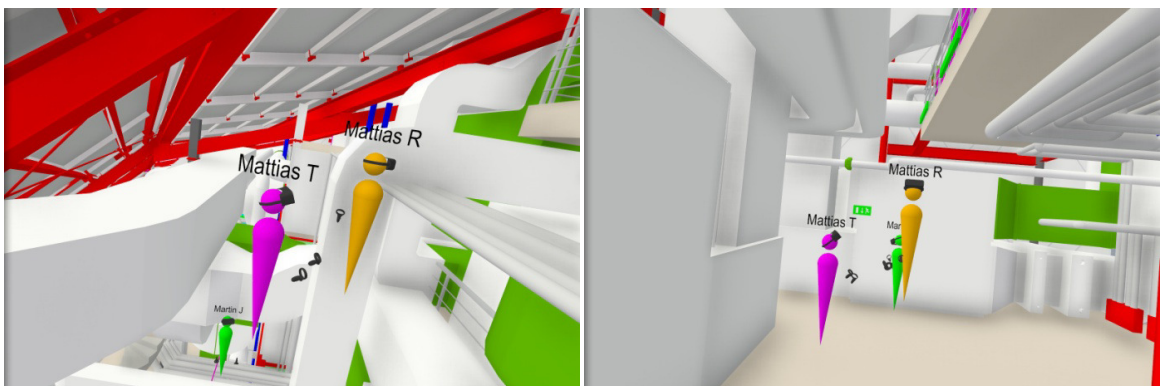
#3: Jag hittade här, här verkar det bli big issue. Jag kan samla er här...

#3: Här känns ju som det är många grejer som kolliderar. Om ni kollar ner här...

#2: Ja, det är rör genom kanalerna där

#3: Ja, det är både vent och rör och...

#4: Ja, vi har ju inte samordnat nåt här än. Det blir väl nån gång efter nyår skulle jag tro.



Figur 11. Granskning med flera användare samtidigt i VR-modellen. Alla uppkopplade från olika (fysiska) platser.

På den våningen som var primärt fokus upptäcktes dock inga direkta problem med installationerna. Testet visar dock tydligt på möjligheterna med att låta personer från både produktion och projektering gemensamt granska och diskutera projektet i VR utan att för den delen behöva lämna sin egen arbetsplats.

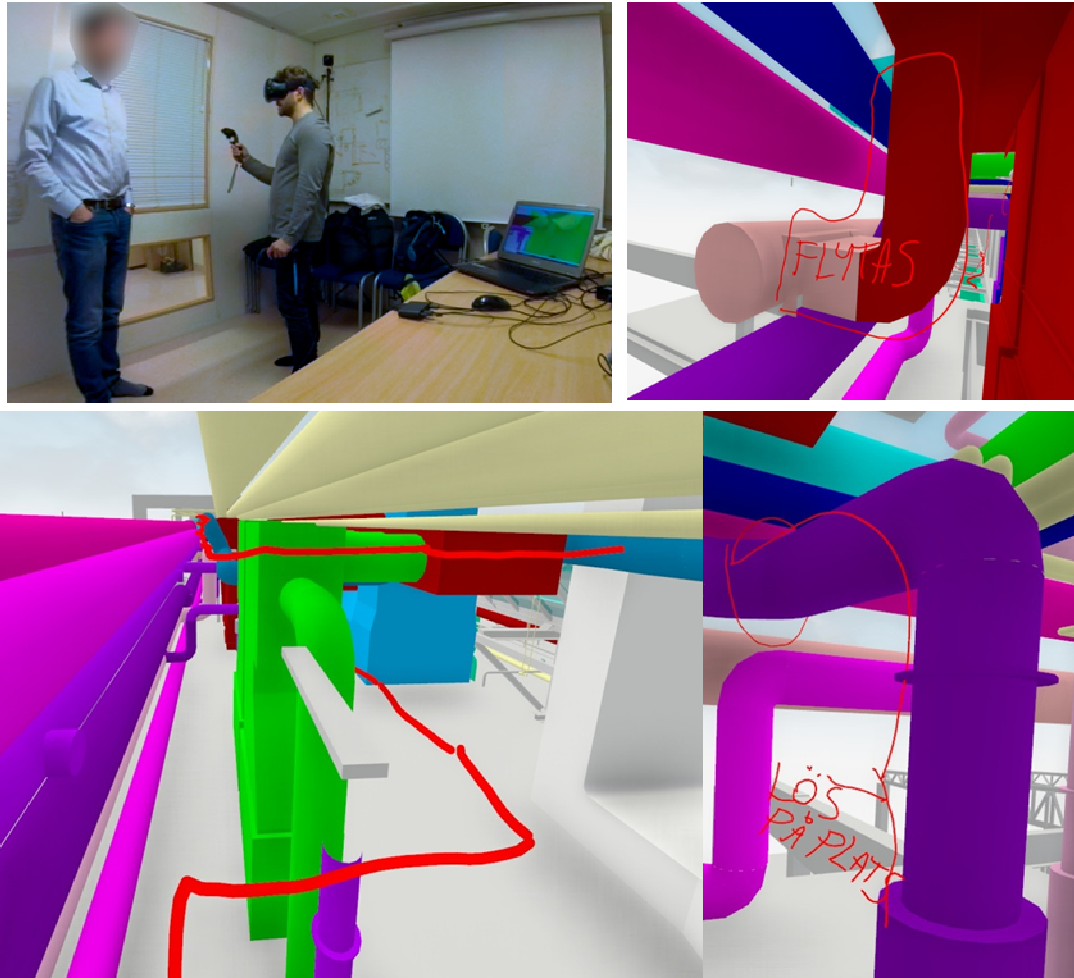
Sammantaget kan man konstatera att möjligheten att vara flera personer samtidigt i VR-modellen gav ett tydligt mervärde och bidrog till ökad förståelse och kommunikation mellan deltagarna. Jämfört med när flera personer turas om att ta på sig VR-glasögonen och gå in i modellen (medans övriga tittar på det som projiceras på skärmen), underlättas kommunikation och förståelse av att man kan se var de andra är, vad de tittar och pekar på, och att skala 1:1 och stereoseende gör att "alla ser samma sak". Även i de fall då alla deltagare kopplade upp sig från vitt skilda platser, visar observationer och kommentarer på att upplevelsen och känslan är att man faktiskt står jämte varandra och tittar på samma saker i modellen.

Samtidigt upptäcktes det att det kan bli mer utmanande att hålla reda på vem det är som pratar ju fler personer som är med på mötet, framförallt när mötet hålls på distans och deltagarna inte känner igen varandras röster sedan innan. Att sätta en gräns på omkring 5 personer samtidigt kan därför vara att rekommendera.

7.3 Kunskapsåterföring

I ett utav projekten som besöktes var fokus ett stort installationsutrymme (fläktrum) som involverade både nya och befintliga installationer. Just denna del av entreprenaden skulle påbörjas följande vecka och en utav montörerna granskade VR-modellen i närmare en timme samtidigt som ansvarig projektledare stod jämte och såg allt på skärmen. De gick då igenom utförandet i detalj och planerade framdriften och upptäckte då flera ställen i behov av modifieringar. Framförallt upptäckte de att det på flera ställen inte var en optimal dragning utifrån ett produktionsperspektiv och montören undrade då om det fanns möjlighet att flytta eller dra nya kanaler i VR-modellen. Den möjligheten fanns inte i programmet, men montören var då kreativ på eget bevåg och använde sig av ritverktyget (markup) med en "tjock" penna för att helt enkelt rita upp den alternativa rördragning i 3D (se Figur 12). Efter att detta var uppritat så togs ett antal skärmdumpar i modellen och detta användes veckan efter under själva utförandet.

I viss mån skulle man också kunna likställa detta med konceptet med *Produktionsanpassade Vyer* (Göteborg och Olsson, 2016; Johansson och Roupé, 2018), fast skapat helt i VR av montören själv. Detta exempel visar även hur BCF (direkt från VR) har ett väldigt bra användningsområde då det möjliggör att sådan här information enkelt kan skickas tillbaka direkt till projektören för uppdatering. Nu blev det istället att den modifierade dragningen fick uppdateras direkt på relationsritningar.

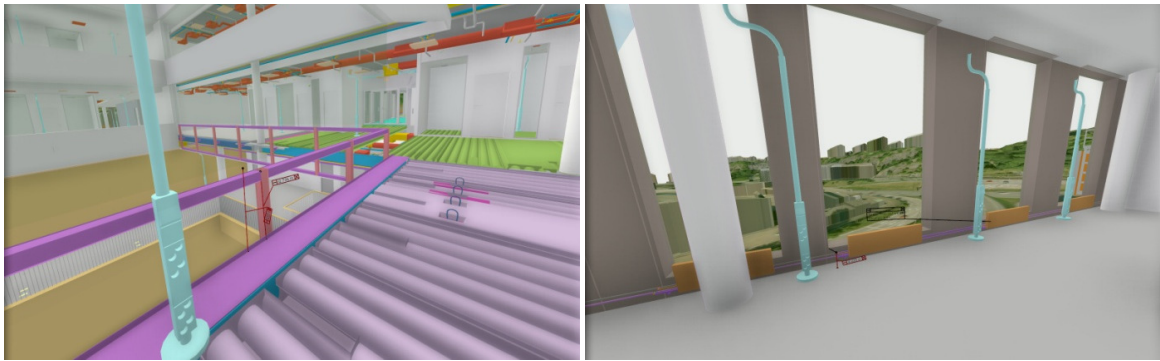


Figur 12. Granskning samt skiss på mer produktionsanpassad rördragning.

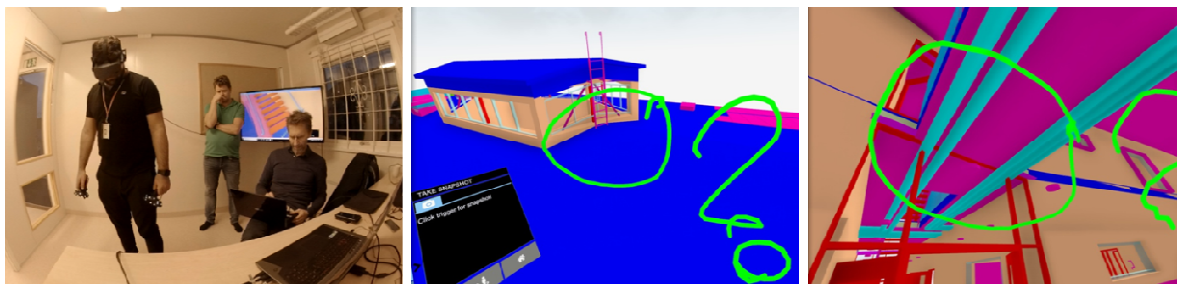
I föregående avsnitt gavs exempel på "multi-user" arbetsberedning i VR i ett utav projekten. I samma projekt hade liknande arbetsberedningar och granskningar genomförts tidigare, dock ej med flera personer i modellen samtidigt. Även då handlade det mycket om sekvensiering och huruvida utrymmesbrist gjorde att den planerad framdriften fick ändras. Dessutom så upptäcktes bl.a. följande problem i modellen (som sen fick uppdateras/ändras i projekteringen):

- För liten öppning i prefab-element (problem med logistik annars)
- För låga räcken (säkerhetsaspekt)
- Fel typ av radiatorer på ett helt våningsplan (106 st)

Liknande exempel som stötts på under studien inkluderar felplacering av dörrar och branddörrar, för snävt avstånd mellan trappa och dörr/vägg, samt felaktig/bristfällig anslutning mellan tak och vägg med avseende på vattenavrinning.



Figur 13. För låga räcken samt felaktiga radiatorer.



Figur 14. Olika typer av fel som upptäcktes i VR-modellen.

Utöver detta så är det mycket kollisioner och krockar mellan objekt som upptäcks i VR under studiens gång. Här är dock viktigt att påpeka att dessa i många fall upptäcks på ställen där projektet inte än gjort någon "sista" samordning och kollisionsskontroll. Sett över alla projekten är uppfattningen att automatiska kollisionsskontroller i de flesta fall fungerar väl och att det egentligen inte är primärt för att upptäcka "fysiska" kollisioner som VR skall användas till. Ovanstående exempel visar dock att en kollisionfri modell inte automatiskt garanterar att det inte finns några problem eller att projekteringen är produktionsanpassad. Kollisionsskontroll och granskning av byggbarhetsaspekter är därför något som bör drivas parallellt under ett projekt och här framhävs VR som ett lämpligt verktyg av respondenterna.

Samtidigt är kollisionsskontroll i sig inte heller en garanti för att helt slippa "fysiska" krockar på arbetsplatsen, då den endast är giltig om alla komponenter och installationer placeras exakt där det är specificerat enligt projektering. I många fall finns gott om utrymme för den första disciplinen på plats, vilket kan leda till att en avvikelse inte anses påverka slutresultatet, men sedan visar sig utgöra ett problem för efterföljande aktörer/discipliner. Detta är i sig inget som enbart kan göras med hjälp av VR, men utifrån kommentarer och enkätsvar så är det tydligt att just "*Förståelse för andra discipliners/yrkesgruppers arbeten*" samt "*Förståelse för detaljer*" anses som "*bra*" eller "*mycket bra*" i VR.

En ytterligare aspekt som tas upp i samband med kollisionsskontroll är att upphängningsanordningar för installationer nästan uteslutande inte finns med i modellerna. Flera montörer påpekar i detta sammanhang att man då kan hamna i en situation då rör och kanaler i sig inte krockar, men att det kan vara väldigt utmanande att lösa upphängningen då andra rör och kanaler hamnar i vägen. Det är egentligen en önskan och uttalad ambition

i de flesta projekten att även dessa objekt skall vara med i modellerna, men detta utgår ofta då det tar ytterligare tid i projekteringen samtidigt som dessa komponenter kan göra modellerna svårjobbade och ”tunga”.

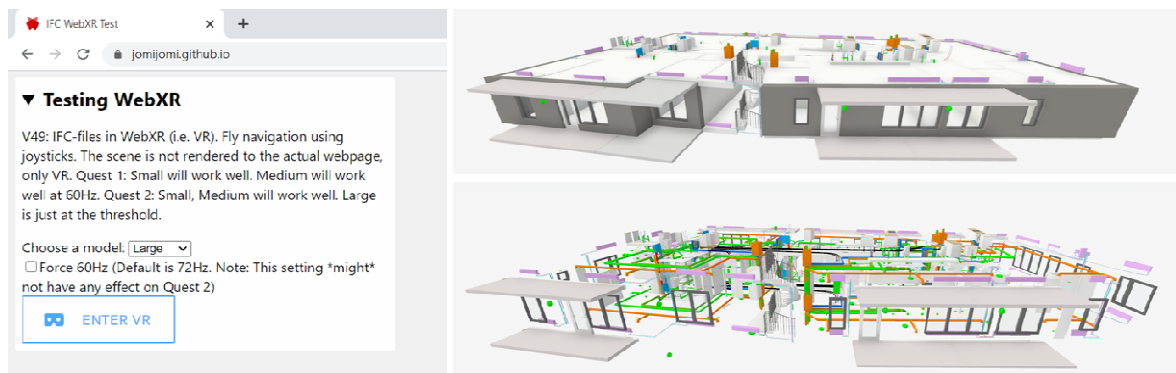
Sammantaget kan man konstatera att det finns stora möjligheten med (och i viss mån även behovet av) att låta produktionspersonal övergripande granska projekteringsmaterialet i VR innan det stämplas som bygghandling. Genom att ta tillvara på den kunskap och erfarenhet de besitter finns alla förutsättningar att landa i bättre och mer produktionsanpassade lösningar. Baserat på kommentarer och enkätsvar så är det också tydligt att de som deltagit i studien upplever att feedback från produktionssidan under själva projekteringen har möjlighet att förbättra projekteringsresultatet. I detta sammanhang anser nästan uteslutande alla att VR är ett bra verktyg för denna typ av granskning. Vidare är det tydligt att möjligheten att direkt i VR kunna skapa en BCF hade öppnat upp för en bättre och enklare återkoppling till projekteringen. Samtidigt så lyfts dock också problematiken med att det kan vara svårt att få personal från produktionen att lämna arbetsplatsen för att delta i samordningsmöten under projekteringen. Här kan därför multi-user funktionaliteten öppna upp för fler möjligheter till deltagande på distans.

7.4 Tillgänglighet och mobila VR-lösningar

Även om studien tydligt visar att VR-tekniken är mogen för att kontinuerligt användas i skarpa projekt, finns det fortfarande hinder och utmaningar när det gäller tillgänglighet. Även då arbetsplatsen eller projektet har ett dedikerat VR-rum med dator och VR-headset fritt tillgängligt för alla så blir det i praktiken att det alltid krävs viss involvering av en VDC-samordnare, Digital Ledare, eller liknande då VR skall användas. Detta behöver i sig inte vara ett bekymmer när det gäller de tillämpningar som studerats i denna rapport, men samtidigt hindrar det möjligheten för vem som helst på arbetsplatsen att när som helst ”hoppa in” i VR och granska modellen eller ta ut någon specifik information för stunden. I slutändan är det därför enkelheten och mobiliteten som ex.vis en iPad erbjuder som önskas. När det gäller hårdvara så finns numera portabla VR-headset i form av Oculus Quest och fördelen är att dessa är helt fristående och behöver alltså inte längre kopplas till en dator. Nackdelen är att dessa headset inte alls är lika kraftfulla som en PC, vilket gör att det är en utmaning att hantera de, i vissa fall, enormt stora BIM-modeller som kommer från projekteringen.

I syfte att undersöka vilka begränsningar som finns i form av modellstorlek gjordes därför några enkla test inom ramen för projektet. Då det hade varit alldeles för tidskrävande att göra en applikation direkt till Oculus Quest (som är ett Android-system), så valdes istället en webb-lösning som kombinerade WebGL och WebXR. Enkelt sett är WebGL en teknik som gör det möjligt att visa 3D-modeller i realtid på en webbsida, och WebXR är en teknik som gör att dessa 3D-modeller även kan visas i VR. I Oculus Quest så finns sedan en ”vanlig” webb-läsare, och när man kommer till en sida som stödjer WebGL/WebXR så finns möjligheten att klicka ”Enter VR” och man kan då se modellen i skala 1:1 i VR. I figur 15 visas den hemsida som togs fram tillsammans med den största modellen som kunde hanteras utan bekymmer. Viktigt att notera här är dock att detta endast visar ett exempel på den prestanda tekniken har ”out-of-the-box”, utan någon annan typ av

optimering. I fallet med BIMXplorer, som användes i alla de andra testen i denna studie, så utnyttjar den väldigt många olika optimeringstekniker för att hantera stora modeller. Många utav dessa skulle antagligen också kunna appliceras på webb-gränssnittet för att möjliggöra större modeller. Även med det i åtanke så är det dock tydligt att det inte alls är samma storlekar som kan hanteras. I de projekt som studerats inom ramen för detta projekt så ligger antalet objekt samt antalet trianglar mellan 153,107 - 798,203 och 361,7563 - 111,739,369. Modellen på webbsidan innehåller ungefär 7,500 objekt och 800,000 trianglar. En avsevärt skillnad med andra ord, och även om detta antal skulle kunna dubbleras är det fortfarande långt ifrån det som krävs för kompletta BIM-modeller. Här finns dock möjlighet att begränsa storleken genom att bara välja en specific del av modellen att granska, exempelvis ett våningsplan eller zon. Just möjligheten att hela tiden ha en komplett modell i VR framhävs ofta som en stor fördel, men detta är antagligen något som användarna är beredda att göra avkall på i syfte att göra VR-tekniken mer tillgänglig. Tydligt är i alla fall att Oculus Quest skulle göra det enklare för vem som helst på arbetsplatsen att när som helst ”hoppa in” i VR-modellen.



Figur 15. Enkelt webbgränssnitt för visualisering av BIM-modell direkt i Oculus Quest.

8 SLUTSATSER

Detta FoU projekt har visat att det finns stora möjligheter med – och i viss mån också ett behov av – att låta personal från produktionen använda VR-teknik för granskning, planering, och arbetsberedning. Genom att involvera och ta tillvara på produktionspersonalens kunskap och insikter har flertalet problem eller mindre bra lösningar upptäckts och hanterats, innan dessa har nått det faktiska utförandet. I vissa fall har det rört sig om rena projekteringsmissar, medans det i andra fall har handlat om ändrad arbetsordning mellan discipliner, eller alternativa lösningar som passat framdriften bättre.

När det gäller VR-tekniken som sådan är det framförallt det faktum att modellen betraktas i skala 1:1 som lyfts fram och många kommentarer är kopplade till hur storlek, utrymmen, och detaljer, ges en helt annan förståelse och känsla för än när modellen granskas på vanlig skärm. Utöver detta visar observationer att granskning i VR i mångt och mycket påminner om hur man betraktar eller granskar något i verkligheten.

Vidare visade det sig att möjligheten att vara flera användare i en och samma VR-modell, s.k. multi-user läge, hade väldigt positiva effekter på förståelse och kommunikation mellan deltagarna. Multi-user gör det dessutom möjligt för deltagarna att kopplar upp sig från vitt skilda platser, vilket spås underlätta den här typen av möten med deltagare från både projektering och produktion.

När det gäller gränssnitt och användarvänlighet bekräftas resultat från tidigare studier i att detta är teknik som anses användarvänlig. Även personer som inte tidigare testat VR hanterar nästan direkt navigering i modellen, och för att använda de olika verktygen behövs endast en kort introduktion. Vidare anses nu även möjligheten att ta ut mått och dimensioner i VR som enklare och mer kraftfullt. Dock finns fortfarande önskemål om mer funktionalitet, såsom möjlighet att direkt kunna förflytta sig mellan olika våningsplan och att kunna importera och exportera BCF direkt från VR-miljön för bättre integrering med projekteringsprocessen (detta var ursprungligen planerat, men uteblev till förmån för multi-user funktionaliteten).

Sammantaget kan det konstateras att VR definitivt har möjlighet att förbättra kunskapsåterföring från produktionen under projektering. Studien ger många exempel på problem, utmaningar, och mindre bra lösningar som kan upptäckas – men även hur man kan hitta bättre och mer produktionsanpassade lösningar – och visar tydligt att VR-tekniken har ett värde och är mogen för att användas kontinuerligt i skarpa projekt. Dock finns det idag fortfarande hinder och utmaningar när det gäller att göra tekniken fullt tillgänglig för alla i ett projekt, och här spås en ny generation av fristående VR-headset att öppna upp för bättre möjligheter.

9 FRAMTIDA ARBETE

Framtida arbete skulle framförallt fokusera på att göra VR-tekniken mer tillgänglig i praktiken, genom att utnyttja de fristående VR-headset (Oculus Quest) som nu finns på marknaden. Utmaning här ligger i att hantera den stora mängd geometri och data som kompletta BIM-modeller innehåller, då fristående VR-headset har markant mindre kapacitet och prestanda än en PC. Detta skulle förhoppningsvis kunna hanteras med olika optimeringstekniker, eller ett gränssnitt som låter användaren enkelt välja en specifik del av projektet, ex.vis ett våningsplan eller zon, som skall granskas för stunden.

Vidare hade det varit intressant att fortsätta att titta på hur granskning och kontroll av byggbarhet kan integreras mer kontinuerligt under projekteringsprocessen, ex.vis med hjälp av BCF.

REFERENSER

Albinsson, L. (2017). Så kan digitalisering sänka kostnaderna och öka kvaliteten i byggbranschen. Rapport från Bygg 4.0

BIMXplorer (2020). www.bimxplorer.com

Carlström, R., Larsson, A. (2019). Kunskapsåterföring och BIM i produktionsfasen (Examensarbete). Chalmers Tekniska Högskola.

de Frumerie, M. (2018). Produktiviteten i branschen – problem eller myt? Byggindustrin 17/2018

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. (2018). Etapp II: Virtuellt Produktionsmodell i skala 1:1 på byggarbetsplatsen - För tillverkande av produktionsanpassade vyer. SBUF Rapport.

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

Josephson, P. E. (2013). Långsiktig framgång: Reducera fel och slöseri i byggandet. AB Svensk Byggtjänst.

Karlsson, A. (2017). Reducering av antal avvikelser och fel i byggprojekt (Examensarbete). Chalmers Tekniska Högskola.

Koch, C., Lundholm, M. (2018). PRODUKTIVITETSLÄGET I SVENSKT BYGGANDE 2014 - Lokaler, Gruppbyggda småhus och Anläggning. SBUF Rapport.

Koch, C., Lundholm, M. (2018). PRODUKTIVITETSLÄGET I SVENSK VVS 2014. SBUF Rapport

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., Jörnebrant, F., & Tomsa, P. A. (2016). Immersive visualization of Building Information Models. Proceedings of the 21st International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA 2016) (pp. 673-682).

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

Tjell, J. (2016). Projektering i världsklass. SBUF Rapport.

Wolfartsberger, J. (2019). Analyzing the potential of Virtual Reality for engineering design review. Automation in Construction, 104, 27-37.